

T
671.73
P419

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA



"GALVANIZACION; PREPARACION DE SUPERFICIES"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del título de

INGENIERO MECANICO

Presentada por

DANIEL EUGENIO PEÑAFIEL REYES

Guayaquil-Ecuador

1983



D E D I C A T O R I A

A la memoria de mi querida madre

MARIA V. REYES BLANCO

A mi padre, JESUS PEÑAFIEL SUAREZ

A mis hermanos, especialmente JUDITH

A mis profesores



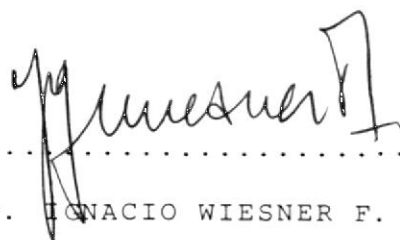
A G R A D E C I M I E N T O

A la Escuela Superior
Politécnica del Litoral

Al Sr. Ing. IGNACIO WIESNER F.,
DIRECTOR DE TESIS, distinguido
académico de ESPOL.



BIBLIOTECA



.....
Ing. IGNACIO WIESNER F.

DIRECTOR DE TESIS



DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".



(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).

A large, stylized handwritten signature in black ink, which appears to read 'D. Peñafiel'. The signature is written over a horizontal dotted line.

DANIEL EUGENIO PEÑAFIEL REYES

R E S U M E N



El trabajo relativo a la preparación superficial de las piezas que recibirán la protección galvánica por inmersión en caliente, constituye el motivo principal de la presente Tesis.

Desengrasado, decapado y aplicación de fundentes conforman el tratamiento adecuado relativo a la eliminación de grasas, cascarilla de óxido y protección momentánea contra posibles casos de oxidaciones de carácter reciente.

Las grasas y aceites de origen animal, vegetal y mineral se lograron disolver mediante la acción de diversos agentes de limpieza, mientras que la cascarilla de óxido fue tratada con los ácidos sulfúrico y clorhídrico diluidos, agregándose el ácido fluorhídrico para eliminar vestigios de arena existentes en el hierro fundido. Los fundentes aplicados ya sea en la superficie del baño o como solución de lavado coadyuvieron sobre el control de oxidaciones.

INDICE GENERAL



Pág.

RESUMEN.	VI
INDICE GENERAL	VII
INDICE DE FIGURAS.	IX
INDICE DE TABLAS	XII
INTRODUCCION.	14
I PRINCIPIOS DEL GALVANIZADO	16
1.1 Procesos de Galvanización para Hierro y Acero. . .	16
1.2 Preparación de piezas previo al galvanizado. . .	23
1.2.1 Desengrasado.	25
1.2.2 Decapado.	41
1.2.3 Soluciones Neutralizantes.	52
1.2.4 Fundentes.	53
1.3 Proceso de Inmersión en Caliente (Hot Dipping) .	56
1.3.1 Acción del Proceso sobre el Metal Base. . .	62
1.3.2 Naturaleza de los Recubrimientos de Cinc .	64
1.3.3 Síntesis Metalográfica del Recubrimiento Galvánico.	66
1.3.4 Imperfecciones sobre Acabado: causas y correcciones.	71



1.3.5 Tratamientos posteriores.	75
1.4 Variables que intervienen en el proceso	80
1.4.1 Calidad del Zinc.	81
1.4.2 Agregados Metálicos.	81
1.4.3 Temperatura del Baño.	82
1.4.4 Tiempo de Inmersión.	85
1.4.5 Velocidad de extracción de las Piezas. .	86
1.5 Evaluación del Proceso.	88
1.6 Aplicaciones.	92
II TRABAJO EXPERIMENTAL.	94
2.1 Estudio del Metal Base.	96
2.2 Equipo Utilizado.	99
2.3 Preparación de Probetas	100
2.3.1 Desengrasado.	105
2.3.2 Decapado.	121
2.3.3 Aplicación de Fundentes.	132
2.4 Ensayo de Inmersión.	134
2.5 Control Metalográfico	135
III DISCUSION DE RESULTADOS.	139
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	146
TABLAS Y GRAFICOS.	149
BIBLIOGRAFIA.	153

INDICE DE FIGURAS



<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
1	Esquema de las conexiones características para un proceso simple de Galvanostegia.	19
2	Pistola alimentada por alambre (corte transversal) .	22
3	Amplitud del Cono de Proyección.	22
4	Esquema Básico del Proceso Sendzimir	28
5	Cuba para desengrasado con calentador incorporado .	32
6	Cuba para limpieza electrolítica, con termostato para regulación automática de temperatura.	35
7	Cuba para limpieza electrolítica con dispositivo de agitación.	35
8	Equipo para el desengrase con tricloroetileno. . . .	41
9	Cepillos de Acero: Manual y Eléctrico.	43
10	Soplado con perdigones en un recinto especial. . . .	46
11	Ilustración de métodos de agitación en tambor. . . .	48
12	Ejemplos de perdigones de abrasivos artificiales usados en el método de agitación en tambor.	48
13	Efecto del Contenido del ClNH_4 sobre el punto de ebullición de mezclas de $\text{ClNH}_4 + \text{Cl}_2\text{Zn}$ (fundente). .	57
14	División de Recubrimiento Galvánico.	68



<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
15	Compuestos Intermetálicos.	69
16	Estratos de un Recubrimiento.	69
17	Sistema Binario Hierro-Cinc.	70
18	Ataque solvente del cinc sobre el acero a cuatro temperaturas de galvanizado, como una función del contenido de carbono del acero.	77
19	Efecto de la temperatura del baño, tiempo de inmer- sión y velocidad de extracción promedio Vs. peso del recubrimiento galvánico obtenido sobre calibre 24 (0.0239 in) en piezas de acero.	78
20	Efecto de la temperatura del baño, tiempo de inmer- sión y velocidad de extracción (promedio) Vs. peso del recubrimiento galvánico, obtenido sobre calibre 24 (0.0239 in) en piezas de acero.	79
21	Micrografía del Hierro fundido.	95
22	Micrografía del acero empleado.	96
23	Control automático y medidor de temperatura	98
24	Horno experimental Limberg, dotado de mufla. Tem- peratura máxima 1.100°C.	99
25	Máquina para pulir metales de disco giratorio.	100
26	Máquina para cortar metales de disco abrasivo de carburo de silicio.	101
27	Microscopio Metalográfico de reflexión con cámara	

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
	fotográfica incorporada.	.102
28	Probetas Tipo.	.103
29	Superficies de hierro fundido aptas para recibir el galvanizado.	.129
30	Probetas Galvanizadas	.133
31	Micrografía de la superficie galvanizada en acero. .134	
32	Micrografía de la superficie galvanizada en hierro .135	
33	Corte transversal de un revestimiento galvánico. . .136	



INDICE DE TABLAS



Nº

Pág.

1	Medida para perdigones de limpieza y tolerancia de tamizado.	147
2	Números SAE para perdigones de limpieza y tolerancia de tamizado	148
3	Escala de Potenciales Electroquímicos.	67
4	Valores correspondientes a peso por unidad de área g/m ²	89
5	Ordenamiento de grupo de probetas	104
6-7	Esquema de los resultados obtenidos por el agente y 8 desengrasante SOSA CAUSTICA (Na OH) frente a grasas y aceites de origen animal y vegetal.	108
9-10	Esquema de los resultados obtenidos por aplicación y 11 del agente desengrasante SOSA CAUSTICA (Na OH) frente a grasas y aceites de origen mineral.	109
12-13	Esquema de los resultados obtenidos por el agente y 14 desengrasante CARBONATO DE SODIO frente a grasas y aceites de origen animal y vegetal.	112

NºPág.

15-16	Resultados obtenidos del ensayo correspondiente	
y 17	a desengrasado utilizando el agente CARBONATO DE	
	SODIO frente a grasas y aceites de origen mineral	113
18-19	Resultados obtenidos por acción del ácido Clorhí-	
y 20	drico (HCl) bajo diversos niveles de concentra-	
	ción, tiempo y temperatura.	123
21-22	Resultados obtenidos por acción del ácido clorhí-	
y 23	drico (HCl) bajo diversos niveles de concentra-	
	ción, tiempo y temperatura. Aplicados al hierro	
	fundido granallado.	126
24-25	Resultados obtenidos por acción del ácido sulfú-	
y 26	rico SO_4H_2 bajo diversos niveles de concentra-	
	ción, tiempo y temperatura.	127
27-28	Resultados obtenidos por acción del ácido sulfú-	
y 29	rico SO_4H_2 bajo diversos niveles de concentra-	
	ción, tiempo y temperatura.	128



I N T R O D U C C I O N



La búsqueda de una solución al problema que presenta la corrosión del hierro es permanente, pues se trata de dar la máxima duración al material de ingeniería de mayor aplicación en el campo industrial. Como resultado de esa actividad, tendiente a ejercer un control sobre este fenómeno, conocemos actualmente una serie de procedimientos, cuya aplicación nos determina una protección temporal del ataque corrosivo.

Entre los métodos de protección contra la corrosión por revestimientos metálicos, los de inmersión en caliente (hot dipping) mantienen un grado de aceptación muy amplio, debido a que es posible aplicarlos a piezas de forma variadas, con alcance efectivo al interior de las mismas, como también a planchas y alambres o porque económicamente resulta más conveniente que otros métodos.

Básicamente el efecto de protección está determinado por una compleja estructura, dividida en una subcapa aleada y otra exterior de cinc puro, constituyéndose de esta manera en un revestimiento de alto grado de confiabilidad.

Otra característica que presenta, es la entera facilidad de aplicación del proceso, no requiriendo de equipo especial o tratamientos a elevadas temperaturas. Más bien deben brindarse determinados cuidados sobre la etapa correspondiente a la preparación superficial: desengrasado, decapado, aplicación de soluciones neutralizantes y aplicación de fundentes, factores sobre los que gravita el presente trabajo. Esta fase del proceso mantiene incidencia directa sobre los resultados de la operación de galvanizado.

Variables del proceso, tales como el grado de pureza del cinc, agregados metálicos al baño, temperatura, tiempo de inmersión y velocidad de extracción de las piezas, mantienen un mayor efecto sobre la naturaleza y grosor del recubrimiento galvánico. Su estudio y análisis corresponde a un trabajo de investigación, que por su extensión, se excluye de la presente tesis.

Aunque no es posible conseguir grosores de recubrimientos pre-determinados, en ningún momento puede constituirse aquello en limitante de aplicación del método, puesto que la realización de ensayos sobre cada pieza en particular ha permitido obtener recubrimientos homogéneos y de buena presentación.

CAPITULO I

PRINCIPIOS DEL GALVANIZADO



1.1 PROCESOS DE GALVANIZACION PARA HIERRO Y ACERO

Los factores determinantes en la elección de un método para aplicar un recubrimiento protector contra la corrosión, gravitan sobre la calidad y economía que presentan para una aplicación determinada. Aislamiento total del medio agresivo del metal base, uniformidad, grosores ajustados a normas establecidas, entre otros factores, frente a costos de operación y de materia prima empleada, determinarán las diferencias existentes entre ellos.

A más del método de inmersión en caliente, existen otros ampliamente empleados en la industria. Entre los principales citaremos los siguientes:

Cementación-Sherardización

Electroplaquedo

Condensación de vapores

Proyección del metal

Plaqueado mecánico

De acuerdo a la cantidad de cinc consumido se puede establecer el siguiente orden:

Electroplaqueado

Proyección del metal

Sherardización

ELECTROPLAQUEADO



Método conocido también con el nombre de electrochapa-do (galvanostegia), consiste en la electrodeposición de un recubrimiento adherente sobre un metal base. Actualmente mantienen un amplio radio de aplicación los recubrimientos obtenidos por esta vía. Para nuestro propósito indicaremos que la protección brindada al hierro y acero es muy aceptada en la industria, especialmente sobre flejes o piezas pequeñas que son afectadas por la acción de la temperatura.

El recubrimiento se caracteriza por ser uniforme, ausencia de capas quebradizas y más que todo la obtención de grosores pre-determinados. La aplicación del

método requiere como condición esencial una preparación superficial adecuada.

La operación básica a efectuarse se ilustra en la Fig. N° 1 . La pieza a ser protegida actúa como cátodo de una célula electrolítica; el metal protector es el ánodo constituido por el cinc o un electrodo de carbón. Las soluciones que constituyen el baño pueden ser alcalinas a base de cianuros o ácidas a base de sulfato de cinc.

Actuando como electrolito el sulfato de cinc, aplicamos corriente continua de un acumulador o alterna rectificada a los electrodos indicados anteriormente. Los iones metálicos penetran en la solución al disolverse el ánodo y estos iones junto con los idénticos del electrolito, se dirigen hacia el cátodo, en el que se depositan en estado metálico. Factores como densidad de la corriente, temperatura y composición del baño, se constituyen en variables del proceso.

La protección del hierro y acero por vía de electrodeposición presenta ventajas de fácil identificación frente al método de inmersión en caliente o de proyección , ya sea por obtención de superficies más uni-

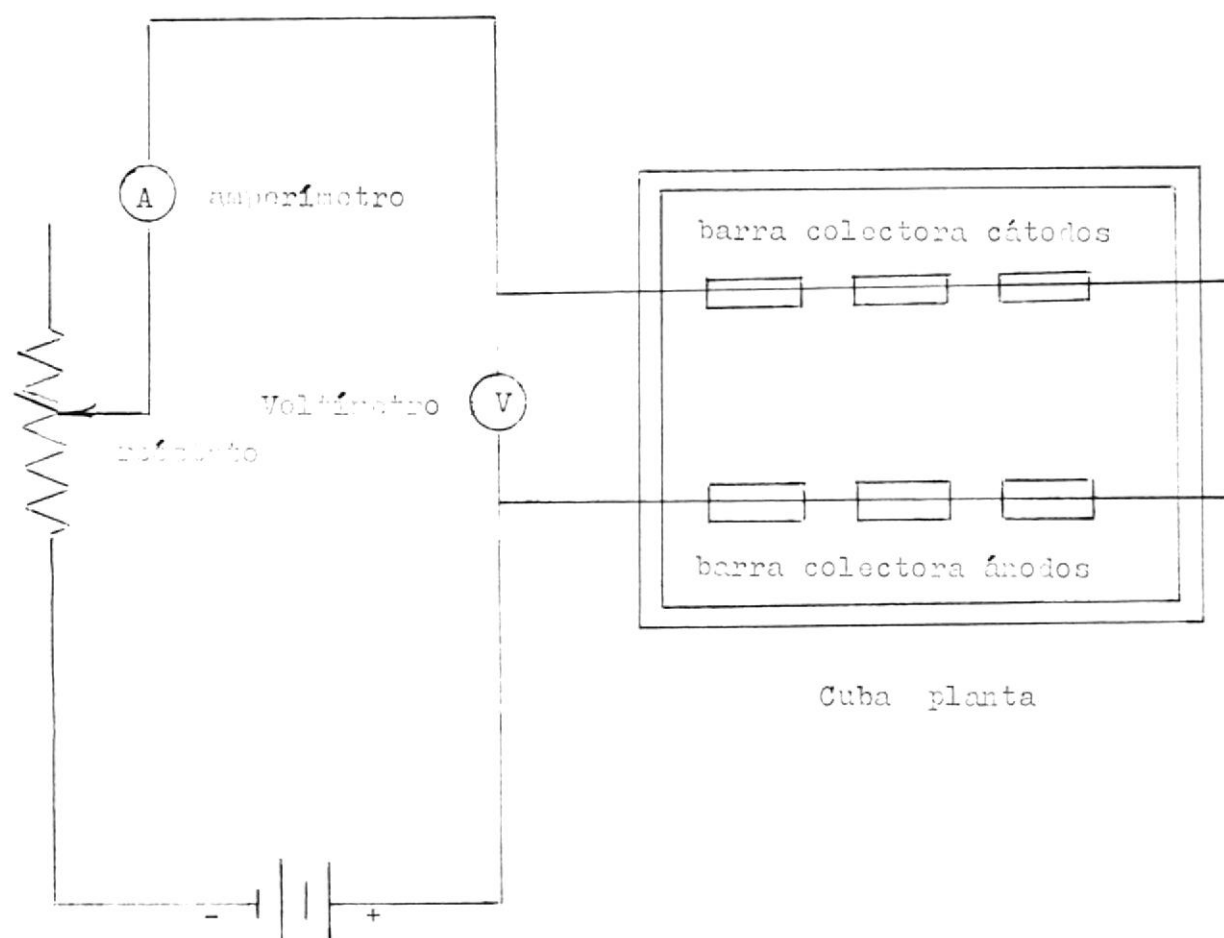
GALVANOSTEGIA

Fig. N° 1.- Esquema de las conecciones características para un proceso simple de galvanostegia.

formas y menos porosas, respectivamente.

La industria relativa a electroplaqueado se encuentra altamente mecanizada, lo que ha permitido una realización más eficiente y económica.

PROYECCION DE METALES

Es un método de recubrimiento metálico contra la corrosión. Posee características muy singulares que lo distinguen de los demás, pues la realización del metalizado se efectúa "in situ". Además se pueden obtener acabados relativamente gruesos.

Actualmente se emplea esta forma de galvanizado preferencialmente sobre piezas muy grandes, como elementos estructurales, recipientes, cascos de barcos, etc.

Otra aplicación importante la constituye la reparación de superficies galvanizadas, las mismas que por alguna razón han quedado parcialmente desprotegidas.

El metalizado obtenido por proyección puede utilizar al metal protector bajo tres formas: ya como alambre, como polvo o metal fundido; la primera forma es la más usual: el cinc, bajo la forma de alambre, se funde en

un arco eléctrico o soplete de gas, luego se pulveriza bajo presión, utilizándose para el efecto una pistola como la ilustrada en la Fig. N° 2. Lo referente a la preparación superficial, prácticamente son iguales los requerimientos que para el método de inmersión en caliente. La Fig. N° 3 muestra la amplitud del cono.

La observación de un corte de este recubrimiento indica la presencia de partículas aplastadas de cinc ligeramente oxidadas. De manera general no se determina una estructura de naturaleza aleada; más bien se caracterizan por ser muy tenaces.

SHERARDIZACION

El método de protección por cementación determina básicamente una aleación superficial. Diversas aplicaciones metalúrgicas han derivado de este resultado. Entre las más importantes tenemos a la sherardización y a la calorización que refieren a la protección del hierro y acero, con cinc y aluminio respectivamente. Los elementos recubiertos por sherardización por lo general son tornillos, cerraduras, roscas o piezas fundidas pequeñas. Su característica principal consiste en la resistencia a la abrasión y uniformidad de

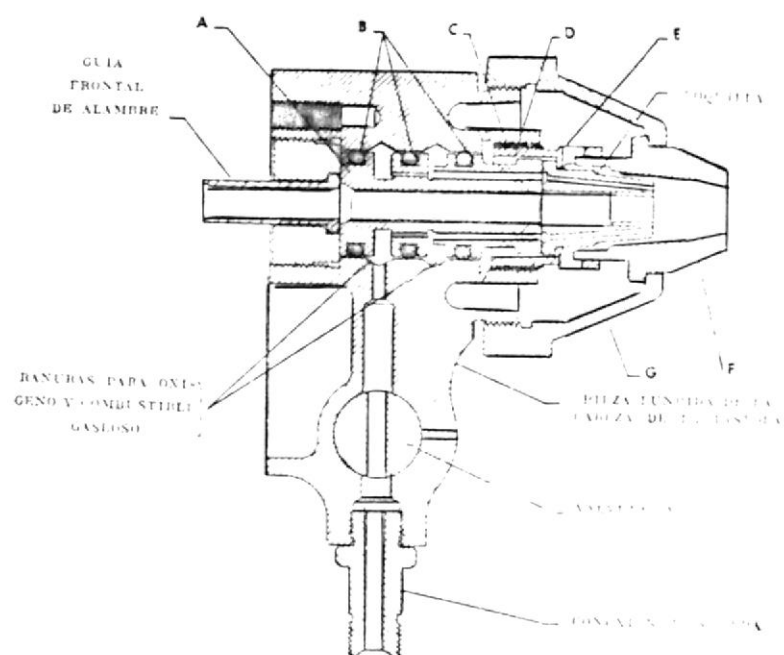


Fig. N° 2.- Pistola alimentada por alambre (Corte Transversal)

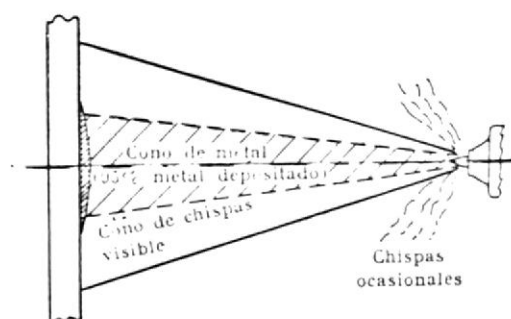


Fig. N° 3.- Amplitud del cono de proyección

los recubrimientos.

La etapa correspondiente a la preparación superficial no requiere una prolija ejecución como la realizada en los métodos antes descritos. Se introduce hierro o acero previamente decapado en polvo de cinc. Luego se eleva la temperatura hasta un nivel justo debajo del punto de fusión (419°C) con lo que se obtendrá un recubrimiento uniforme, conseguido a una temperatura más baja que la empleada por inmersión en caliente o proyección.

Resulta interesante saber que el fenómeno operado se debe a la difusión en estado sólido, discrepando los criterios sobre si implica condensación de vapor de cinc sobre la superficie del hierro antes de la difusión o si es necesario que el polvo de cinc y el hierro establezcan contacto íntimo.

1.2 PREPARACION DE PIEZAS PREVIO AL GALVANIZADO

Esta fase del proceso, conocida con el nombre de pre-inmersión, se constituye en una de las más importantes, puesto que del grado de eficacia alcanzado en su realización dependerá en gran parte la calidad del recu-

brimiento.

Las superficies de los elementos que recibirán el galvanizado deberán estar totalmente libres de impurezas. El trabajo relativo a su eliminación se lo conoce como preparación superficial.

Los elementos contaminantes que aparecen en la superficie de las piezas son de origen diverso; por lo general proceden de operaciones en la fabricación, empaque, transporte, maquinado, tratamientos térmicos u óxidos debidos a la acción directa del medio ambiente.

Al no realizarse una operación eficaz de limpieza, la presencia de las impurezas incidirá sobre características importantes del recubrimiento como son: uniformidad, grosor, porosidad, fragilidad y por ende duración. Por tanto, consideramos muy necesario poseer un conocimiento real de la naturaleza de los elementos contaminantes superficiales, como también de los métodos y procesos de aplicación a fin de obtener resultados efectivos en la preparación superficial de las piezas que serán sometidas al proceso de galvanización. Las impurezas pueden ser de tipo orgánico, inorgánico y metálico. Corresponden al grupo de las impurezas de

tipo orgánico, los ácidos grasos medios y superiores, aceites lubricantes y humectantes. Conforman el segundo grupo los óxidos, carburos e hidruros metálicos resultantes del fenómeno de la corrosión o de tratamientos térmicos. Las impurezas de tipo metálico, están constituidas principalmente por residuos debidos a operaciones de maquinado, como lo son cepillado, esmerilado, corte, laminado, etc.

1.2.1 Desengrasado

La operación relativa a eliminar la grasa existente en la superficie metálica recibe esta denominación. Existe una serie de métodos para eliminar la grasa y aceite. El grado de eficacia de ellos depende de manera especial de un examen preliminar que determine el origen de estas impurezas, puesto que las grasas y aceites pueden ser de origen animal, vegetal o mineral.

A continuación se describirán una serie de métodos de aplicación para este propósito. Es de observarse que el resultado de eficacia de cada uno de ellos, como hemos anotado anteriormente,

depende del giro de aplicación específico asignado para cada caso, como por ejemplo: número de piezas, masa, forma geométrica y características del metal constituyente de los elementos a protegerse.

METODO DE PIROGENIZACION

a) Aplicación Directa de la Llama.- Mediante la utilización de un mechero o soplete se aplica la llama en forma directa sobre la superficie del metal. Como es de imaginar se logra eliminar todas las impurezas combustibles, mientras que las impurezas no afectadas por el fuego tendrán que ser eliminadas aplicando un cepillado.

El método presenta como inconvenientes, la formación de calentamientos localizados, aplicación sólo a superficies exteriores y utilización excesiva de mano de obra. Se recomienda siempre utilizar una llama oxidante a fin de evitarse un estado de carburación adicional sobre las piezas tratadas.

Otra forma de eliminar grasa y aceite, que como

en el caso anterior fueron utilizadas hace muchos años, consistía en sumergir las piezas en cinc fundido. La temperatura indicada varía de 440 - 450°C.

Como limitante del método se constituye la formación de residuos de carbón en la masa del cinc fundido, los que luego se adhieren a la superficie de la pieza debido a que la temperatura es relativamente baja, como también el oxígeno es limitado, por tanto, no es posible conseguir una combustión completa.

b) El Proceso de Sendzimir.- Mantiene considerable aplicación para eliminar la grasa contenida en flejes y alambres; a pesar de presentarse como muy eficaz, mantiene una limitante al proceso y es que la cantidad de grasa contenida en los elementos sea relativamente pequeña.

Consiste básicamente en un horno de túnel, a través del cual los elementos a desengrasarse en su primer segmento experimentan una temperatura elevada junto a una atmósfera oxidante, lo que origina la combustión de los residuos orgánicos como

también la oxidación superficial de la pieza tratada; en un segundo segmento bajo una atmósfera reductora de amoníaco destilado se producirá la consiguiente reducción. La práctica del proceso es económica, la Fig. N° 4 nos presenta un esquema elemental del proceso.

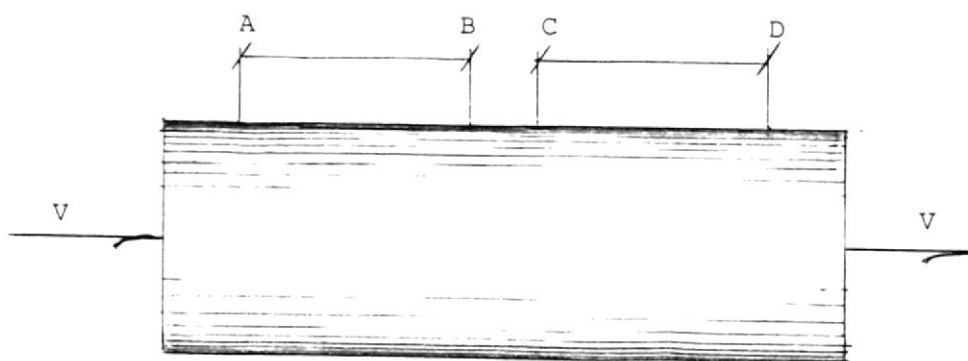


Fig. N° 4 .- Esquema Básico del Proceso SENDZIMIR

AB Atmósfera oxidante a elevada temperatura.

CD Atmósfera Reductora

EMPLEO DE SOLUCIONES ALCALINAS

Las grasas y aceites de origen animal y vegetal, presentes en el metal base, pueden ser eliminadas de manera eficaz por acción de los álcalis.

Tal efecto se logra mediante la saponificación de estos compuestos orgánicos, los mismos que

pueden ser arrastrados debidos al nuevo grado de solubilidad presentado.

La formación de emulsión por acción de agentes tensoactivos o la presencia de coloides, permitirán aislar mediante la aplicación de un chorro de agua todo el contenido de grasa, bajo condiciones citadas, o producir un arrastre por absorción de partículas diversas provenientes generalmente del esmerilado o pulido.

Entre las soluciones alcalinas más empleadas, podemos citar: la sosa cáustica, carbonato de sodio, fosfatos (ortofosfato sódico, hexafosfato sódico, hexametafosfato cálcico y magnésico) y silicatos alcalinos, encontrando múltiples aplicaciones cada uno de ellos dentro de la amplia gama de los llamados muy alcalinos, hasta los amortiguados, lográndose una acción muy eficaz del agente alcalino previa identificación del agente contaminante.

Para nuestro propósito, una composición calificada como muy alcalina, sería la más conveniente, como por ejemplo la sosa cáustica (NaOH). Su em-

pleo se ha generalizado a pesar de presentar limitadas propiedades humectantes.

Por lo general un elemento alcalino no bastará para efectuar la limpieza integral de los elementos a causa de la diversidad de las impurezas existentes.

La presencia de un agente humectante es necesaria, a fin de establecer un contacto íntimo entre el agente alcalino y la impureza que se trata de eliminar. Para la limpieza del acero el pH de la solución debe mantenerse sobre 11.

Un baño típico alcalino, muy usual es el siguiente:

Ortosilicato de sodio	5 partes
Hexametafosfato de sodio	1/2 parte
Agua	100 partes
Temperatura de trabajo	85-90°C

INMERSION EN CUBA.

Se constituye en un método muy sencillo de limpieza, mediante la utilización de un álcali. Las

piezas son sumergidas en una solución cuya temperatura permanece al nivel correspondiente de ebullición; además es necesario someter a un estado de agitación permanente a la solución, lo que se consigue mediante paletas o hélices, bombas centrífugas o mecanismos accionados a mano.

Se observan diferentes métodos para suministro de calor a la cuba, siendo todos ellos de fácil realización como por ejemplo la utilización de serpentines sobre las paredes laterales o mediante la aplicación de chorros de vapor. Esta última forma de trabajo agrega la función que corresponde a un restregado.

Las cubas deben ser lo suficientemente grandes para permitir la realización del agitado. Al tratar piezas muy impregnadas de grasas es recomendable utilizar dos recipientes a fin de que en el primero quede la impureza, mientras que la segunda fase corresponde a un enjuagado integral.

La solución alcalina empleada depende de la identidad previa establecida de las impurezas. Como ya conocemos para grasas de origen animal y vegetal, se utiliza en mayor grado la sosa cáustica,

carbonato sódico o silicatos alcalinos. La mayoría de las plantas de galvanizado, mantienen cubas para la preparación superficial, puesto que su funcionamiento resulta económicamente conveniente. Actualmente existen cubas con servicios integrados de recirculación de la solución limpiadora, filtros de compuestos químicos insolubles, elementos calefactores y agitadores. La Fig. N° 5 nos presenta el esquema de una cuba dotada de mecheros de gas.

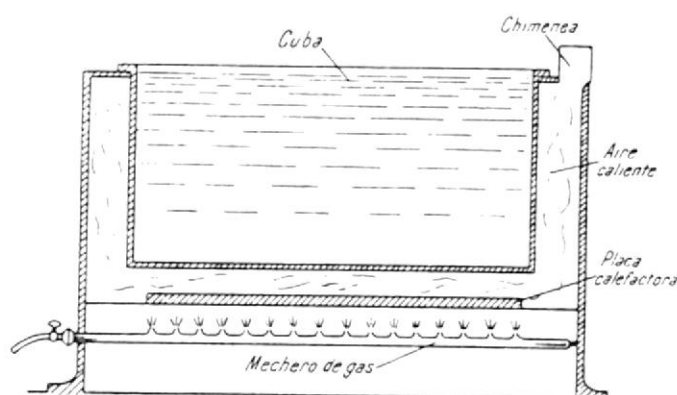


Fig. N° 5.- Cuba para desengrasado, con calentador incorporado.

LIMPIEZA ELECTROLITICA

Se constituye en un método muy efectivo para la eliminación de grasas o cascarilla de óxido adheridos en la superficie metálica. Un equipo pa-

ra la limpieza electrolítica está formado por una cuba, electrodos, electrolito, fuente de energía eléctrica, reóstato, cables de interconexión, voltímetro, amperímetro e interruptor.

El electrolito es una solución alcalina. La pieza tratada es un polo y el otro polo lo constituye bien la cuba electrolítica o un conjunto de placas de acero. Al ser aplicada una corriente a los electrodos antes mencionados, el agua se descompone formando burbujas de oxígeno en el ánodo (+) y burbujas de hidrógeno en el cátodo (-).

La función de limpieza está constituida por la acción continua de formación de gas sobre la superficie de la pieza, determinando un rompimiento de la película de aceite y por ende la eliminación de la impureza.

Las piezas a ser tratadas podrán colocarse en cualquiera de los electrodos, determinándose de esta manera el carácter anódico o catódico de la misma. La limpieza anódica requiere una densidad de corriente de 1 a 8 A/dm², estando mayor-

mente indicada su aplicación para los casos que se requiera un ataque moderado de la superficie metálica, mientras que la limpieza catódica requiere densidades de 10.8 a 32.4 A/dm² para voltajes alternos rectificadas. La ventaja principal observada es la de producir separaciones mínimas de la superficie del metal tratado.

El electrolito puede ser una solución alcalina de buena conductibilidad eléctrica; no debe contener cloruros puesto que se disociarían produciendo un ataque a los electrodos. Así mismo están excluidos los jabones y materiales coloidales o cualquier otra materia orgánica que pudiera descomponerse debido al proceso electrolítico.

Como se ha indicado antes, el método tiene alcance para eliminar la capa de óxido superficial, para cuyo caso se empleará como electrolito ácido sulfúrico (SO₄H₂) diluido, bajo la proporción de 25 a 30% y densidades de corriente hasta de 8.1 A/dm². Las figuras N^o 6 y N^o 7 nos muestran cubas dotadas de elementos calefactores y agitadores.

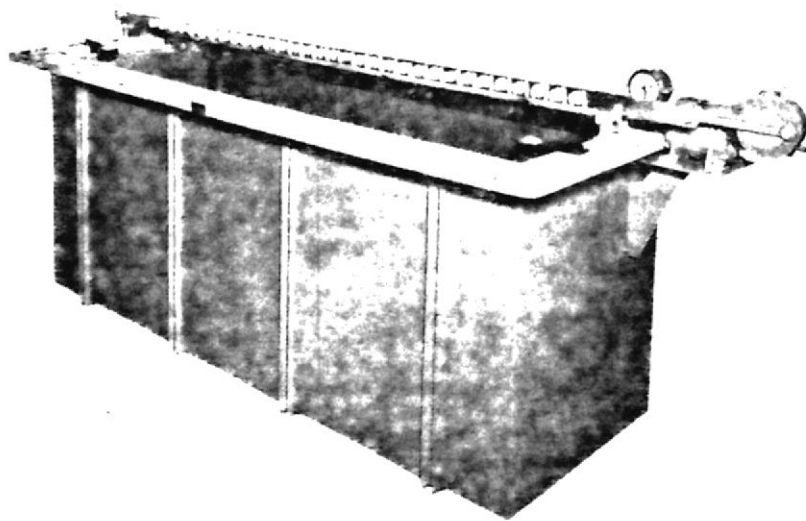


Fig. N° 6. - Cuba para limpieza electrolítica, con termostato para regulación automática de temperatura.

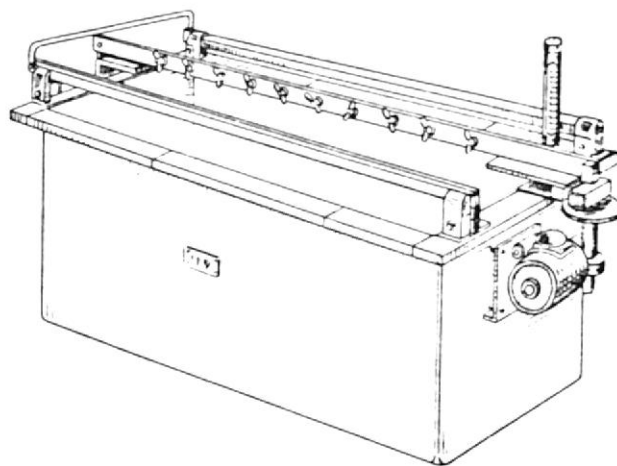


Fig. N° 7. - Cuba para limpieza electrolítica con dispositivo de agitación.

EMPLEO DE JABONES Y DETERGENTES SINTETICOS

La utilización de los jabones en la limpieza de los metales impregnados de aceite y grasas ha sido practicada desde que apareció la necesidad de eliminar a todo tipo de impureza superficial como requisito indispensable en un proceso. Los jabones están compuestos de sales alcalinas y ácidos grasos superiores, mientras que los detergentes sintéticos representan una variedad de hidrocarburos alifáticos y aromáticos sulfonados.

La acción principal que presentan los jabones y detergentes es la de reducir la tensión superficial del agua frente al aceite (tensoactivos). Se agrega por esta razón la propiedad de ser excelentes emulsionantes.

Los aceites y grasas de origen mineral, no saponificables pueden ser tratados de manera eficaz mediante la utilización de elementos tensoactivos, los mismos que en su mayoría son de origen sintéticos. El mecanismo de actuación principal reside en la oposición al efecto de coalescencia de las grasas y aceites de origen mineral, deter-

minándose luego su eliminación por enjuagado.

Los principales compuestos tensoactivos están agrupados de la siguiente manera: aniónicos, catiónicos, no aniónicos y anfóteros. Las propiedades humectantes de los álcalis pueden mejorarse con la adición de agentes tensoactivos.

EMPLEO DE DISOLVENTES

Se constituye en un método muy efectivo para eliminar la grasa y el aceite, especialmente de grupo de piezas no muy numeroso. Los disolventes más usuales son los siguientes: kerosene, gasolina, petróleo, hidrocarburos clorados, tricloroetileno, tetracloruro de carbono, tetracloroetileno, etc.

La limpieza superficial obtenida por aplicación de disolventes no puede ser considerada como definitiva en un trabajo relativo a nuestro propósito. Más bien se constituiría en una acción inicial sobre un tratamiento en el que participa más de una solución limpiadora.

Puesto que la acción disolvente está dirigida a

los aceites y grasas, cualquier impureza acumulada necesitará de un frotamiento para su remoción. El empleo de disolventes por lo general presenta una serie de inconvenientes ya sea en la aplicación del pequeño taller o en la planta de galvanizado, puesto que muchos de ellos son inflamables o tóxicos a temperatura ambiente. Sin embargo, lo citado no se constituye en limitante del método por cuanto su empleo tiende a generalizarse.

Se observa que mayormente tienen aplicación los limpiadores disolventes cuando se trata de estructuras o piezas muy grandes o para separación de considerables cantidades de grasas y aceites. Para imprimir mayor efectividad a la acción del disolvente requiere en muchos casos ser calentado.

DESENGRASADO AL VAPOR

La propiedad relativa a disolver grasas y aceites, de los hidrocarburos clorados como el tricloroetileno o el percloroetileno, los hacen cada vez más utilizados en la industria, para el desengrasado del acero especialmente. Existen dos métodos de aplicación basados en la conden -

sación del vapor de un disolvente, los mismos que por su sencillez se describirán a continuación:

a) Una cuba que contiene al líquido disolvente a una temperatura que corresponda a su punto de ebullición, genera un flujo de vapor sobre las piezas que recibirán el tratamiento de limpieza.

El vapor, al condensarse sobre la superficie de las piezas, produce la disolución del aceite y grasa; muchas partículas sólidas serán arrastradas al retornar el flujo hacia la cuba.

Puesto que la acción disolvente no es integral debido a la presencia de partículas insolubles como cales o jabones (solubles en agua) será necesario aplicar un trabajo complementario de limpieza.

b) Las piezas a tratarse se sumergen en una cuba que contiene al disolvente caliente. Luego se aplica a).

Una modificación que trae resultados más efectivos consiste en tratar a las piezas en cubas

RESUMEN RELATIVO AL ORIGEN DE LAS IMPUREZAS

O R I G E N	SUCIEDADES EVENTUALES
-------------	-----------------------

Fundición	Arenas, escorias
Laminado, Forja	Calaminas diversas
Trefilado	Aceites, grasas, metales diversos
Embutido, corte	Aceites, grasas
Taladrado, Torneado, Fresado	Aceites, grasas, virutas, polvos metálicos, grasas pirogenadas, borax, fundentes.
Moldeado	Polvos abrasivos
Tratamiento en caliente, Estampado, Matrizado	Oxidos, grasas quemadas
Manipulación	Manchas diversas
Almacenamiento	Grasas, aceites, óxidos metálicos, etc.

diferentes, manteniendo en orden descendente sus temperaturas para finalmente someterlas a la acción del vapor. Fig. N° 8, Equipo de Desengrase.

La imposibilidad presentada en piezas muy grandes se logra obviar mediante la aplicación de flujos de vapores dirigidos.

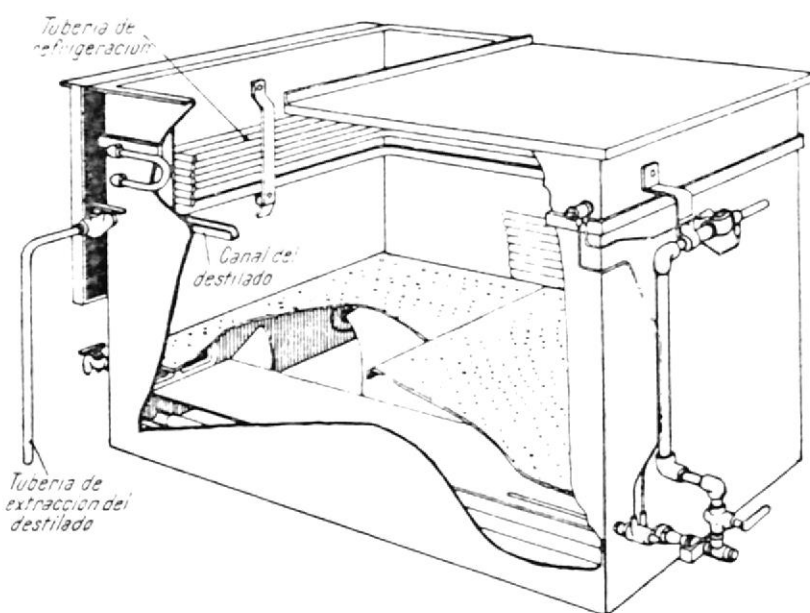


Fig. N° 8 .- Equipo para el desengrase con tricloroetileno.

1.2.2 Decapado

La acción complementaria relativa a la preparación superficial, implica diversas operaciones

a efectuarse con el objeto de eliminar las impurezas sólidas adheridas en la superficie del metal base, como son la cascarilla de óxido, productos de la corrosión, arena o partículas ligeras.

Los métodos indicados para la realización de este propósito son mecánicos: cepillado, limpieza abrasiva, agitación en tambor giratorio; métodos químicos: utilización de ácidos fluorhídrico, sulfúrico y clorhídrico.

Métodos Mecánicos:

a) Utilización de cepillos de acero.- Este método es utilizado para limpiar y suavizar superficies. Se realiza bajo la forma ordinaria conocida o mediante la adaptación de los de forma circular a máquinas rotatorias de alta velocidad. Como se tiene entendido, la operación es manual, aunque se ha podido observar últimamente la utilización de máquinas que realizan este tipo de operaciones de manera semi-automática.

De manera general indicaremos que el cepillado

solo remueve cantidades pequeñas de material. El acabado superficial aparece con una serie de rayaduras, pero seleccionándose el cepillo adecuado es posible conseguir superficies uniformes.

La aplicación en forma combinada de un frotamiento enérgico con cepillo y un disolvente o abrasivo en pasta, permite eliminar grasas, aceites o elementos contaminantes muy adheridos. El inconveniente observado se presenta en los ángulos y ranuras. La Fig.Nº 9 muestra los cepillos empleados.

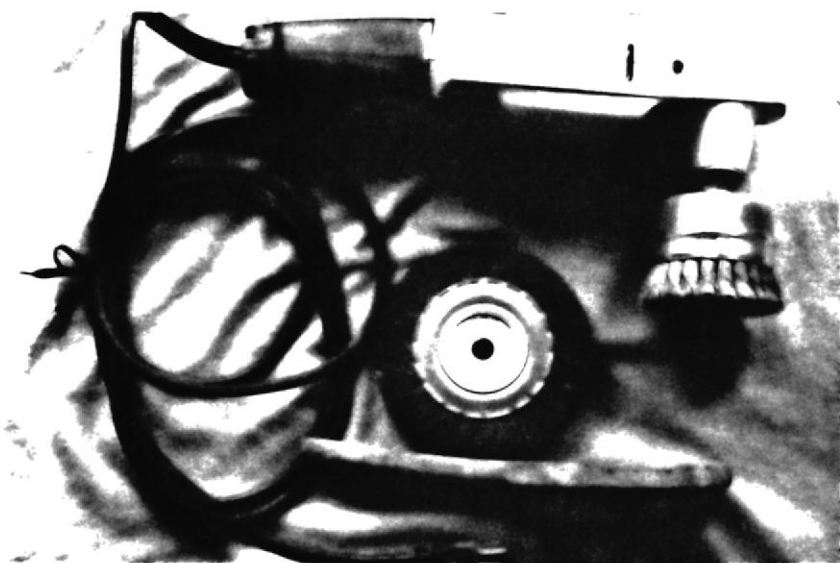


Fig. Nº 9 .- Cepillos de acero: Manual y Eléctrico

- b) Limpieza abrasiva.- Con el objeto de remover la arena o escamas adheridas en la superfi -

cie metálica, resultantes de ciertos tipos de colada o procesos efectuados a elevadas temperaturas, se emplean diversos tipos de abrasivos, como la arena, granalla de acero, perdigones de acero, arenilla de acero. Mediante la utilización de pistolas son proyectados sobre la superficie tratada, utilizándose para el efecto flujos de aire o agua a elevadas presiones, generalmente del orden de 40 a 60 Kg/cm². La operación relativa al manejo de la pistola puede ser manual cuando se trata de áreas considerables. Para el tratamiento de piezas pequeñas se las hace rotar sobre toberas fijas. Fig. N^o 10, Aplicación del Granallado.

El método de limpieza por abrasivos se lo puede considerar como efectivo especialmente cuando está dirigido a piezas de hierro fundido o forjadas. Además, es necesario tener presente que la aplicación del flujo de manera localizada causa inmediatos desbastes, especialmente sobre ángulos o aristas de las piezas.

La utilización de abrasivos de partículas metálicas es cada vez más empleado. Las normas SAE para granallas y perdigones de acero determina

que los perdigones de forma esférica presenten un comportamiento más eficiente que los de forma irregular. Las Tablas N^o 1 y 2 dan el diámetro de los perdigones.

Otras formas de ataque observadas en la industria, dirigidas a la limpieza o eliminar rebabas e imperfecciones dejadas por el maquinado en las piezas de precisión y líneas de rectificado, es el método de chorreado con vapor o esmerilado líquido. Como en los casos anteriores, un abrasivo de grano fino aplicado a presión suspendido generalmente en agua, es proyectado sobre los elementos tratados.

La eliminación de grasas y pinturas de las superficies metálicas también se efectúa utilizando un flujo de materia blanda aplicada bajo presión. Los elementos usados por lo general son cáscara de arroz o aserrín de maderas duras.

c) Agitación en tambor giratorio.- Se trata de un método económicamente recomendado y de una acción realmente efectiva sobre limpieza superficial, puesto que puede mejorarse la calidad de



Fig. N° 10.- Soplado con perdigones,
en un recinto especial.

la superficie como también la eliminación de rebabas, cantos agudos y más que todo gruesas costras de óxido.

Los abrasivos utilizados por lo general varían con la función requerida como cortar, quitar rebabas, limpiar o pulir. Lo que mayormente emplea la industria son los siguientes: recortes metálicos, estrellas o piezas punzonadas, bolas de acero, granito o abrasivo en polvo. La descripción del método es muy sencilla, pues se trata de un tambor giratorio, en el que la acción abra-

siva es realizada por los contactos y fricciones de las piezas a limpiarse con los abrasivos.

El tratamiento mediante el barril rodante o bruñido en tambor complementan la forma de preparación, mediante el uso de abrasivos, de las piezas que recibirán el baño galvánico. Una descripción elemental de estas formas de limpieza se ilustra en la Fig. N° 11 y N° 12. Los tambores pueden ser horizontales o ligeramente inclinados. El volumen que totaliza las piezas, el agua y los abrasivos equivale a las tres cuartas partes del tambor. Un corte seccional nos permite observar paletas deflectoras en el interior, mientras que los de sección poligonal no las poseen.

Métodos químicos:

Es posible lograr un estado de limpieza que corresponda una superficie "enteramente metálica", es decir, exenta de toda impureza, mediante la aplicación de los ácidos fluorhídrico, sulfúrico y clorhídrico.

Una acción preliminar a este propósito lo constituye la inmersión de las piezas de hierro fun-

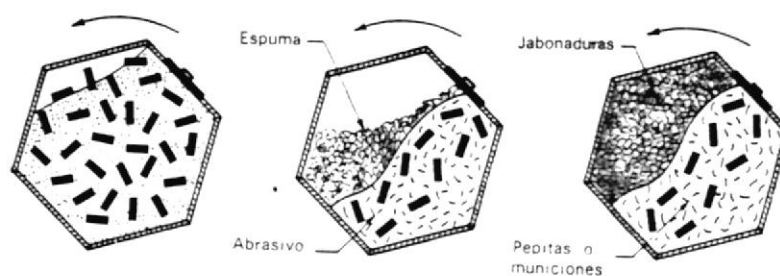


Fig. N° 11.- Ilustración de métodos de agitación en tambor

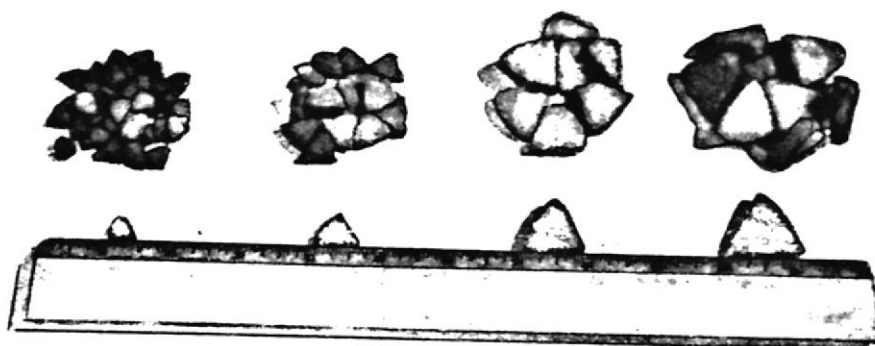


Fig. N° 12.- Ejemplos de perdigones de abrasivos artificiales usados en el método de agitación en tambor.

dido en ácido fluorhídrico, diluido con el fin de remover silicatos de moldes de hierro gris maleable, los mismos que son insolubles a los ácidos sulfúrico y clorhídrico. La concentración de la solución es del 5% en volumen a la temperatura ambiente, durante 25 minutos.

Para eliminar la herrumbre y la cascarilla de óxido, se emplea a los ácidos sulfúrico y clorhídrico. El grado de eficacia de estos ácidos varía por el grado de concentración, tiempo de aplicación, temperatura y naturaleza del óxido tratado.

Oxidos formados a temperaturas inferiores a 570°C

Magnetita Fe_3O_4

Sesquióxido Fe_2O_3

Oxidos formados a temperaturas superiores a 570°C

Protóxido de hierro Fe O

Magnetita Fe_3O_4

Sesquióxido Fe_2O_3

El orden de formación es del interior al exterior.

Por lo observado, la capa de óxido formada por acción del calor, tanto su composición como propiedades, dependen del nivel alcanzado de temperatura.

El protóxido de hierro (FeO) es atacado fácilmente por los ácidos sulfúrico (SO_4H_2) y clorhídrico (ClH); mientras que la magnetita (Fe_3O_4) y el sesquióxido (Fe_2O_3) lo hacen con dificultad. El mecanismo de aplicación para eliminar la capa de óxido depende de que ésta contenga o no al protóxido de hierro (FeO).

a) Cuando la capa de óxido contiene protóxido de hierro. Puesto que la capa de óxido presenta discontinuidades, al ácido puede penetrar y atacar el protóxido, produciéndose el desprendimiento de la capa. El protóxido de hierro a temperatura ambiente se descompone parcialmente en magnetita más hierro.

b) Cuando la capa de óxido no contiene protóxido de hierro. La superficie del óxido presenta imperfecciones como por ejemplo porosidades; al penetrar el ácido forma pilas locales entre la

magnetita (Fe_3O_4) el sesquióxido (Fe_2O_3) el hierro y el ácido, actuando como ánodo el hierro.

De manera general los óxidos formados a temperaturas inferiores o superiores de 570°C se eliminan por acción del ácido clorhídrico (ClH) 5 N a 30°C o el ácido sulfúrico (SO_4H_2) 2 N a 80°C .

De manera ordinaria para propósitos relacionados con nuestro trabajo se utiliza el ácido sulfúrico (SO_4H_2) diluido bajo la proporción de 4 a 10% a 80°C , durante 25 minutos; mientras que el ácido clorhídrico (ClH) diluido de 4 a 10% a temperatura ambiente durante 15 a 25 minutos.

ACIDO	CONCENTRACION	TEMPERATURA	TIEMPO (min.)
Fluorhídrico	5 %	Ambiente	15
Sulfúrico	5 a 10 %	80°C máx.	15 a 25
Clorhídrico	5 a 10 %	Ambiente	15 a 25

Valores correspondientes a Concentración, Temperatura y tiempo de aplicación de los ácidos empleados.

Una fórmula que ha tenido amplio uso en la industria es el baño químico pickling. Está formada de 10% de ácido sulfúrico a una temperatura que

varía entre 66 y 80°C. Se emplea también el ácido muriático a temperatura ambiente. La proporción de agua y ácido es igual.

1.2.3 Soluciones Neutralizantes

A pesar de realizarse de manera cuidadosa el enjuagado de las piezas una vez concluida la etapa correspondiente al decapado, es necesario efectuar una operación que nos brinde total seguridad sobre la eliminación de vestigios de ácido o sales de hierro, para evitar una posible oxidación.

Las soluciones alcalinas de manera general se emplean con la finalidad de cumplir este propósito, es decir la de neutralizar trazas de ácidos residuales, aunque actualmente en el campo industrial los fundente son ampliamente usados.

Fórmulas de soluciones neutralizantes:

Ceniza de sosa	25%
Bórax	75%
Oxido de sodio	0.25 a 0.3 %
Temperatura de trabajo	160°F (70°C)

A fin de complementar la acción del baño se hace necesario realizar una segunda inmersión en la siguiente solución:

Bórax	25 %
Oxido de Sodio	0.08 %
Temperatura de trabajo	77°C

1.2.4 Fundentes

Los fundentes son agentes químicos cuya función principal consiste en disolver las impurezas que aún se encuentran presentes en el metal base, bajo la forma de óxidos, cloratos, sulfatos y sulfuros, aunque se haya realizado una buena preparación superficial, puesto que su presencia en el baño galvánico causará interferencias en la reacción hierro-cinc.

El agregado de un fundente, como se ha explicado, está dirigido principalmente a disolver los elementos contaminantes residuales o de reciente formación.

La estabilidad química que posee le permite man-

tener una espuma muy activa a la temperatura de galvanizado, permitiendo realizar la función de limpieza a velocidades considerables. Se atribuye además la realización de un verdadero aislante entre el metal fundido y la atmósfera.

Los fundentes empleados en el proceso de inmersión en caliente son:

Cloruro de amonio (ClNH_4)

Cloruro de cinc (Cl_2Zn)

Bajo las formas conocidas como: fundente para el baño de cinc y como solución de lavado.

Preparación del fundente para el baño galvánico: el orden de proporción está constituido por 3 moles de cloruro de amonio y 1 mol de cloruro de cinc.

Determinando el peso en gramos correspondiente a 3 y 1 moles

a) Cloruro de amonio:

$$\text{ClNH}_4 = 35,457 + 14.008 + 4 = 53,465 \text{ g/mol}$$

$$= \frac{\text{peso en gramos}}{\text{peso molecular g/mol}}$$

$$3 = \frac{\text{peso en gramos}}{53,465 \text{ g/mol}}$$

$$\text{ClNH} = 160 \text{ gramos}$$

b) Cloruro de cinc:

$$\text{Cl}_2\text{Zn} = 2(35,457) + 65,38 = 136,294 \text{ g/mol}$$

$$= \frac{\text{peso en gramos}}{136,294 \text{ g/mol}}$$

$$\text{Cl}_2\text{Zn} = 136 \text{ gramos}$$

Otra forma de preparar la capa de fundente consiste en mezclar cloruro de amonio (ClNH_4), sal de amoníaco y óxido de cinc para formar la monoamina de cloruro de cinc. Por efectos de la reacción se forma hidrógeno y nitrógeno, los mismos que son liberados mientras que el fundente toma la forma de espuma.

En la preparación del fundente debe mantenerse un exceso de cloruro de amonio del orden del 9% en volumen.

Con el objeto de formar una mayor cantidad de espuma y evitar la pérdida de cloruro de amonio se recomienda añadir glicerina al fundente de 1 a 2%

en volumen. Además, debe tenerse presente que el punto de ebullición del fundente disminuye al aumentar el contenido de cloruro de amonio, según se muestra en la Fig. N° 13.

SOLUCION DE LAVADO CON FUNDENTE. - Esta operación se ejecuta inmediatamente después que ha concluido el decapado, a fin de eliminar la humedad en exceso como también el hidrógeno absorbido por acción de los ácidos.

Es una solución acuosa que normalmente se la aplica a la temperatura ambiente o ligeramente caliente. La proporción de cloruro de cinc (Cl_2Zn) varía de 40 a 50%, pudiendo ser de 40 ó 30 Bé según se trata de piezas pesadas o livianas respectivamente.

1.3 PROCESO DE INMERSION EN CALIENTE (HOT DIPPING)

Bajo esta denominación se conoce un método ampliamente utilizado en el campo industrial, para dar protección al hierro y acero contra la corrosión.

Consiste básicamente en la inmersión momentánea de los

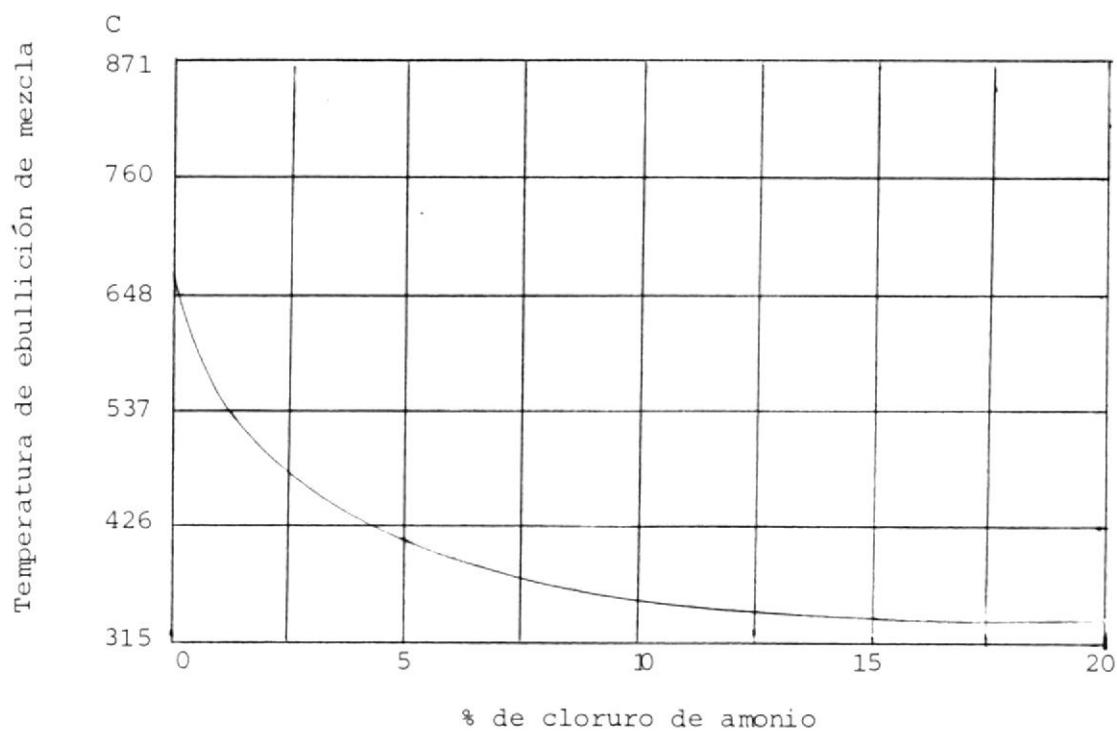


Fig. N° 13. - Efecto del contenido de CLNH_4 sobre el punto de ebullición de mezclas de $\text{CLNH}_4 + \text{Cl}_2\text{Zn}$ (fundente).

(Tomado de Metals Handbook eighth edition
Tomo Pág. 499)

elementos en un recipiente que contiene al metal protector cinc en estado de fusión, puesto que en esas condiciones éste se caracteriza por ser muy reactivo; es decir, se aleará con el metal base.

El llamado efecto aleante, de hierro y cinc, que se lleva a cabo en el proceso de inmersión en caliente, puede ser fácilmente comprendido mediante el siguiente ejemplo que nos ilustra Burns:

Al ser introducidos en agua, una varilla de vidrio y un cristal de cloruro de sodio se observará que al ser retirados la varilla estará cubierta en gran parte por agua, dependiendo en forma directa su uniformidad de la influencia de la tensión superficial; en lo que refiere al cristal, la película exterior no estará solamente constituida por agua sino que posee sal en disolución. Esta tendencia a disolverse asegura un recubrimiento integral del cristal. Un fenómeno de características muy similares se opera en un proceso de inmersión en caliente.

Puesto que los elementos galvanizados no solamente poseen una película protectora superficial de cinc, sino que la acción de este metal penetra bajo la forma de

una aleación formando una subcapa, cuyo contenido de hierro varía de 6-28%. Además, es muy frágil y su grosor depende de la temperatura del baño y tiempo de inmersión de la pieza.

La práctica del proceso de inmersión en caliente se caracteriza por mantener el control a niveles determinados de tres variables: temperatura de inmersión, tiempo de inmersión y velocidad de extracción; en forma aislada o interdependiente participan sobre características esenciales del recubrimiento.

Una vez realizada la etapa correspondiente a la preparación superficial de las piezas que recibirán el tratamiento galvánico, desengrasado-decapado-aplicación de solventes neutralizantes, se someterán a un lavado con una solución caliente de cloruro de amonio y cloruro de cinc (fundentes). Se los deja secar e inmediatamente se aplica el método de galvanizado húmedo; es decir, se agrega una porción de fundente sobre la superficie del baño, a fin de que sirva de elemento aislante entre el metal fundido y la atmósfera o para prevenir posibles reoxidaciones.

Bajo las condiciones citadas, se inicia la inmersión

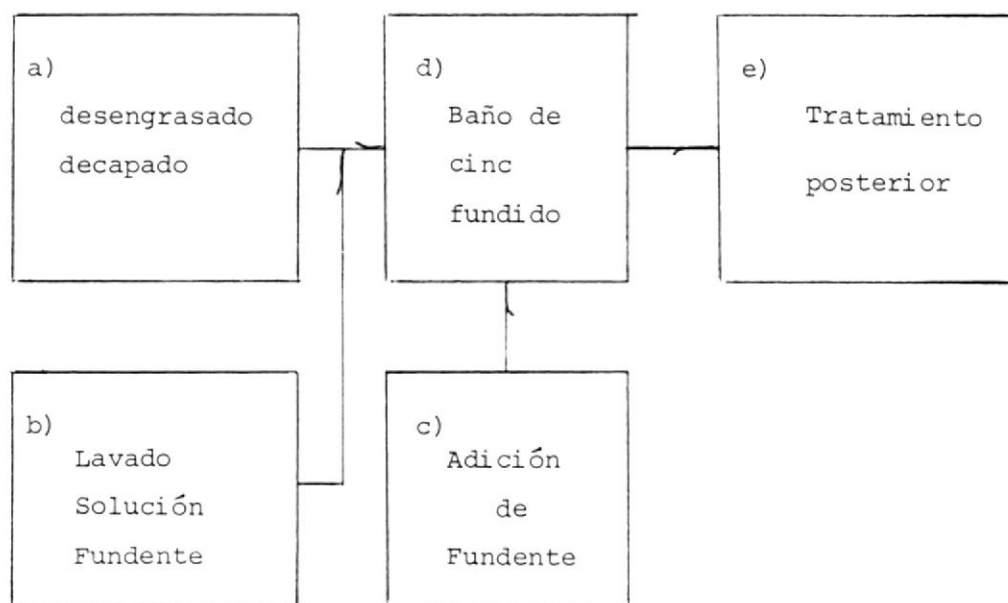
de las piezas en el baño de cinc, cuya temperatura es un poco más alta que la correspondiente a su punto de fusión (419°C), lo que conlleva una pérdida considerable de cinc, del orden del 10%. Otra fuente de pérdidas lo constituye la formación de escorias en el crisol, cuando es de acero, o la aleación del hierro-cinc que de manera inevitable se realiza con las piezas a ser protegidas.

La operación de inmersión se efectúa lo más rápido posible con ayuda de ganchos, pinzas o canastillas, permaneciendo inmersas por períodos de 1 a 5 minutos. En todo caso debe tenerse presente la temperatura de aplicación y características de dimensión superficial y masa de las piezas. La velocidad de extracción será del orden de 2.5 cm/seg. Resultados satisfactorios de recubrimiento se obtienen al efectuar ensayos, aplicados particularmente a cada pieza.

Un galvanizado de buena calidad es función directa del grado de eficacia alcanzado, sobre la preparación superficial de las piezas y el control de ciertas variables del proceso como: tiempo de inmersión, temperatura del baño y velocidad de extracción, que se mencionaron anteriormente.

El orden de operaciones correspondiente al método de inmersión en caliente puede sintetizarse de la siguiente manera:

- a) Etapa de preinmersión: desengrasado, decapado y soluciones neutralizantes.
- b) Lavado con solución fundente: cloruro de cinc- Cl_2Zn de 40 a 50% (solución acuosa).
- c) Adición de fundente: cloruro de amonio (ClNH_4) y cloruro de cinc, bajo la proporción 2 y 1 mol, respectivamente.
- d) Baño de cinc fundido: temperatura de trabajo: 443 a 465°C (gama baja).
- e) Tratamiento posterior. Consiste principalmente en la aplicación de calor a fin de conseguir que todo el recubrimiento posea características de aleación hierro-cinc. Corresponde realizar esta etapa solo para propósitos especiales.



Secuencia ordenada de operaciones correspondientes al
Método de Inmersión en Caliente (Hot Dipping).

1.3.1 Acción del Proceso sobre el Metal Base

a) Distorsiones. Este efecto se observa sobre determinadas piezas que se han sometido al proceso de inmersión en caliente, debiéndose principalmente al fenómeno de expansión y contracción térmica. Son afectadas mayormente las piezas cuyo grosor es inferior a los seis milímetros, que han sido sometidas a trabajos de soldadura o remachado, estructuras de acero formadas por elementos soldados o perfiles no simétricos, como por ejemplo los canales, los mismos

que requerirán ser enderezados después del galvanizado.

Las recomendaciones que se pueden proporcionar para evitar las distorsiones referidas a estructuras o armazones, paneles fabricados de perfiles y chapas son las siguientes: Los perfiles se colocarán sobre la posición requerida sin ser sometidos a tensiones, para luego proceder a soldarlos. Los bordes de las piezas que van juntas se soldarán íntegramente, debiéndose evitar deformaciones por esta operación.

Lo que refiere a las chapas, por lo general, se recomienda no efectuar soldaduras en ángulo recto, si el elemento resultante es tan grande que la cuba resulta demasiado pequeña para permitir una inmersión total, no se tratará de galvanizarlo por partes. Una decisión considerada como buena, sería la de efectuar la inmersión pieza a pieza y luego proceder al armado, empleando soldaduras no oxidantes o remaches revestidos de cinc. Los perfiles de diversos grosores deben evitarse, pues el efecto de dilataciones no uniformes y tiempos desiguales de enfriamiento generan deformaciones.

mecánicas de los aceros, como dureza y fragilidad son afectadas por la deformación en frío debido a las tensiones internas creadas en los procesos de laminado, embutido, doblado, punzonado, cortado, etc., se considera entonces necesario el sometimiento de tales piezas a un recocido a fin de aliviar las tensiones antes de iniciar la inmersión.

b₃) Decapado Defectuoso.- Es motivo de preocupación el hecho de que la acción del hidrógeno contenido en los ácidos empleados en la etapa de decapado pueda inducir fragilidad al acero. A fin de contrarrestar esta acción, se recomienda someter a las piezas una vez concluido el decapado, a un calentamiento prolongado a 150°C - 200°C, a fin de eliminar el hidrógeno absorbido. Para determinadas piezas es preferible efectuar la preparación superficial a base del chorro abrasivo. Al evitarse el empleo de ácidos se excluye la posibilidad de fragilización.

1.3.2 Naturaleza de los Recubrimientos de Cinc

Conocemos que la corrosión es un proceso de degradación, por tanto, se caracteriza por la disipación de energía. El cinc al corroerse libe-

ra 71.500 calorías por cada átomo/gramo del metal convertido en hidróxido.

Los productos de la corrosión forman una fina película que recubre íntegramente al metal. El cinc en presencia del aire con porcentajes bajos o moderados de humedad reacciona con el oxígeno formando un óxido pseudomórfico, el mismo que luego se convertirá en la forma granular ordinaria del óxido de cinc. Su estructura se caracteriza por ser porosa, lo que permite que la reacción de oxidación continúe, determinándose su velocidad por la transformación de un óxido a otro.

¿Por qué el cinc, conociéndose que es fácilmente corroíble, otorga protección al hierro?. Como respuesta obtenemos que dicho fenómeno es un resultado de la acción protectora de la película envolvente, a la que nos hemos referido anteriormente. Los recubrimientos de cinc al ser aplicados sobre el hierro y acero ejercerán todas las propiedades inherentes que posee el metal, agregándose la relativa a la calidad de la superficie galvanizada. Para los casos en los que se presentan imperfecciones, tales como aristas desprotegidas, cortes, discontinuidades o cual-

quier otro tipo de interrupción del galvanizado, la protección brindada por el cinc se presenta bajo la denominación de "protección lejana o de sacrificio". Como el cinc es anódico respecto al hierro, en el caso de que haya penetración de humedad por las imperfecciones del recubrimiento, el cinc se corroe y sacrifica. Esta acción de protección concluye cuando la superficie interrumpida del galvanizado hace insuficiente la polarización debida al cinc, haciéndose notoria la iniciación de la corrosión en la parte central del área desprotegida. La Tabla N° 3 indica la escala de potenciales electroquímicos.

A más de la protección electrolítica o de sacrificio, se observa la obstrucción de los puntos de corrosión como consecuencia de la combinación de iones cinc con los iones hidróxilos producidos por la reacción catódica sobre la superficie del hierro y la precipitación de hidróxido en las imperfecciones del recubrimiento, tales como poros y grietas.

1.3.3 Síntesis Metalográfica del Recubrimiento Galvánico.

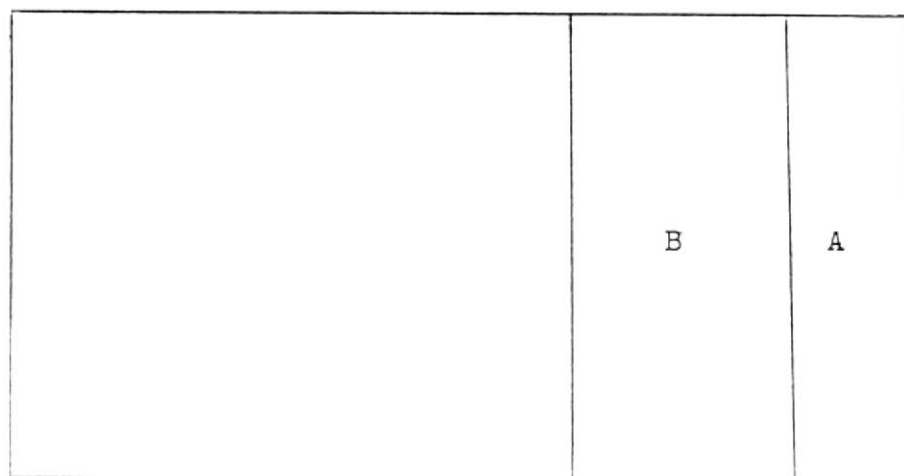
Los recubrimientos protectores de cinc por inmer-

Electrodo	Potenciales normales para soluciones a 25°C. V_b
$Au = Au^{+++} + 3e^{-}$	+ 1.498
$Ag = Ag^{+} + 1e^{-}$	+ 0.799
$Cu = Cu^{++} + 2e^{-}$	+ 0.337
$H_2 = 2H^{+} + 2e^{-}$	$\pm$ 0.000
$Pb = Pb^{++} + 2e^{-}$	- 0.126
$Sn = Sn^{++} + 2e^{-}$	- 0.136
$Ni = Ni^{++} + 2e^{-}$	- 0.250
$Fe = Fe^{++} + 2e^{-}$	- 0.440
$Cr = Cr^{+++} + 3e^{-}$	- 0.744
$Zn = Zn^{++} + 2e^{-}$	- 0.763
$Al = Al^{+++} + 3e^{-}$	- 1.663
$Mg = Mg^{++} + 2e^{-}$	- 2.363

Tabla N° 3 . - Escala de Potenciales Electroquímicos

sión, como se ha indicado, están formados por una banda, que se divide en dos partes: Fig. N° 14, la primera (exterior) está constituida de cinc casi puro, con un porcentaje equivalente a 0.02% de hierro (límite de solubilidad de este metal frente al cinc). La capa interior es de natura-

leza aleada, caracterizándose por ser muy frágil.



A Banda exterior de cinc

B Capa de naturaleza aleada

Fig. N° 14.- División de un Recubrimiento Galvánico

Un paralelismo comparativo entre el diagrama de equilibrio de la aleación hierro-cinc y la estructura de un recubrimiento por inmersión en caliente, nos permite determinar: primero, la formación de tres compuestos intermetálicos, .. theta, zeta y épsilon bajo el orden de mayor a menor contenido de cinc, mientras que el recubrimiento presenta estratos perfectamente definidos que van desde contenidos correspondientes a 0.02% a 28% de hierro, según se presenta en los Gráfi-

cos de las Figuras N° 15 y N° 16.

	Epsilon	Zeta	Theta
--	---------	------	-------

Fig. N° 15.- Compuestos Intermetálicos

t 21-28 % Fe	d ₁ 7-11 % Fe	d 6-5.2 % Fe	n 0.02 % Fe
--------------------	--------------------------------	--------------------	-------------------

Fig. N° 16.- Estratos de un Recubrimiento

Es importante determinar que debido a la imposibilidad de obtener condiciones de equilibrio en el proceso, las informaciones del diagrama de la

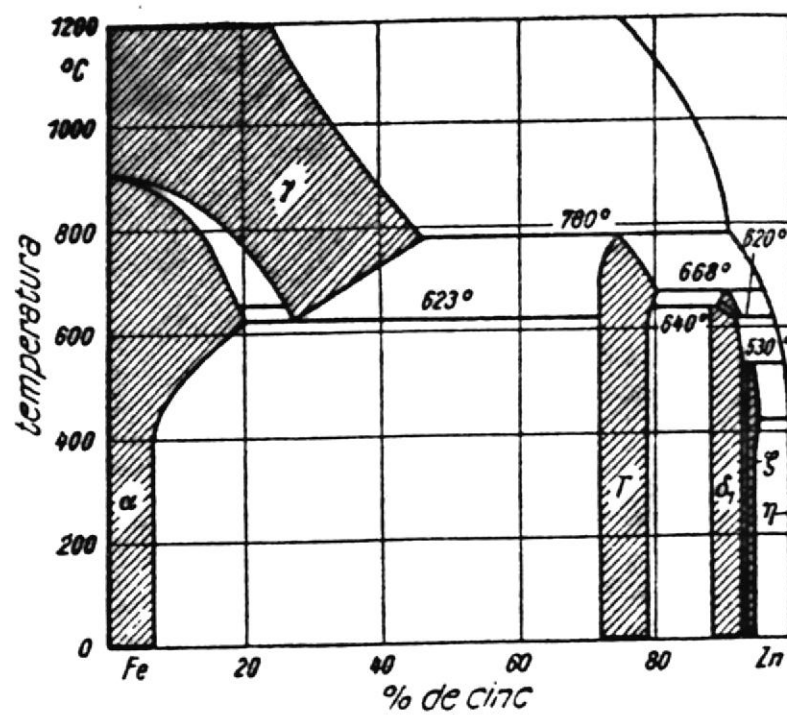


Fig. N^o 17.- Sistema binario hierro-cinc

Fig. N° 17 no podrán ser aplicadas; más bien servirán como indicativos de las tendencias de las transformaciones que pueden ocurrir.

Se ha observado determinada correspondencia estructural entre los recubrimientos protectores de cinc que han sido sometidos a la operación de recocido post-inmersión con las condiciones dadas por el diagrama de equilibrio.

Un galvanizado puede ser sometido a un proceso de recocido de fisión, (galvannealing) con el que se consiguen condiciones de equilibrio entre los compuestos existentes.

1.3.4 Imperfecciones sobre Acabado: causas y correcciones.

Además de las propiedades constituyentes de un buen galvanizado, se pueden agregar factores referentes a una excelente presentación puesto que un recubrimiento debe tener apariencia coherente, uniforme, sin manchas, fisuras o ampollas.

En base a un perfeccionamiento operado en la preparación superficial de las piezas o empleo de

fundentes, la utilización de parámetros, que gobiernan el proceso bajo su forma más óptima, o quizá la aplicación de una técnica operativa realmente avanzada, nos permite emplear los recubrimientos galvánicos con grado amplio de confianza.

A continuación detallamos una serie de defectos que pueden aparecer en la superficie galvánica, sus causas y correctivos. Tomados del Boletín de INEN, MT 05.01-404, de fecha 1977.08.04, Anexo D.

DEFECTO	C A U S A	CORRECTIVO
Picaduras puntuales (hoyos)	Residuos de pintura o aceite	Controlar las operaciones de desbaste.
	Residuos de escoria de soldadura	Controlar las operaciones de decapado.
	Contenido de Al muy alto en el baño	Regular el contenido de Al.
	Defectos de laminado en el material base.	Controlar el material de suministro
	Artículos en contacto durante la inmersión	Mantener los artículos separados
	Superficie original del metal base rugosa	Controlar el material de suministro.

DEFECTO	C A U S A	CORRECTIVO
Picaduras puntuales (hoyos)	Sobre decapado	Reducir el decapado, usar inhibidores de decapado.
Rugosidad general	Temperatura de inmersión muy alta, tiempo de inmersión muy largo o ambas.	Ajustar los parámetros de temperatura y tiempo.
Gránulos	Partículas atrapadas (escorias, arena, polvo).	Controlar materiales de base y sales de decapado.
	Velocidad de retiro del baño muy alta.	Disminuir velocidad
	Baño demasiado frío	Aumentar la temperatura.
Hinchazones protuberancias.	Artículos en contacto al retirar del baño.	Mantener los artículos separados.
	Fundente fresco quemado al sumergir en el baño.	Renovar dispensador de fundente.
Inclusiones de fundente	Residuos superficiales en el acero.	Controlar la preparación para la inmersión.
	Fundente atrapado de la superficie del baño	Limpiar, enraizar antes de retirar las piezas del baño.
Inclusiones de ceniza	Cenizas quemadas al sumergir en el baño.	Limpiar el baño antes de sumergir las piezas.
	Cenizas atrapadas al retirar del baño.	Limpiar el baño antes de retirar las piezas.
	Inclusiones de fundentes en partículas.	Limpiar la zona de fundente en la superficie del baño.

DEFECTO	C A U S A S	CORRECTIVO
Manchas negras	Suciedad, marcas de golpes.	Controlar almacenamiento.
	Composición del acero contiene silicio, fósforo o carbono, severa deformación en frío.	Controlar calidad y tipo de acero suministrado.
Revestimiento gris mate	Enfriamiento lento después de la inmersión en caliente.	Evitar el apilamiento en caliente de las piezas recubiertas; enfriarlas.
	Hidrógeno absorbido o emitido durante la solidificación del recubrimiento.	Evitar sobre-decapado, usar inhibidores de decapado.
	Acido que sale de juntas, dobleces, etc.	Duplicar diseño y proceso de fabricación del artículo.
Manchas de Oxido de herrumbre	Almacenaje cerca de material herrumbroso	Cambiar condiciones de almacenaje.
	Apilamiento estrecho de los artículos en atmósfera muy húmeda o con vapores presentes.	Almacenar y transportar en condiciones secas y ventiladas, separar apropiadamente los artículos entre sí.
	Empacado de los artículos en atmósfera húmeda	Secar los artículos previo al empaque. El embalaje debe incluirse desecantes.

1.3.5 Tratamientos Posteriores

Los elementos que han recibido al recubrimiento de cinc por inmersión en caliente, deberán ser colocados separadamente sobre una superficie exenta de polvo y ventilada. Para piezas de mayor masa es recomendable enfriarlas utilizando corrientes de aire o agua. Se indica realizar estas operaciones a fin de evitar la propagación de la capa aleante hacia la exterior (no aleada), de manera que toda la capa protectora presente una característica común. El fenómeno en mención recibe el nombre de difusión total, resultando muy fácil identificarlo puesto que la superficie se torna marcadamente opaca.

Para aplicaciones de carácter especial sobre protección contra la corrosión, es posible realizar el efecto de difusión total puesto que se ha comprobado que sobre estas superficies se presenta un mayor grado de adherencia a las pinturas o esmaltes. No siempre es posible conseguir un efecto de difusión por la vía que se indica (enfriamiento retardado) por lo que se indica la aplicación de calor sobre los elementos galvanizados por medio de hornos. Los parámetros

b) Fragilidad.- Se atribuye con frecuencia la fragilidad observada en el hierro y acero después del galvanizado, a los siguientes factores: tipo del metal base, deformaciones en frío o decapado defectuoso.

b₁) Tipo de metal base.- Los aceros de fabricación de solera abierta y los de chorro de oxígeno de horno eléctrico, se preferirán para ser revestidos por el método de inmersión en caliente, debiendo contener un porcentaje bajo de carbono y fósforo. En general, el contenido de carbono no debe exceder a 0.25% para piezas que han sido tratadas por deformación en frío.

El grado de fragilidad de los aceros variará desde los menos propensos hasta los de mayor probabilidad de falla, representados por los aceros calmados a los aceros de grano grueso, respectivamente.

Factores como sometimientos previos y prolongados de recocido o contenidos de fósforo y silicio más allá de lo que se considera como normal, incidirán sobre la fragilidad de la fundición maleable y la nodular (con grafito esferoidal).

b₂) Deformaciones en frío. Puesto que las propiedades

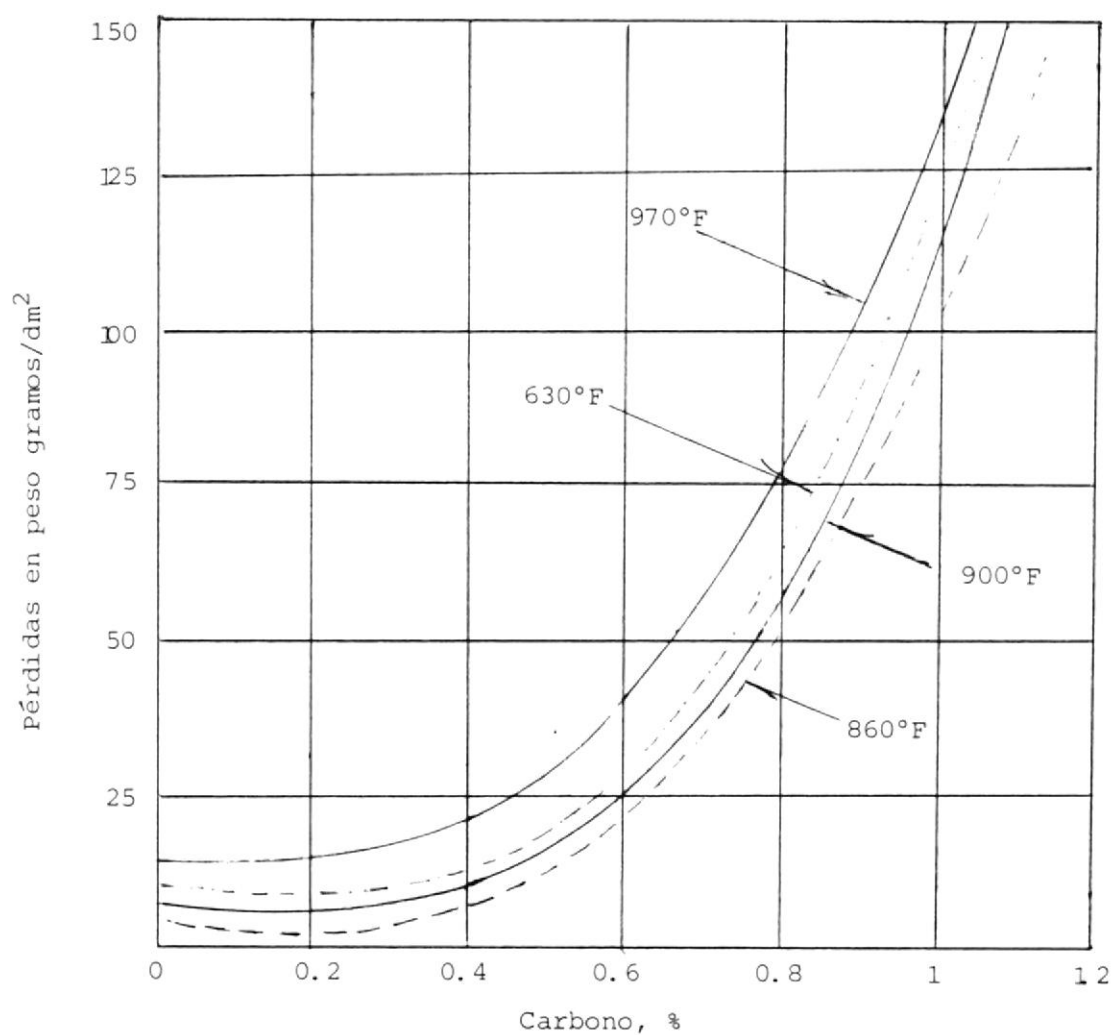


Fig. N° 18.- Ataque solvente del cinc sobre el acero a a cuatro temperaturas de galvanizado, como una función del contenido de carbono del acero.

(Tomado de Metals Handbbok Egiht Edit. Pag. 502)

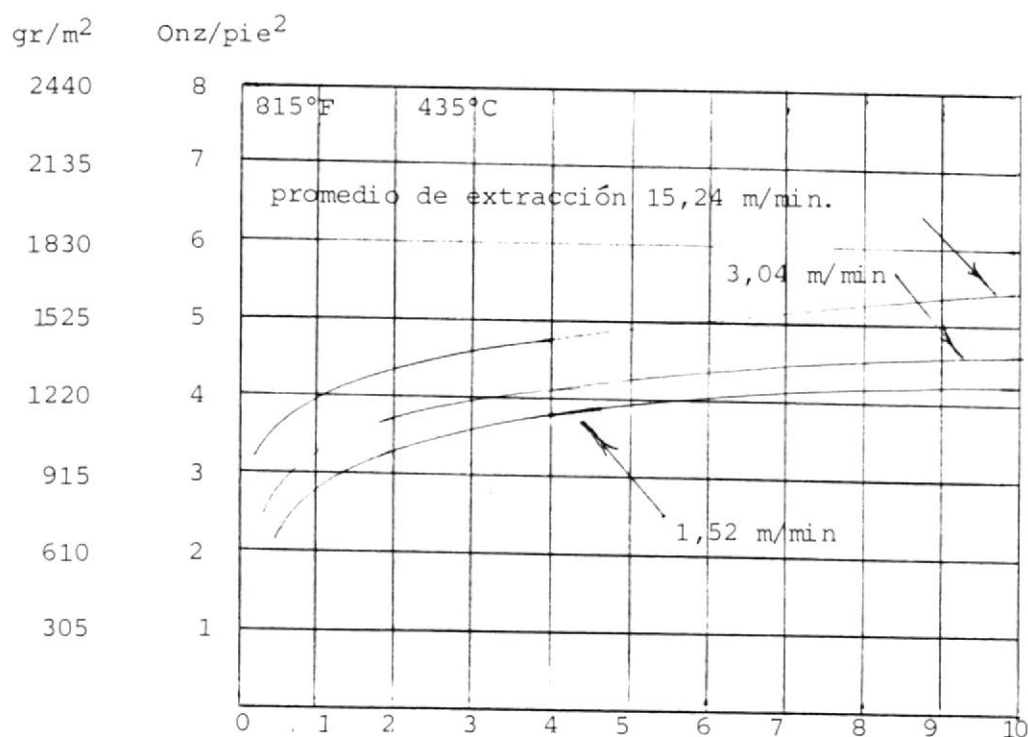


Fig. N^o 19. - Efecto de la temperatura del baño, tiempo de inmersión y velocidad de extracción promedio Vs. peso del recubrimiento galvánico obtenido sobre calibre 24 (0.0239 in) en piezas de acero.

(Tomado de Metals Handbook, Eighth Ed.)

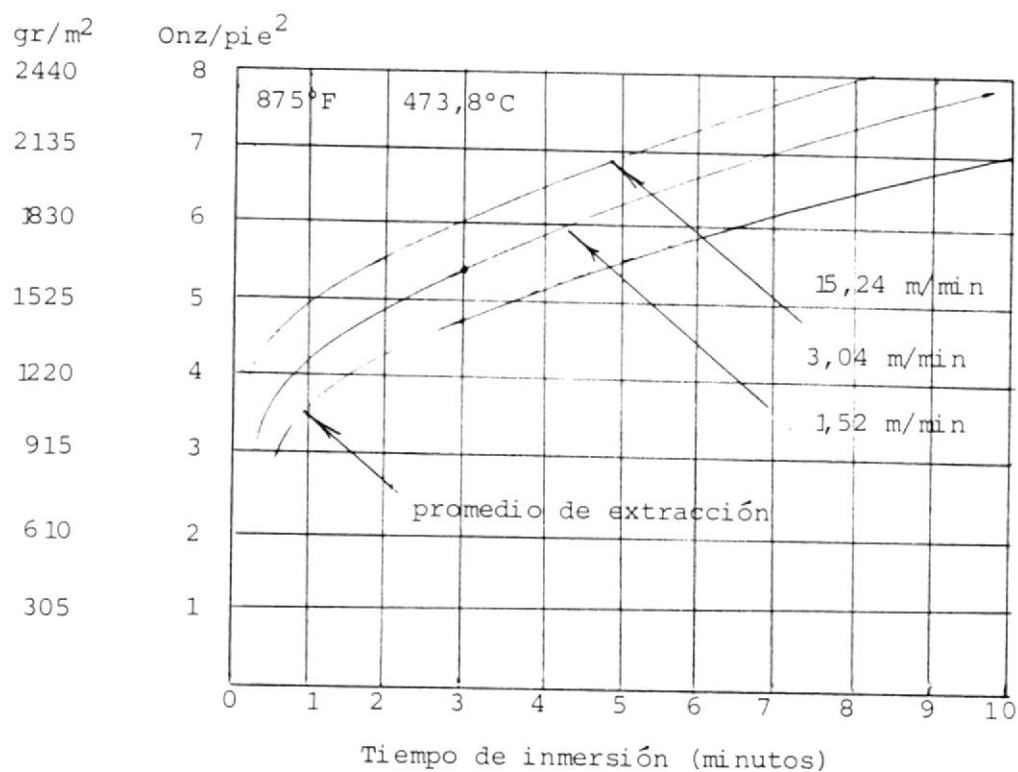


Fig. N° 20. - Efecto de la temperatura del baño, tiempo de inmersión y velocidad de extracción (promedio) Vs. peso del recubrimiento galvánico, obtenido sobre calibre 24 (0.0239 in) en piezas de acero.

(Tomado de Metals Handbook, Eighth Ed.)

relativos a temperatura y tiempo de aplicación son determinados por ensayos.

Otros tratamientos posteriores superficiales pueden ser aplicados sobre la superficie de cinc, como por ejemplo el cromatizado, fosfatado o pintado.

TRATAMIENTOS	ABREVIATURA
Cromatizado	c
Fosfatado	ph
Engrasado o aceitado	e/a
Barniz o pintura	b/p
Plastificación sintética	ps

Tratamientos Posteriores

1.4 VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO

La calidad del recubrimiento de cinc sobre el hierro, mantiene relación directa con diferentes variables del proceso, por tanto, debe existir un cuidado especial sobre su control, puesto que el efecto producido puede ser originado ya sea en forma individual o por una ac-

ción combinada de ellas. Entre las principales variables podemos citar las siguientes: calidad del zinc, agregados metálicos, temperatura del baño, tiempo de inmersión y velocidad de extracción de las piezas.

1.4.1 Calidad del Zinc

Está comprobado que el grado de pureza del cinc utilizado en el galvanizado por inmersión en caliente depende la propiedad de flexibilidad de la capa protectora, actualmente es muy empleado el cinc ASTM B6. Es importante conocer que el cinc de alta pureza no asegura una real ventaja sobre el acabado de las piezas, por cuanto bajo estas condiciones se torna muy reactivo, atacando a las paredes del crisol (si es de acero) hasta conseguirse niveles de h.erro en el baño, equivalentes a los determinados por el cinc Prime Western (1,68 % de plomo y hierro).

1.4.2 AGREGADOS METALICOS

De manera normal existen en el baño determinados elementos bajo la forma de contaminantes,entre

los principales podemos citar al hierro y cadmio. Como elementos de aleación útiles o agregados para propósitos determinados tenemos los siguientes metales: plomo, a fin de obtener acabados muy brillantes. Aluminio, es posible conseguir un grado de fluidez que permita un buen rodaje del cinc fundido mediante la adición de aluminio en la proporción de 0.02%. Para valores entre 0.2 y 0.3% o más de aluminio presentará características de una aleación ternaria (Al, Zn, Fe) sobre la superficie del baño, cuyas propiedades como es de suponer difieren de la aleación binaria (Zn, Fe). Cantidades del orden del 1% de estaño son añadidas de manera normal al baño con la finalidad de obtener una superficie blanca brillante; siempre que se efectúen agregados de estaño se tendrá que decidir sobre un buen acabado o una protección galvánica disminuida, puesto que afecta de manera sensible la resistencia a la corrosión.

1.4.3 Temperatura del baño

El método de protección por inmersión en calien-

te, se caracteriza porque sólo es aplicable a los metales que poseen un punto de fusión relativamente bajo. El del cinc es de 419°C .

El orden de operaciones para trabajos de galvanización, comprende valores de temperatura expresados bajo dos intervalos: de gama baja de 443 a 465°C , y de gama alta de 465 a 490°C ó más. Su aplicación guarda relación directa con las dimensiones de la pieza y su masa; cualquier aumento apreciable a partir de estos niveles, incidirá sobre efectos por lo general negativos, como por ejemplo: aceleran la formación de óxidos, producen pérdidas de cinc o determinan un grosor excesivo de la capa protectora. Un efecto positivo lo constituye el aumento de la fluidez del baño, elevando el drenaje al momento de retirar las piezas.

a) Formación de óxidos. Este aparece como una capa del-

gada sobre la superficie del baño. Contiene una matriz rica en cinc, manteniendo en suspensión cristales de hierro-cinc en el orden del 2 al 3%. Su presencia se debe principalmente a partículas de hierro, como remanentes de un decapado defectuoso o a la acción disolvente excesiva del cinc sobre el crisol (cuando es de acero) o de las mismas piezas a galvanizarse, que se constituyen en elementos contaminantes insalvables. Un efecto indeseable que puede ser observado se produce cuando son extraídas las piezas del baño, pues parcialmente serán cubiertas por esta espuma dando por tanto un drenaje incompleto, que se traducirá en una capa protectora opaca y de inferior calidad.

b) Pérdida de cinc.- Puesto que el baño se encuentra a una temperatura un poco superior al punto de fusión del cinc, necesariamente se operará una pérdida de éste del orden del 10%.

c) Aumento de grosor del recubrimiento.- El revestimiento protector, consta de una capa aleada (hierro-cinc) y otra de cinc casi puro. Un incremento de la temperatura incidirá sobre el espesor de la primera, por cuanto aumenta la acción aleante del cinc.

1.4.4 TIEMPO DE INMERSION

Como se ha indicado anteriormente, la capa aleante, aumenta a medida que lo hace el tiempo y la temperatura. Una buena operación de control sobre esta etapa del proceso, consiste en mantener un relativo equilibrio de esta variable, a fin de evitar en lo posible aleaciones excesivas de hierro-cinc.

Se debe establecer una clasificación de las piezas que recibirán el baño galvánico, atendiendo su extensión superficial y masa; puesto que para piezas en que el valor del área es muy pequeño respecto de la masa, requerirá un tiempo mayor de inmersión y temperaturas más bajas del orden de 425°C , a fin de lograr un calentamiento integral de la pieza, como también reducir en lo posible el exceso de aleación.

De manera general se puede establecer que el intervalo de tiempo usual de inmersión es de 1 a 5 minutos. Aunque resultados satisfactorios ha dado el ensayo efectuado para cada pieza en base a sus características propias. Debe tenerse presente que la reacción hierro-cinc es muy activa durante el primero y segundo minuto a partir de la inmersión.

1.4.5 VELOCIDAD DE EXTRACCION DE LAS PIEZAS

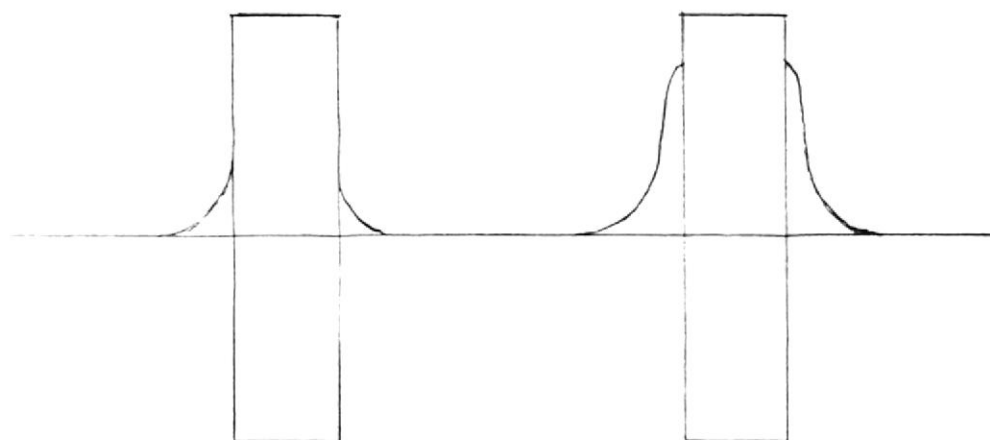
La operación relativa a la inmersión de las piezas debe ser lo más rápida posible, en forma independiente, pieza a pieza, o por grupos, con ayuda de ganchos, pinzas o canastillas. El presente trabajo, orienta su aplicación sobre métodos manuales o semiautomáticos. En los procesos continuos industriales de galvanización de planchas, alambres y otros elementos, cuya longitud es considerable su manejo es automático.

La introducción rápida puede ocasionar salpicaduras del cinc fundido, por tanto se deben tomar las precauciones debidas.

La experiencia indica que siempre se tratará de conseguir un drenaje máximo de la pieza tratada, una vez que se retira del baño. Esto se logra, aplicando una velocidad apropiada de extracción, generalmente del orden de 2.5 cm/seg. Agregados de 0.05 a 0.25% de Al determinarán un grado de mayor fluidez que facilitará la penetración del cinc, especialmente en las ranuras, actuando en estos casos como elementos soldantes; el grosor de la capa exterior (no aleada), como se observará, variará de acuerdo a la velocidad aplicada. Esto es: para velocidades superiores a 2.5 cm/seg. se obten-

drá un recubrimiento grueso y de mala calidad, puesto que el exceso de cinc adherido a la pieza se chorrea presentando por tanto una superficie irregular y un consumo elevado de cinc.

Por regla general debe tenerse presente que la extracción de los elementos no debe ser por ningún motivo superior a la velocidad de escurrimiento del cinc fundido. Por cuanto no es posible aplicar el orden de velocidad indicado a las piezas pequeñas, éstas deberán ser introducidas en una cesta. En estas condiciones podrán ser retiradas rápidamente. El exceso de cinc es eliminado por centrifugación. Una forma simple indicada por la práctica para eliminar todo el exceso de cinc, es por medio de sacudidas enérgicas.



1.5 EVALUACION DEL PROCESO

El comportamiento de los recubrimientos protectores galvánicos frente al fenómeno de la corrosión, exige determinadas condiciones y requerimientos para su eficiencia, los mismos que necesariamente tienen que ser cumplidos en las diferentes etapas del proceso.

De manera sucinta analizaremos los principales factores relativos al propósito. Como se mencionó anteriormente, la etapa de pre-inmersión (desengrasado-decapado), como el baño galvánico, merecen una realización de lo más esmerada.

Los métodos presentados para el desengrasado y decapado mantienen un orden de aceptación sobre variables que corresponden al origen y naturaleza de las impurezas, número de piezas a tratarse, volumen, longitud, etc. De igual manera, deberá tenerse en cuenta la influencia presentada por las características de los elementos descontaminantes, como por ejemplo ser inflamable, poseer limitado poder humectante, producir calentamientos localizados, originar rayaduras, ser tóxico, tiempo de aplicación, concentración, etc.

Los procedimientos aplicados para eliminar grasa y óxi-

dos de las superficies metálicas, como sabemos, están dirigidos de manera principal sobre tres formas fundamentales de impurezas conocidas: orgánicas, inorgánicas y metálicas. Un trabajo tendiente a identificar el origen y naturaleza de ellas permitirá aplicar el método específico de ataque más conveniente.

Métodos de desengrasado:

- Aplicación directa de la llama
- Sendzimir
- Alcalis
- Inmersión en Cubas
- Electrolíticos
- Jabones, detergentes sintéticos
- Disolventes
- Empleo de vapor

Métodos de decapado:

- Mecánicos
 - Cepillados
 - Utilización de abrasivos
 - Utilización de tambores
- Químicos
 - Acido Fluorhídrico
 - Acido Sulfúrico
 - Acido Clorhídrico

Un tratamiento de desengrasado, mediante un agente alcalino complementado con ácidos fluorhídrico y clorhídrico, responde de manera satisfactoria a nuestros requerimientos, a pesar de no ser humectantes los álcalis y ser de elevado costo el ácido clorhídrico. Un orden de razones sería el poder desengrasante junto a la facilidad de trabajar a temperaturas ambientes de los álcalis y el ácido clorhídrico respectivamente.

La segunda fase del proceso (baño galvánico) es determinante sobre los factores esenciales de un buen galvanizado. Como sabemos la función básica de protección brindada por un recubrimiento consiste en la estanqueidad del metal base, significando ésto un aislamiento total del medio circundante. Por tanto, se procurará conseguir superficies libres de poros, uniformes y, en lo posible, de un grosor adecuado.

Las estimaciones obtenidas en la práctica, resultantes de ensayos de corrosión bajo condiciones diversas, determinan lo que se ha dado en llamar "normas". Por tanto es necesario conocerlas a fin de dar un buen giro de aplicación al galvanizado.

Los valores correspondientes a peso por unidad de área referidos al hierro fundido y acero, según el INEM es-

tán dados en la Tabla N° 4.

Elementos	Peso por unidad de superficie g/m ²	
	Promedio	Individual
Acero sobre 5 mm. de espesor	500	400
Acero entre 1-5 mm. de espesor	Sometimiento de acuerdo entre las partes	
Acero inferior a 1 mm. de espesor.	350	300
Elementos de tornillería de diámetro mayor a 9 mm.	375	300
Fundición (hierro y acero)	500	450

Tabla N° 4.- Valores correspondientes a peso por
unidad de área g/m²

1.6 APLICACIONES

Los productos galvanizados por el método de inmersión en baño caliente, mantienen en la actualidad amplia aceptación en el campo industrial, por haberse comprobado su bondad sobre diferentes medios de aplicación. Así, por ejemplo, calificativos de eficaz o satisfactorios referidos a estos recubrimientos, van desde las múltiples aplicaciones en atmósferas exentas de gases sulfúricos o rurales a zonas industriales de alto contenido de gases corrosivos respectivamente.

La acción de protección del cinc sobre el hierro y el acero, básicamente depende de la diferencia presentada sobre los índices de corrosión de estos dos metales, puesto que como sabemos, el cinc se oxida pero de una manera muy lenta respecto al hierro.

Otro factor lo constituye la llamada acción de protección electrolítica o de sacrificio del cinc sobre el hierro, es decir, el alcance efectivo de prevención de la corrosión sobre áreas descubiertas ya sea por discontinuidades, filos o raspaduras de la capa protectora de cinc.

Entre las múltiples aplicaciones del galvanizado, lo

observamos en la fabricación de artículos de ferretería, alambres, planchas, herrajes para líneas de transmisión eléctrica, tornillos, recipientes, estructuras, etc.

El orden propuesto del presente trabajo, orienta la aplicación del recubrimiento galvánico protector sobre el hierro y acero, especialmente sobre determinados elementos de herrajería utilizados en líneas eléctricas y telefónicas.

CAPITULO II

TRABAJO EXPERIMENTAL

La tarea relacionada a la preparación superficial de las probetas de hierro fundido y acero para el galvanizado por inmersión en caliente, comprende una serie de operaciones tendientes a eliminar por un lado todo tipo de impurezas superficiales presentes o para prevenir posibles casos de reoxidaciones.

Por lo que antecede, el presente trabajo está orientado de manera principal sobre los siguientes objetivos: obtención de una superficie libre de grasas y aceites (desengrasado), de óxidos y herrumbre (decapado) y finalmente la consecución de permanencia del estado de limpieza de las probetas, en un intervalo de tiempo lo bastante razonable para que permita continuar con el proceso de galvanización, sin que vuelvan a reoxidarse.

El método de evaluación de limpieza superficial aplicado es cualitativo, es decir, de observación directa. El resultado del tratamiento observado sobre eliminación de grasas o

cascarilla de óxido siempre estará enmarcado en 2 niveles o grados de eficacia alcanzados por acción del agente de limpieza, ésto es, "aptos o no aptos" para continuar con el tratamiento subsiguiente de galvanización, una superficie calificada como apta, implica un estado de limpieza tal, que observado en el microscopio a 50 aumentos no presenta ninguna traza de grasa.

La eliminación de grasas y aceites de origen animal, vegetal y mineral se ha conseguido por aplicación de soluciones alcalinas, jabones, detergentes, disolventes tipo hidrocarburo, ya sea por aplicación directa o por inmersión.

Las arenas y cascarilla de óxido se eliminaron¹¹ mediante un tratamiento con ácidos, fluorhídrico, clorhídrico, y sulfúrico. Los diversos ensayos efectuados permitieron determinar el orden de valores aplicables referidos a temperatura, tiempo de inmersión y concentración de la disolución.

Los fundentes, cuyo orden en el tratamiento superficial corresponden a último término, son aplicados ya como solución de lavado o como una capa que cubre al cinc fundido, los elementos químicos que actúan como fundentes son el cloruro de cinc y cloruro de amonio.

2.1 ESTUDIO DEL METAL BASE

Se han utilizado probetas correspondientes a placas de acero ASTM A-36 y de hierro gris clase 30. La composición química del acero es la siguiente: 0.25 a 0.29% de C, 0.04 de P, y 0.05% de Si. Las figuras N° 21 y N° 22 corresponden a micrografías de estos materiales.

Puesto que el grado de compatibilidad entre el metal base y el recubrimiento galvánico está dado por el contenido de ciertos elementos químicos contenidos en el hierro y el acero. Resulta interesante conocer el orden de proporción en que éstos se encuentran presentes, puesto que a determinados niveles se consideran como normales, pero en proporciones mayores, son evidentes determinados fenómenos de incidencia negativa sobre las propiedades del recubrimiento.

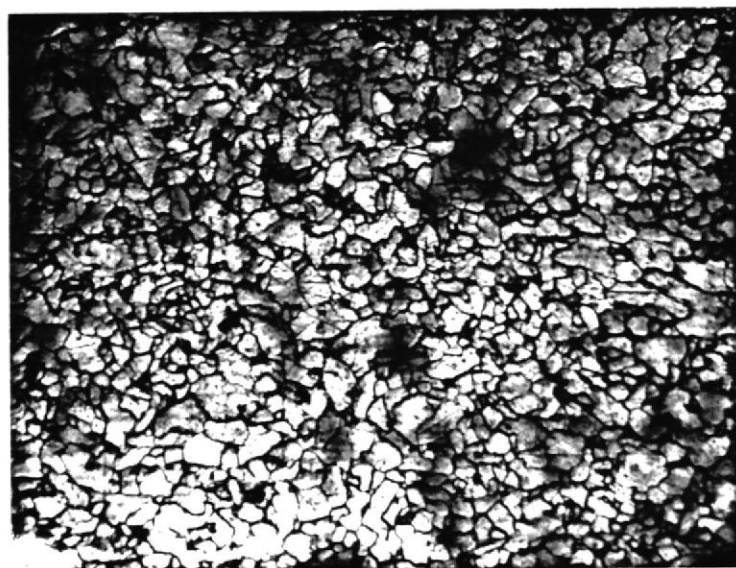
Para los aceros el porcentaje de carbono considerado como apropiado varía entre 0.15 y 0.30% para el Si 0.02%. Mientras que para el hierro fundido una composición considerada como normal contiene: 0.1% de P y 1.25% como máximo de silicio.



Nital 3%

200 x

Fig. N° 21.- Micrografía del hierro fundido



Nital 3%

200 x

Fig. N° 22.- Micrografía del acero empleado

Efectos como aumento en forma acelerada de la reacción hierro cinc o galvanizados opacos son producidos por un exceso de carbono y silicio respectivamente.

2.2 EQUIPO UTILIZADO

Como se ha indicado anteriormente, la aplicación del proceso de galvanización, por inmersión en caliente, se caracteriza por emplear un equipo relativamente simple, formado por un instrumental de preparación superficial, horno, crisol, termómetros, pinzas, canastillas, etc.

Por el contrario, en lo que respecta a la elaboración de la presente tesis, y dada su naturaleza, fue necesario emplear instrumentos tales como una máquina cortadora de discos abrasivos, microscopios dotados de cámara fotográfica, equipo de medición y control automático de la temperatura, entre otros, destinados a la construcción y preparación de probetas como el control de operación del baño galvánico, observación de impurezas, acabado superficial, etc.

De esta manera se posibilitará obtener el orden de incidencia que mantienen la operación de preparación su-

perificial al frente de un resultado final. Las Figs. N° 23, N° 24, N° 25, N° 26 y N° 27 muestran lo tratado.

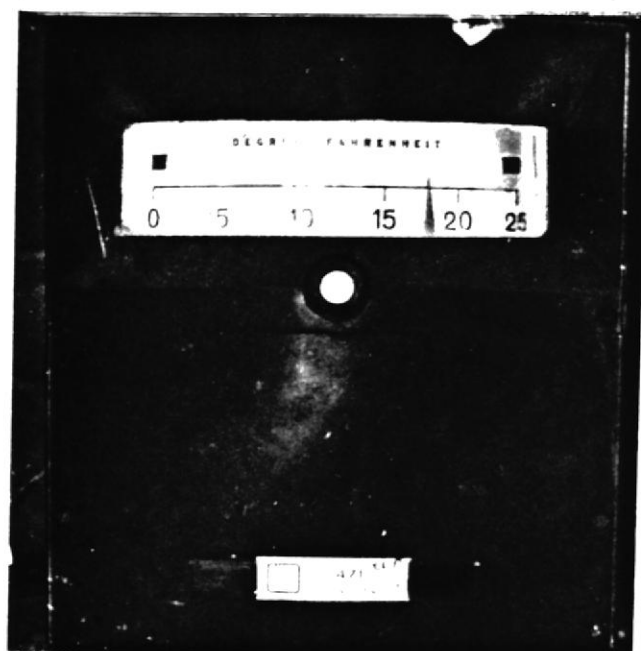


Fig. N° 23. - Control automático y medidor de temperatura

2.3 PREPARACION DE PROBETAS

Las probetas para ensayos generales propuestos se obtuvieron mediante la máquina cortadora de discos abrasivos, bajo la forma de placas rectangulares con las siguientes dimensiones: 45 x 30 x 3 mm, según se muestra en la Fig. N° 28.



Fig. N^o 24. - Horno Experimental Limberg, dotado
de mufla. Temperatura máxima 1.100°C



Fig. N° 25.- Máquina para pulir metales, de disco giratorio.

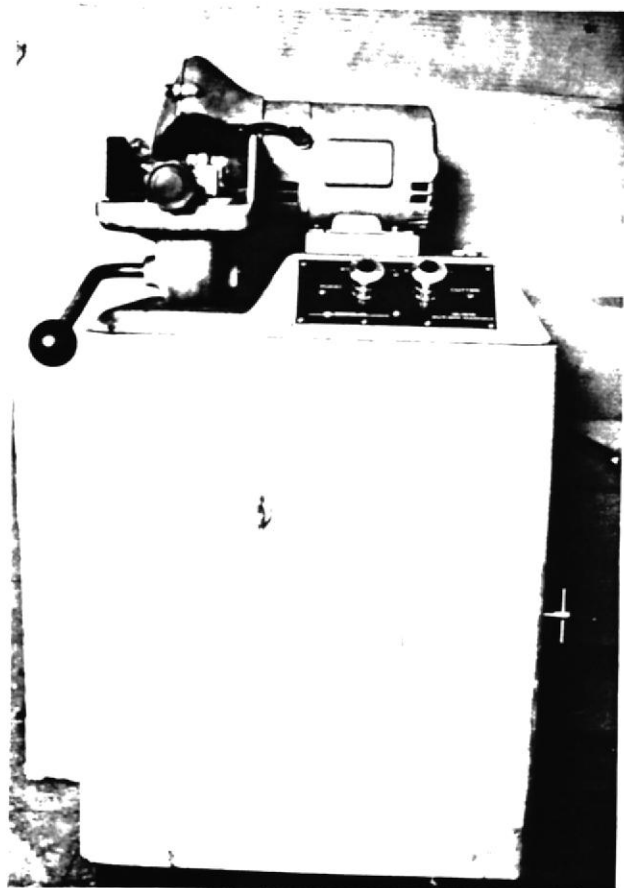


Fig. N°26 .- Máquina para cortar metales
de disco abrasivo de carburo
de silicio.

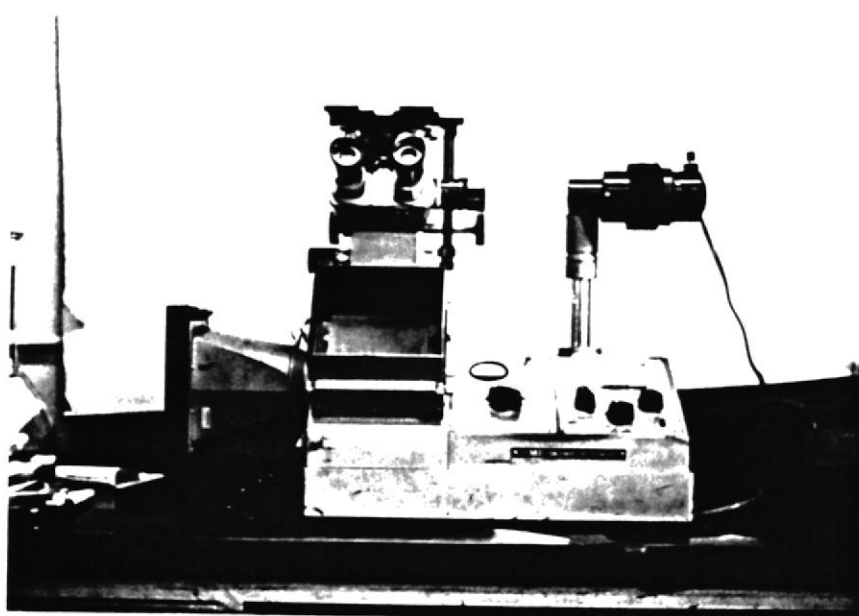


Fig. N° 27.- Microscopio metalográfico de reflexión
con cámara fotográfica incorporada.

Además con el fin de mantener un ordenamiento que nos permita establecer diferencias sobre los diversos resultados de los ensayos efectuados, éstas fueron pesadas y enumeradas, totalizando 64 con las cuales se formaron 16 grupos de 4 unidades cada uno, tanto para el hierro como para el acero. La Tabla N° 5 detalla el orden establecido.

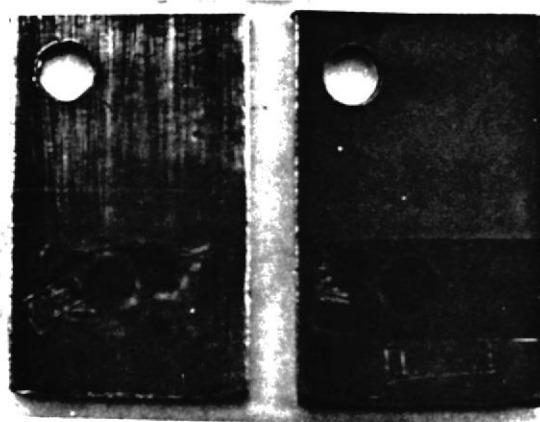


Fig. N° 28.- Probetas Tipo

2.3.1 Desengrasado

Los agentes desengrasantes empleados en los ensayos, determinaron diversos niveles de efectividad frente a las características de las impurezas que se presentaron. Gasolina, kerosene, detergentes o el tetracloruro de carbono demostraron ser efi-

Acero			Hierro		
Grupos	Probeta Nº	Peso Gramos	Grupos	Probeta Nº	Peso Gramos
G 1	1	31.800	G 9	1	32.564
	2	31.740		2	31.378
	3	31.841		3	32.800
	4	31.500		4	31.431
G 2	1	32.100	G 10	1	31.765
	2	31.350		2	32.800
	3	31.675		3	32.454
	4	31.487		4	31.723
G 3	1	31.670	G 11	1	31.734
	2	31.376		2	31.456
	3	31.823		3	32.670
	4	31.067		4	32.876
G 4	1	31.534	G 12	1	32.900
	2	31.556		2	31.765
	3	31.650		3	32.654
	4	31.600		4	31.721
G 5	1	31.213	G 13	1	32.500
	2	31.744		2	32.765
	3	31.432		3	32.785
	4	31.130		4	32.430
G 6	1	31.400	G 14	1	31.722
	2	31.766		2	31.790
	3	31.843		3	32.510
	4	31.767		4	32.600
G 7	1	31.456	G 15	1	31.300
	2	31.137		2	32.700
	3	31.561		3	32.656
	4	31.500		4	32.161
G 8	1	31.258	G 16	1	32.790
	2	31.730		2	32.430
	3	31.845		3	31.276
	4	32.400		4	32.500

Tabla Nº 5. - Ordenamiento de Grupo de Probetas

caces frente a las grasas de origen mineral mientras que los agentes alcalinos como los jabones, sosa cáustica y el carbonato de sodio disolvieron las grasas de origen animal y vegetal.

Para un trabajo integral de desengrasado se requirió del concurso de más de un agente de limpieza, pues la acción disolvente del primero se complementó con otro que eliminó todo vestigio de grasa remanente.

Además, el agitado de la solución y la utilización adecuada de los parámetros determinantes de la concentración, tiempo, temperatura de aplicación, más un eficiente enjuagado, constituyeron complementos importantes en la operación relativa al desengrasado.

Ensayos realizados para desengrasado

a) Sosa Cáustica. Los grupos de probetas empleados son los siguientes: G1, G2, G3 y G9, G10 G11. Los tres primeros se impregnaron de grasa y aceite de origen vegetal-animal, mientras que los tres últimos de aceite mineral, del

tipo usado como lubricante.

Los recipientes (cubas) empleados fueron de hierro fundido y material plástico, en todo caso se trató de evitar el uso de aluminio, puesto que la sosa y este metal reaccionan fuertemente, además se mantuvo presente la necesidad de efectuar el trabajo en un lugar ventilado.

El orden establecido para la realización de los ensayos de desengrasado orgánico (animal-vegetal) es mostrado en las Tablas N° 6, N° 7 y N° 8. Para concentraciones de 10, 15 y 20% con regímenes de temperatura ambiente, 50°C, 80°C a intervalos de 30, 60, 90 y 120 min.

Mientras que los ensayos relativos a contaminantes minerales, se efectuaron con los mismos parámetros empleados en el ensayo anterior, a fin de poder establecer un paralelismo comparativo entre los resultados obtenidos. Ver Tablas N° 9, N° 10 y N° 11.

El mayor grado de efectividad alcanzado por la sosa, incidió sobre las grasas y aceites de ori -

gen animal-vegetal, las mismas que en parte se saponificaron y como tales pasaron a ser compuestos solubles, eliminándose luego por sucesivos enjuagados con agua fría y caliente, debiéndose realizar esta operación con un fuerte estregado, puesto que la sosa cáustica se caracteriza por presentar dificultades al enjuagado.

De la observación de las Tablas N^o 6, N^o 7 y N^o 8 se deduce que para valores entre 15 y 20% a temperaturas que fluctúan entre 50 y 80°C durante 2 horas, los resultados obtenidos son óptimos.

En cambio de los ensayos realizados utilizando contaminantes de origen mineral, se caracterizaron por no mostrar ningún grado de eficacia, lo que nos demuestra que el uso de la sosa cáustica se circunscribe solamente a grasas saponificables (vegetal-animal).

Estableciendo un orden de ventajas que justifiquen el uso de este agente, citaremos en primer lugar, su precio relativamente bajo y la fácil preparación.

Grupo	Probeta Número	Concentración %	Temperatura °C	Inmersión min	Resultado
G 1	1	10	Ambiente	30	na
	2	10	"	60	na
	3	10	"	90	na
	4	10	"	120	na

Tabla N° 6

Grupo	Probeta Número	Concentración %	Temperatura °C	Inmersión min	Resultado
G 2	1	15	50	30	na
	2	15	50	60	a
	3	15	50	90	a
	4	15	50	120	a

Tabla N° 7

Grupo	Probeta Número	Concentración %	Temperatura °C	Inmersión min	Resultado
G 3	1	20	80	30	a
	2	20	80	60	a
	3	20	80	90	a
	4	20	80	120	a

Tabla N° 8

Esquema de los resultados obtenidos por el agente desengrasante SOSA CAUSTICA (Na OH) frente a grasas y aceites de origen animal y vegetal.

Resultados: na = no apto

a = apto

Grupo	Probeta Número	Concentración %			Temperatura °C	Inmersión min	Resultado
G 9	1	10			Ambiente	30	na
	2	10			"	60	na
	3	10			"	90	na
	4	10			"	120	na

Tabla N° 9

Grupo	Probeta Número	Concentración %			Temperatura °C	Inmersión min.	Resultado
G 10	1		15		50	30	na
	2		15		50	60	na
	3		15		50	90	na
	4		15		50	120	na

Tabla N° 10

Grupo	Probeta Número	Concentración %			Temperatura °C	Inmersión min.	Resultado
G 11	1			20	80	30	na
	2			20	80	60	na
	3			20	80	90	na
	4			20	80	120	na

Tabla N° 11

Esquema de los resultados obtenidos por aplicación del agente desengrasante SOSA CAUSTICA (Na OH) frente a grasas y aceites de origen mineral.

Resultados: na = no apto
 a = apto

- b) Carbonato de Sodio. Grupo de probetas, contaminantes y materiales empleados en la experimentación.
- 1) G4, G5 G6 Grasas y aceites de origen animal-vegetal.
 - 2) G12, G13, G14 Grasas y aceites de origen mineral.
- 1 Kg. de carbonato de sodio (calidad comercial),
3 recipientes metálicos y 3 de material plástico de 2 litros c/u.

De acuerdo a las características ya conocidas de este agente desengrasante, se lo puede identificar como de menor poder saponificante, lo que incide sobre el "ablandamiento" de las aguas, facilitando de esta manera la eliminación de las impurezas por enjuagado.

Definitivamente el carbonato de sodio ejerce una buena acción desengrasante a temperatura ambiente y concentraciones de 20 a 25% durante 2 horas de aplicación sobre las grasas y aceites de origen vegetal y animal. Tal como se puede observar en las Tablas N° 12, N° 13 y N° 14.

Todo lo que refiere a la experimentación efectuada con grasas minerales, los resultados fueron de caracter negativo a temperatura ambiente, o mediante la aplicación de temperatura. Las tablas N^o 15, N^o 16 y N^o 17 nos muestran los resultados obtenidos. Por considerarlo importante se debe mencionar que todas las probetas destinadas a esta experimentación debieron tomar un tratamiento preliminar de desengrase, es decir, que para condiciones de contaminación extrema, se necesita de un sometimiento previo de las probetas con otro desengrasante del tipo disolvente (gasolina).

- c) Jabones.- Se constituyen en los agentes desengrasantes más conocidos, su naturaleza alcalina lo presenta como un buen saponificante de las grasas.

Los mejores resultados se han obtenido frente a las grasas de origen vegetal y animal, observándose un notorio aumento de su efectividad cuando la aplicación es realizada mediante cepillado y restregado. Una segunda forma de trabajo consiste en sumergir las piezas en

Grupo	Probeta Número	Inmersión min.	Temperatura °C	Concentración %				
				5	10	15	20	25
G 4	1	30	Ambiente	na	na	na	na	na
	2	30	40	na	na	na	na	na
	3	30	55	na	na	na	na	na
	4	30	80	na	na	na	na	na

Tabla N° 12

Grupo	Probeta Número	Inmersión min.	Temperatura °C	Concentración %				
				5	10	15	20	25
G 5	1	60	Ambiente	na	na	na	na	na
	2	60	40	na	na	na	na	na
	3	60	55	na	na	na	na	na
	4	60	80	na	na	na	na	na

Tabla N° 13

Grupo	Probeta Número	Inmersión min.	Temperatura °C	Concentración %				
				5	10	15	20	25
G 6	1	120	Ambiente	na	na	a	a	a
	2	120	40	na	na	a	a	a
	3	120	55	na	a	a	a	a
	4	120	80	a	a	a	a	a

TABLA N° 14

Esquema de los resultados obtenidos por el agente desengrasante CARBONATO DE SODIO frente a grasas y aceites de origen animal y vegetal.

Resultados: na = no apta

a = apta

Grupo	Probeta Número	Inmersión min.	Temperatura °C	Concentración %				
				5	10	15	20	25
G 12	1	30	Ambiente	na	na	na	na	na
	2	30	40	na	na	na	na	na
	3	30	55	na	na	na	na	na
	4	30	80	na	na	na	na	na

TABLA N° 15

Grupo	Probeta Número	Inmersión min.	Temperatura °C	Concentración %				
				5	10	15	20	25
G 13	1	60	Ambiente	na	na	na	na	na
	2	60	40	na	na	na	na	na
	3	60	55	na	na	na	na	na
	4	60	80	na	na	na	na	na

TABLA N° 16

Grupo	Probeta Número	Inmersión min.	Temperatura °C	Concentración %				
				5	10	15	20	25
G 14	1	120	Ambiente	na	na	na	na	na
	2	120	40	na	na	na	na	na
	3	120	55	na	na	na	na	na
	4	120	80	na	na	na	na	na

TABLA N° 17

Resultados obtenidos del ensayo correspondiente a desengrasado utilizando el agente CARBONATO DE SODIO frente a grasas y aceites de origen mineral.

Resultados: na = no apto
a = apto

una solución de jabón a temperatura próxima a los 100°C , complementándose esta acción mediante enjuagados sucesivos, los resultados obtenidos determinaron superficies muy limpias.

Lo relacionado a ensayos efectuados utilizando jabones de tipo ordinario sobre grasas minerales, presentan resultados de orden muy inferior a los observados con las grasas vegetales; no ocurriendo así con determinados jabones de fabricación reciente, cuyo poder desengrasante es muy amplio, pues produce un ataque eficiente sobre cualquier tipo de grasa. El nombre de los jabones que se han utilizado son los siguientes: Fab, estrella, macho, cantinflas, etc.

- d) Detergentes. - Son productos de reciente creación ampliamente utilizados en la solución de problemas relativos a desengrasado. Su acción eficaz se fundamenta esencialmente sobre las propiedades tensoactivas que poseen, esto es: actúa disminuyendo la tensión superficial. Los detergentes empleados bajo las denominaciones comerciales de fab, ace, deja, etc. nos

ha permitido tratar grupos diferentes de probetas, conteniendo grasas y aceites de diversa naturaleza.

La preparación de soluciones bajo concentraciones del orden de 3 a 5 gr./litro a temperatura ambiente y durante 30 min. determina ataques muy fuertes, de acuerdo a lo observado es posible obviar tiempo en la aplicación, si se prepara la solución con agua caliente, a temperatura de ebullición.

Puesto que el desengrasado es una tarea que por lo general se realiza por 2 o más agentes como elementos componentes de una solución o en forma independiente, creemos conveniente indicar por nuestra parte, que para casos de contenidos de grasa muy abundantes, un ataque inicial con gasolina o kerosene puede complementarse con un detergente.

- d) Gasolina y Kerosene. - Materiales requeridos para el ensayo: 12 litros de gasolina especial, 3 recipientes metálicos, un cepillo, un lienzo.

Por tratarse de agentes desengrasantes inflamables, se mantuvo la precaución de trabajar en un lugar ventilado y aislado del fuego.

Manteniéndose un orden en el tratamiento, que consiste en efectuar lavados sucesivos sobre 3 recipientes diferentes, se realizaron los ensayos utilizando tanto contaminantes de origen animal-vegetal y mineral. La acción del agente disolvente en el primer recipiente con ayuda del cepillado determina una eliminación de todo el contenido pesado de las grasas, especialmente, los enjuagados subsiguientes permiten mejorar de manera gradual la limpieza.

Los resultados observados en todos los ensayos determinaron superficies que bien se las puede calificar como de parcialmente limpias, es decir que todas las probetas resultaron con una fina película de grasa residual, acentuándose mayormente al emplearse el kerosene.

Un tratamiento complementario que consiste en la aplicación de un detergente permite eliminar toda la grasa remanente obteniéndose

finalmente superficies muy limpias.

La utilización de agentes desengrasantes del tipo disolvente, como la gasolina y el kerosene permite efectuar un tratamiento muy rápido y seguro, razón por la cual son ampliamente utilizados.

- e) Tetracloruro de Carbono.- Con la finalidad de establecer comparaciones sobre los diversos niveles de eficacia alcanzados por los agentes desengrasantes, se realizó el ensayo correspondiente al tetracloruro de carbono, puesto que, por tratarse de un desengrasante realmente costoso se torna materialmente prohibido su empleo en los trabajos relativos a galvanización.

La excelente condición de agente disolvente de grasas del tetracloruro de carbono quedó demostrada al tratarse probetas que contenían aceite mineral y vegetal, se requirió un lapso de tiempo relativamente corto de aplicación para dejarlas totalmente limpias.

Agente	Grado de Limpieza	Técnica Desgrasante	Costo	Método Aplicación	Equipo	Tiempo Horas	Acción Complementaria	Temperatura °C	Observación
Sosa Caústica	e	Saponificante	Bajo	Inmersión	Cubas Calentador	1-2	Lavado Enjuague	50-80	No Inflamable
Carbonato Sódico	b	Emulsionante	Bajo	"	Cubas	1-2	"	amb.	No Inflamable
Gasolina	b	Disolvente	Medio	"	"	pocos minutos	Detergentes	amb.	Inflamable
Kerosene	b	"	"	"	"	"	"	amb.	Inflamable
Detergente (FAB)	e	Tensoactivo	"	"	"	"	Lavado Enjuague	amb.	No Inflamable
Tetracloruro de Carbono	e	Disolvente	Alto	"	"	"	Ninguno	amb.	Volátil
Jabones	b	Saponificante	Medio	Frotamiento	"	"	Enjuague	amb.	No Inflamable
Llama	b	Combustión	Medio	Pirogenización.	Soplete	"	Cepillado	-	Calentamientos localizados

Resumen general de propiedades y características de los desengrasantes empleados

2.3.2 DECAPADO

Manteniendo un ordenamiento de las probetas similar al mostrado en la Tabla N° 5 continuamos con los ensayos correspondientes al decapado del hierro y acero, es decir eliminación de la herrumbre y cascarilla de óxido. Como aplicación del método mecánico se ha utilizado cepillos manuales y eléctricos, pero debido a la gran efectividad y rapidez con que se elimina la cascarilla de óxido se ha preferido tomar como método principal de trabajo la vía química, para ello hemos empleado los siguientes ácidos: fluorhídrico, clorhídrico, sulfúrico y nítrico.

El orden de ataque observado de estos agentes de limpieza ha sido muy diverso, en todo caso se caracteriza por mantener relación directa con los parámetros correspondientes a concentración, temperatura y tiempo de aplicación.

a) Acido Fluorhídrico.

Materiales empleados: 1/2 litro de ácido fluorhídrico, 2 litros de agua destilada, 4 recipientes de porcelana de 1/2 litro c/u y pipeta.

La propiedad de disolver los silicatos y arena de Si por el ácido fluorhídrico es aprovechada para eliminar posibles vestigios de arena presentes en las fundiciones, entonces, como se comprenderá, solamente el hierro fundido requerirá de un tratamiento de esta naturaleza en la fase inicial del proceso de decapado.

Para efectos de comprobar la real eficacia del agente se han tomado pequeñas porciones de arena y probetas de hierro fundido que poseen "superficies de fundición" (costra negra dejada por el molde) cuya composición entre otros elementos la conforman el carbono, arena, óxidos, etc.

El sometimiento a la acción del ácido fluorhídrico diluido bajo concentraciones de 5, 10 y 15% durante períodos de 15, 30 y 60 min. a temperatura ambiente, nos permite observar diversos resultados. Para valores que corresponden a 5% de concentración a temperatura ambiente y por espacio de 30 min. la disolución de la arena es total, mientras que las probetas de hierro fundido, que contienen "superficies de fundición", el resultado ha sido negativo, es decir, que dada la natu-

raleza compleja de su composición el tratamiento no resultó eficaz debido principalmente a que el carbón no es disuelto por el ácido fluorhídrico.

b) Acido Clorhídrico:

Materiales requeridos para el ensayo: 1 litro de ácido clorhídrico (calidad comercial), 3 litros de agua destilada, 8 recipientes de porcelana de 1/2 litro c/u y 1 pipeta. Cabe indicarse que el trabajo debe ser realizado en una mesa que posea cámara extractora de gases.

Grupo de probetas utilizados:

G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7, G8 (de acero)
G9, G10, G11, G12, G13, G14, G15, G16 (de hierro).

DECAPADO DEL ACERO. Se somete a la acción del ácido clorhídrico diluido bajo ordenes de concentración de 2, 4, 6, 8 10, 15, 20 y 25% a todos los grupos de probetas de acero, es decir, que cada recipiente contendrá 4 probetas. El ensayo estará dividido en 3 partes,

mismas que corresponden a las temperaturas escogidas para la prueba, ésto es: ambiente, 40°C y 50°C. El criterio que ha prevalecido para trabajar con disoluciones prácticamente frías, se debe a que este agente es muy eficaz y menos peligroso.

Primera parte. Temperatura ambiente, a intervalos de tiempo de 15, 30, 60 y 120 min. se realizan extracciones y observaciones probeta a probeta.

Segunda y tercera parte. Temperatura 40°C y 50°C, se realizan nuevamente extracciones y observaciones a los mismos intervalos de tiempo indicados anteriormente. El ordenamiento y resultados obtenidos se presentan en las Tablas N° 19 y N° 20.

De acuerdo a la información obtenida, bien podemos indicar que para efectuar el decapado del acero, utilizando el ácido clorhídrico, se deberá aplicar disoluciones de 6 a 10% a temperatura ambiente durante 1 ó 2 horas.

DECAPADO DEL ACERO

Temperatura °C	Probeta	Inmersión (min.)	Concentración %							
			2	4	6	8	10	15	20	25
Ambiente	Acero	15	na	na	na	na	na	na	na	a
		30	na	na	na	na	na	a	a	a
		60	na	na	a	a	a	a	a	a
		120	na	a	a	a	a	a	a	a

TABLA N° 18

Temperatura °C	Probeta	Inmersión (min.)	Concentración %							
			2	4	6	8	10	15	20	25
40	Acero	15	na	na	na	na	na	na	a	a
		30	na	na	na	na	na	a	a	a
		60	na	na	a	a	a	a	a	a
		120	na	a	a	a	a	a	a	a

TABLA N° 19

Temperatura °C	Probeta	Inmersión (min.)	Concentración %							
			2	4	6	8	10	15	20	25
50	Acero	15	na	na	na	na	na	a	a	a
		30	na	na	na	na	a	a	a	a
		60	na	na	a	a	a	a	a	a
		120	na	a	a	a	a	a	a	a

TABLA N° 20

Resultados obtenidos por acción del ácido clorhídrico (HCL) bajo diversos niveles de concentración, tiempo y temperatura.

Resultados: na = no apta

a = apta

DECAPADO DEL HIERRO GRIS. Al respecto se han realizado distintas clases de probetas:

1) Prueba correspondiente a probetas que poseen superficies de fundición: el ácido clorhídrico diluido empleado posee las siguientes concentraciones: 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20 y 25%, temperaturas: ambiente, 40°C y 50°C. Tiempos de inmersión: 15, 30, 60 y 120 min. El ataque observado es muy fuerte, pero la eliminación del agente contaminante no se realizó en su totalidad, la razón para que haya ocurrido esto, se debe a que el ácido clorhídrico no disuelve al carbono contenido en la superficie de fundición.

2) Lo que corresponde a la prueba realizada con hierro fundido ya granallado se efectuó con valores idénticos de concentración, temperatura y tiempo que el ensayo anterior, un ordenamiento detallado de datos y resultados se observan en las Tablas N° 21, N° 22 y N° 23.

Un resumen general de la acción del ácido clorhídrico sobre el hierro fundido, puede

sintetizarse de la siguiente manera: Es posible obtener superficies limpias, mediante su aplicación, bajo concentraciones que van desde el 6 al 10% a temperatura ambiente, durante 1 ó 2 horas. Al tratarse piezas con superficies de fundición, lo más indicado será eliminar primero este tipo de contaminante por vía mecánica.

c) ACIDO SULFURICO:

Materiales requeridos para el ensayo: 1 litro de ácido sulfúrico (calidad comercial), 3 litros de agua destilada, 8 recipientes de porcelana de 1/2 litro c/u y una pipeta. El trabajo debe efectuarse necesariamente en una mesa dotada de un equipo extractor de gases.

DECAPADO DEL ACERO Y DEL HIERRO GRIS. Puesto que el ácido sulfúrico es muy activo, las condiciones de cuidado que deberán aplicarse, serán iguales a las observadas para el ácido clorhídrico. Por considerarlo necesario se han preparado nuevas probetas: 32 de acero y 32 de hierro.

DECAPADO DEL HIERRO FUNDIDO

Temperatura °C	Probeta	Inmersión (min.)	Concentración %							
			2	4	6	8	10	15	20	25
Ambiente	Hierro	15	na	na	na	na	na	na	a	a
		30	na	na	na	na	a	a	a	a
		60	na	na	a	a	a	a	a	a
		120	na	a	a	a	a	a	a	a

TABLA N° 21

Temperatura °C	Probeta	Inmersión (min.)	Concentración %							
			2	4	6	8	10	15	20	25
40	Hierro	15	na	na	na	na	na	na	a	a
		30	na	na	na	na	a	a	a	a
		60	na	na	a	a	a	a	a	a
		120	na	a	a	a	a	a	a	a

TABLA N° 22

Temperatura °C	Probeta	Inmersión (min.)	Concentración %							
			2	4	6	8	10	15	20	25
50	Hierro	15	na	na	na	na	a	a	a	a
		30	na	na	na	a	a	a	a	a
		60	na	na	a	a	a	a	a	a
		120	na	a	a	a	a	a	a	a

TABLA N° 23

Resultados obtenidos por acción del ácido clorhídrico (HCL) bajo diversos niveles de concentración, tiempo y temperatura. Aplicados al hierro fundido granallado.

Resultados: na = no apta
 a = apta

DECAPADO DEL HIERRO GRIS

Inmersión (min.)	Probeta	Temperatura °C	Concentración %							
			2	4	6	8	10	12	15	20
30	Acero	Ambiente	na	na	na	na	na	na	na	na
		40	na	na	na	na	na	na	na	na
		60	na	na	na	na	na	na	a	a
		80	na	na	na	na	a	a	a	a

TABLA N° 24

Inmersión (min.)	Probeta	Temperatura °C	Concentración %							
			2	4	6	8	10	12	15	20
60	Acero	Ambiente	na	na	na	na	na	na	na	na
		40	na	na	na	na	na	na	na	na
		60	na	na	na	na	na	a	a	a
		80	na	na	a	a	a	a	a	a

TABLA N° 25

Inmersión (min.)	Probeta	Temperatura °C	Concentración %							
			2	4	6	8	10	12	15	20
120	Acero	Ambiente	na	na	na	na	na	na	na	na
		40	na	na	na	na	na	na	na	na
		60	na	na	na	na	a	a	a	a
		80	na	na	a	a	a	a	a	a

TABLA N° 26

Resultados obtenidos por acción del ácido sulfúrico SO_4H_2 bajo diversos niveles de concentración, tiempo y temperatura

Resultados: na = no apta

a = apta

DECAPADO DEL HIERRO GRIS

Inmersión (min.)	Probeta	Temperatura °C	Concentración %							
			2	4	6	8	10	12	15	20
30	Hierro	Ambiente	na	na	na	na	na	na	na	na
		40	na	na	na	na	na	na	na	na
		60	na	na	a	a	a	a	a	a
		80	na	a	a	a	a	a	a	a

TABLA N° 27

Inmersión (min.)	Probeta	Temperatura °C	Concentración %							
			2	4	6	8	10	12	15	20
60	Hierro	Ambiente	na	na	na	na	na	na	na	a
		40	na	na	na	na	na	na	a	a
		60	na	na	a	a	a	a	a	a
		80	na	a	a	a	a	a	a	a

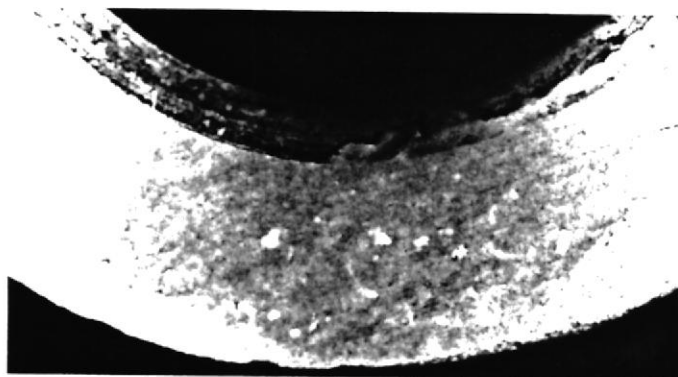
TABLA N° 28

Inmersión (min.)	Probeta	Temperatura °C	Concentración %							
			2	4	6	8	10	12	15	20
120	Hierro	Ambiente	na	na	na	na	na	na	a	a
		40	na	na	na	na	a	a	a	a
		60	na	na	a	a	a	a	a	a
		80	na	a	a	a	a	a	a	a

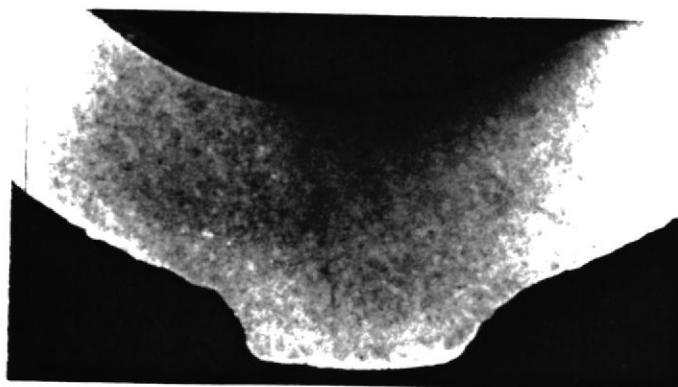
TABLA N° 29

Resultados obtenidos por acción del ácido sulfúrico SO_4H_2 bajo diversos niveles de concentración, tiempo y temperatura.

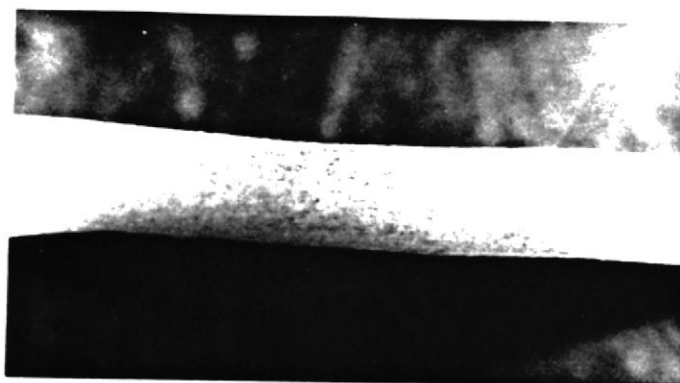
Resultados: na = no apta
a = apta



a) Tratada con ClH al 6% durante 90 min.



b) Tratada con ClH al 8%, durante 60 min.



c) Tratada con SO_4H_2 al 6% durante 60 min, 60°C

Fig. 29. - Superficies de hierro fundido aptas para recibir el galvanizado.

Parámetros de trabajo:

Disoluciones de ácido sulfúrico: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15 y 20%. Temperatura de aplicación: ambiente, 40°C, 60°C y 80°C. Tiempo de inmersión: 30, 60 y 120 min.

Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas N° 24, N° 25, N° 26 para el acero y N° 27, N° 28, N° 29 para el hierro.

2.3.3 APLICACION DE FUNDENTES

El requerimiento de agentes químicos con capacidad para eliminar vestigios de sales de hierro, trazas remanentes de ácido utilizado en el decapado o simplemente para evitar oxidaciones de carácter reciente, constituyen los principales factores que justifican la presencia de los fundentes en el proceso.

FORMAS DE APLICACION:

a) Solución de lavado: concluido el decapado, las probetas se mantienen completamente limpias por espacio de 2 a 3 min. a partir de este lapso de tiempo se inicia un proceso indefectible de reoxi-

dación, el mismo que se manifiesta por una progresiva coloración amarilla.

A fin de conseguir un nivel estable de limpieza superficial fue necesario aplicar inmediatamente un lavado con una solución acuosa de 40 a 50% de cloruro de cinc a 40 Be ligeramente caliente.

b) Capa de fundente: actúa sobre la superficie del baño, está constituida por un 54% de cloruro de amonio y 46% de cloruro de cinc. Paralelo al avance relativo de limpieza superficial de la probeta, se realiza el calentamiento del horno hasta alcanzar la temperatura elegida de trabajo (450°C), a continuación se vierte el fundente sobre la superficie del cinc fundido, una vez disipada la humareda que genera de manera momentánea el fundente, se inicia la galvanización.

Debe existir una coordinación entre la aplicación de la solución de lavado y la preparación del baño, a fin de aplicar el fundente el momento de realizar el trabajo de inmersión, por cuanto se observa que con mucha facilidad éste se volatiliza.

2.4 ENSAYO DE INMERSION

a) Con probetas de acero. La operación de inmersión se realizó con la ayuda de un gancho de alambre, cuya longitud de 80 cm. permitió con toda facilidad y seguridad efectuar esta delicada tarea.

De acuerdo al volumen y peso aproximado de las probetas, 4 cm³ y 31 gr. corresponden los siguientes parámetros de aplicación: tiempo de inmersión de 3 a 5 min., temperatura del baño 450°C y velocidad de extracción aproximada de 2.5 cm/seg.

Los resultados obtenidos fueron diversos: recubrimiento demasiado grueso, coloración superficial negra, bordes descubiertos, superficies no uniformes, etc. todo ello debido principalmente a extracciones demasiado rápidas, preparación superficial defectuosa y más que todo a la poca práctica en la realización de este tipo de trabajo. Al efectuarse ensayos sucesivos, los resultados mejoraron notablemente.

b) Con probetas de hierro fundido. Los ensayos realizados mostraron recubrimientos totalmente defectuosos, especialmente sobre probetas que contenían superficies

de fundición, las mismas que a pesar de haber recibido un tratamiento de cepillado no fue posible realizar un galvanizado uniforme. Las probetas previamente granalladas y luego tratadas con ácido aceptaron en mejor forma el galvanizado. La figura N° 30 muestra las probetas galvanizadas.

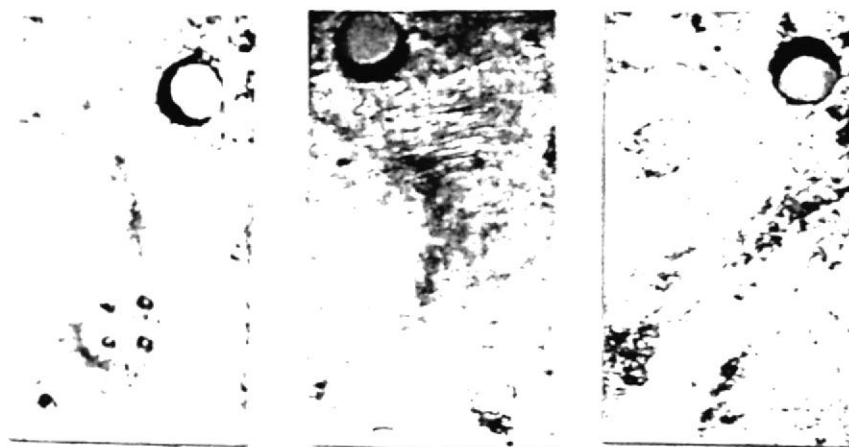


Fig. N° 30. - Probetas Galvanizadas

2.5 CONTROL METALOGRAFICO

Para la realización de este ensayo, se requirió cortar las probetas galvanizadas seccionalmente a fin de observar en el microscopio la estructura del recubrimiento. Las figuras N° 31, N° 32, N° 33 nos muestran el aspecto superficial y seccional del recubrimiento,

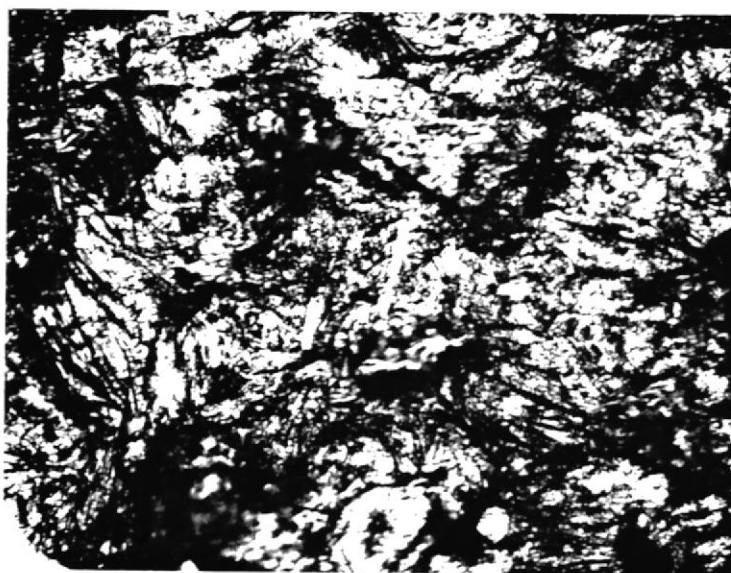
aplicado al hierro y acero.



Nital 3%

200 x

Fig. N° 31. - Micrografía de la superficie galvanizada en acero.



Nital 3%

200x

Fig. N° 32. - Micrografía de la superficie galvanizada en hierro.



Nital 3%

X ?

Fig. N^o 33.- Corte transversal de un
revestimiento galvánico.

CAPITULO III

DISCUSION DE RESULTADOS

Los resultados que se han obtenido a través de los ensayos realizados en la operación de preparación superficial o de inmersión, merecen ser discutidos a fin de presentarlos mediante una exposición de motivos concretos, que nos conduzcan al real fundamento de los mismos.

El orden de consecución de los resultados es el siguiente:

- a) Superficie metálica desengrasada.
- b) Superficie metálica libre de óxidos
- c) Superficie metálica libre de vestigios de ácidos y sales de hierro con alcance de protección contra posibles casos de reoxidaciones.

Durante el trabajo relativo a desengrasado, se ha podido observar que el grado de efectividad alcanzado mantiene relación directa con la identidad previa de las impurezas, acción de los agentes específicos y una aplicación idónea de los mismos; derivándose de todos estos factores diver-

Los parámetros y controles de cuyos detalles y características dependerá el tratamiento superficial en su primera etapa.

Lo que corresponde al grupo de las grasas y aceites de origen animal y vegetal resultaron ser disueltas de manera muy eficaz por los álcalis, citaremos en primer término a la sosa cáustica (NaOH) concentraciones del orden de 15 a 20% bajo temperaturas que fluctúan entre 50 y 80°C. durante 2 horas, determinan superficies totalmente exentas de grasas, el orden de eficacia se ve disminuido al decrecer la temperatura, para valores constantes de concentración, esta información corresponde a los resultados obtenidos en las Tablas N° 6, N° 7, y N° 8. La técnica desengrasante de la sosa es saponificante, caracterizándose por presentar dificultades para aislar el material contaminante por simple enjuagado, aplicaciones de manera sucesiva de agua caliente y fría con frotamientos enérgicos son aconsejados para eliminar la grasa disuelta.

Por el contrario, el carbonato de sodio, que es un emulsificante presenta características especiales que lo identifican como un agente desengrasante con buenos resultados a temperatura ambiente y de fácil eliminación de los productos contaminantes por simple enjuagado, otra caracte -

rística de valor para el proceso de galvanización lo constituye el acabado superficial humectante. Tanto la sosa cáustica como el carbonato de sodio resultaron muy convenientes cuando el tratamiento se efectuó mediante varios recipientes que mantuvieron la solución a diferentes niveles de concentración en sentido descendente, con la finalidad de eliminar por arrastre las impurezas, manteniendo además por más tiempo activa la solución.

Los agentes disolventes como la gasolina y el kerosene demostraron ser eficaces en la remoción de grasas y aceites de origen mineral especialmente, pero no se puede calificar como integral su acción de limpieza puesto que impurezas remanentes bajo la forma de una fina película oleosa fueron observadas en la superficie de las probetas. Por lo indicado es menester el concurso de otro agente de limpieza que complemente el trabajo iniciado por la gasolina o kerosene, siendo por lo general un detergente.

Los ensayos realizados empleando grasas y aceites de cualquier origen mediante los detergentes, demostraron que este tipo de agente de limpieza es el más eficaz, proporciones que corresponden de 3 a 5 gr/litro dan buenos resultados sobre probetas muy contaminadas de grasas. Para mejores resultados y sobre todo para ahorrar tiempo, es conveniente

trabajar con agua a temperatura de ebullición. Los detergentes además poseen características como la de ser buenos humectantes y su uso no implica ningún peligro.

Las operaciones debidas al decapado del acero se han realizado primero mecánicamente, mediante la utilización de cepillos o con gratas circulares accionadas eléctricamente. Los resultados observados aunque se pueden considerar aceptables al propósito, dejan rayadas las superficies, además el tratamiento no resultó eficaz para eliminar la cascari-lla de óxido situada en vértices o interiores.

El trabajo relativo a eliminación de la herrumbre y cascari-lla de óxido del acero por vía química, determinó como resultado superficies calificadas como aptas para el recubrimiento galvánico. Debido a la acción altamente corrosiva de los ácidos clorhídrico y sulfúrico fue necesario mantener especial cuidado en el manejo y aplicación de los mismos durante la práctica realizada. No someter a períodos prolongados de tiempo o utilización de soluciones demasiado concentradas evitó de alguna manera el deterioro superficial de las probetas.

Factores como grosor y extensión de la cascari-lla de óxido determinaron el volumen, concentración y tiempo de aplica-

ción del agente, para el caso del ácido sulfúrico debe agregarse una temperatura adecuada de trabajo, tal como se indica en las Tablas 24, 25, 26, 27, 28 y 29.

El decapado del hierro fundido, por lo general requiere de operaciones mecánicas, ya sea cepillado o granallado puesto que la "superficie de fundición como se ha indicado anteriormente es de naturaleza compleja, conteniendo por lo general arena, carbón y óxidos, un tratamiento directo con ácido clorhídrico o sulfúrico en su fase preliminar no es conveniente por cuanto no se logra disolver todos estos elementos, una secuencia ordenada de trabajo sería: granallado, ácido fluorhídrico y finalmente ácido clorhídrico o sulfúrico.

Una operación de granallado bien efectuada, determina ventajas en el tratamiento superficial del hierro fundido, puesto que elimina o disminuye el tratamiento posterior con ácidos. Pruebas de este tipo se realizaron, tomando como probetas accesorios de hierro fundido ya granallado, observándose resultados aceptables.

Hasta el momento ha preocupado presentar una superficie metálica libre de grasas y óxidos, es decir "enteramente metálica" o apta para recibir la protección galvánica, pero

ocurre que ese estado de limpieza alcanzado permanece un lapso de tiempo muy corto (2 a 3 min.) a partir del cual las probetas empiezan a tomar una coloración amarilla, lo que es indicativo de que el proceso de oxidación se ha iniciado.

Por lo observado notamos que existe la necesidad de incluir en el proceso una etapa cuya función sea la de impedir el deterioro superficial, precisamente esa es la realización principal de los fundentes.

El orden de aplicación de los fundentes debe ser rigurosamente efectuado después del decapado a fin de no dar la oportunidad de fijación de trazas de ácido o para prevenir reoxidaciones.

La forma de aplicación es mediante un "lavado" de las probetas decapadas con una solución acuosa tibia al 40% de cloruro de cinc (Cl_2Zn) de 30 a 40 Bé, es conveniente recordar que la aplicación debe efectuarse mediante un tratamiento enérgico.

Por razones como la de mantener una seguridad sobre un acabado óptimo de limpieza y permanencia de la misma hasta que se efectúe la inmersión o bien para aislar la superfi-

cie del metal fundido con la atmósfera, se agrega fundente cuya composición es la siguiente: 54% de cloruro de amonio y 46% de cloruro de cinc, debe mantenerse especial cuidado en aplicar estas proporciones por cuanto un aumento significativo del cloruro de amonio disminuye el punto de fusión del fundente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con relación a la etapa desengrasante se concluye que:

1) El uso de la sosa cáustica bajo concentraciones de 15 a 20% durante 2 horas y a 80°C presenta una acción muy eficaz en la eliminación de las grasas y aceites de origen orgánico; de acuerdo a los resultados obtenidos en las Tablas N° 6, N° 7 y N° 8, y que los detergentes presentaron excelentes resultados, en la limpieza inmediata de cualquier tipo de grasa.

2) En cuanto al proceso de decapado los resultados indican que: Los ácidos clorhídrico y sulfúrico, bajo niveles iguales de concentración y tiempo de aplicación pero a temperatura ambiente y 80°C respectivamente, determinan cantidades óptimas de decapado, según se muestra en las Tablas N° 18 hasta N° 29.

3) De acuerdo a los resultados encontrados en los ensayos de aplicación de fundentes se tiene que:

La operación de lavado tiene que efectuarse indefectible-

mente inmediatamente después del decapado, pudiendo estar la solución a temperatura ambiente o tibia.

Así mismo la capa de fundente debe agregarse al baño el momento de realizarse la operación de galvanizado.

Debe mantenerse el orden de proporciones de los elementos componentes de la capa de fundente.

RECOMENDACIONES

- a) Usar equipo de protección, puesto que trabajar con ácidos implica bastante peligro. Además no es conveniente manejar en forma directa las piezas tratadas.
- b) Agitar constantemente las soluciones, a fin de propiciar un ataque más efectivo del agente limpiador.
- c) Resulta preferible utilizar ácido clorhídrico, puesto que se trabaja a temperatura ambiente.
- d) Es conveniente realizar el decapado con ácidos diluidos del orden del 6 al 10%, puesto que la acción neutralizante de la solución del fundente, resulta más efectiva y además se evita un ataque superficial excesivo.

- e) Una secuencia de trabajo ininterrumpida durante todas las etapas del proceso, es conveniente.
- f) Aplicar el enjuagado con la solución de fundente acompañado de un frotamiento enérgico, a fin de eliminar las trazas de óxido y sales de hierro.
- g) La preparación de la capa de fundente debe realizarse exactamente antes de iniciarse la inmersión, por cuanto fácilmente se volatiliza.
- h) La composición de la capa de fundente, debe ser realizada bajo las proporciones indicadas, por cuanto que un aumento del cloruro de amonio disminuirá el punto de fusión del fundente, acelerándose por consiguiente el proceso de evaporación.

Proporción, en peso, del total de muestra retenido por el tamiz y del pasado a través del tamiz.
La indicación 4 (4,75), significa tamiz número 4 con malla de 4,75 mm

(Medidas, en milímetros)

Diámetro del perdigón	En el tamiz	% máx.	A través del tamiz	En el tamiz	% máx.	A través del tamiz	En el tamiz	% mín.	A través del tamiz	En el tamiz	% máx.	A través del tamiz	% máx.
3,35	4 (4,75)	0				4 (4,75)	6 (3,35)	90	6 (3,35)	7 (2,82)	7	7 (2,82)	3
2,8	5 (4,00)	0				5 (4,00)	7 (2,82)	90	7 (2,82)	8 (2,38)	7	8 (2,38)	3
2,36	6 (3,35)	0				6 (3,25)	8 (2,38)	90	8 (2,38)	10 (2,00)	7	10 (2,00)	3
1,98	7 (2,82)	0				7 (2,82)	10 (2,00)	85	10 (2,00)	12 (1,68)	12	12 (1,68)	3
1,56	8 (2,38)	0				8 (2,38)	12 (1,68)	85	12 (1,68)	14 (1,40)	12	14 (1,40)	3
1,4	10 (2,00)	0				10 (2,00)	14 (1,40)	85	14 (1,40)	16 (1,19)	12	16 (1,19)	3
1,17	10 (2,00)	0	10 (2,00)	12 (1,68)	5	12 (1,68)	16 (1,19)	80	16 (1,19)	18 (1,00)	11	18 (1,00)	4
1,0	12 (1,68)	0	12 (1,68)	14 (1,40)	5	14 (1,40)	18 (1,00)	80	18 (1,00)	20 (0,84)	11	20 (0,84)	4
0,84	14 (1,40)	0	14 (1,40)	16 (1,19)	5	16 (1,19)	20 (0,84)	80	20 (0,84)	25 (0,71)	11	25 (0,71)	4
0,58	18 (1,00)	0	18 (1,00)	20 (0,84)	10	20 (0,84)	30 (0,59)	75	30 (0,59)	35 (0,59)	12	35 (0,59)	3
0,43	20 (0,84)	0	20 (0,84)	25 (0,71)	10	25 (0,71)	40 (0,42)	75	40 (0,42)	45 (0,35)	12	45 (0,35)	3
0,28	30 (0,59)	0	30 (0,59)	35 (0,50)	10	35 (0,50)	50 (0,30)	70	50 (0,30)	80 (0,18)	10	80 (0,18)	10
0,18	40 (0,42)	0	40 (0,42)	45 (0,35)	10	45 (0,35)	80 (0,18)	70	80 (0,18)	120 (0,12)	10	120 (0,12)	10

Tabla N° 1. - Medida para perdigones de limpieza y tolerancia de tamizado.

Proporción, en peso, del total de muestra retenido por el tamiz y del pasado a través del tamiz.
La indicación 4 (0,187), significa tamiz número 4 con malla de 0,187"

(Medidas, en pulgadas)

Perdigón num.	En el tamiz	% máx.	A través del tamiz	En el tamiz	% máx.	A través del tamiz	En el tamiz	% mín.	A través del tamiz	En el tamiz	% máx.	A través del tamiz	% máx.
1320	4 (0,187)	0				4 (0,187)	6 (0,132)	90	6 (0,132)	7 (0,111)	7	7 (0,111)	3
1110	5 (0,157)	0				5 (0,157)	7 (0,111)	90	7 (0,111)	8 (0,0937)	7	8 (0,0937)	3
930	6 (0,132)	0				6 (0,132)	8 (0,0937)	90	8 (0,0937)	10 (0,0787)	7	10 (0,0787)	3
780	7 (0,111)	0				7 (0,111)	10 (0,0787)	85	10 (0,0787)	12 (0,0661)	12	12 (0,0661)	3
660	8 (0,0937)	0				8 (0,0937)	12 (0,0661)	85	12 (0,0661)	14 (0,0555)	12	14 (0,0555)	3
550	10 (0,0787)	0				10 (0,0787)	14 (0,0555)	85	14 (0,0555)	16 (0,0469)	12	16 (0,0469)	3
460	10 (0,0787)	0	10 (0,0787)	12 (0,0661)	5	12 (0,0661)	16 (0,0469)	80	16 (0,0469)	18 (0,0394)	11	18 (0,0394)	4
390	12 (0,0661)	0	12 (0,0661)	14 (0,0555)	5	14 (0,0555)	18 (0,0394)	80	18 (0,0394)	20 (0,0331)	11	20 (0,0331)	4
330	14 (0,0555)	0	14 (0,0555)	16 (0,0469)	5	16 (0,0469)	20 (0,0331)	80	20 (0,0331)	25 (0,028)	11	25 (0,028)	4
230	18 (0,0394)	0	18 (0,0394)	20 (0,0331)	10	20 (0,0331)	30 (0,0232)	75	30 (0,0232)	35 (0,0197)	12	35 (0,0197)	3
170	20 (0,0331)	0	20 (0,0331)	25 (0,028)	10	25 (0,028)	40 (0,0165)	75	40 (0,0165)	45 (0,0138)	12	45 (0,0138)	3
110	30 (0,0232)	0	30 (0,0232)	35 (0,0197)	10	35 (0,0197)	50 (0,0117)	70	50 (0,0117)	80 (0,007)	10	80 (0,007)	10
70	40 (0,0165)	0	40 (0,0165)	45 (0,0138)	10	45 (0,0138)	80 (0,007)	70	80 (0,007)	120 (0,0049)	10	120 (0,0049)	10

Tabla N° 2.- Números SAE para perdigones de limpieza
y tolerancia de tamizado.

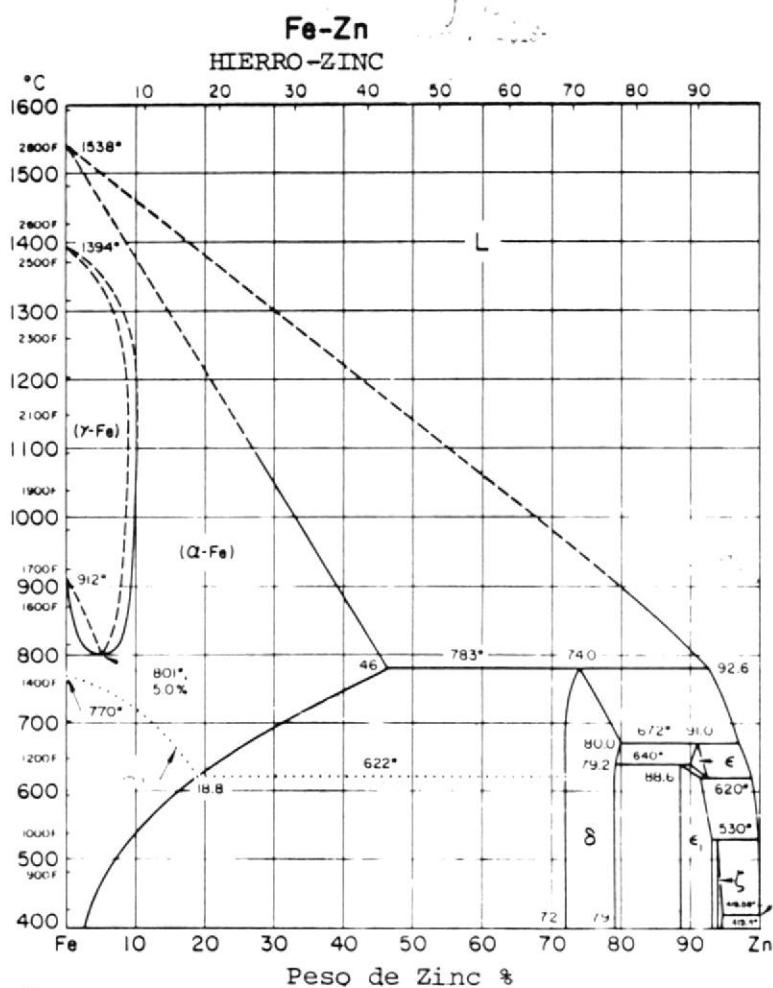


Diagrama de Equilibrio Fe-Zn, tomado de Metals Handbook

(Eight Edition)

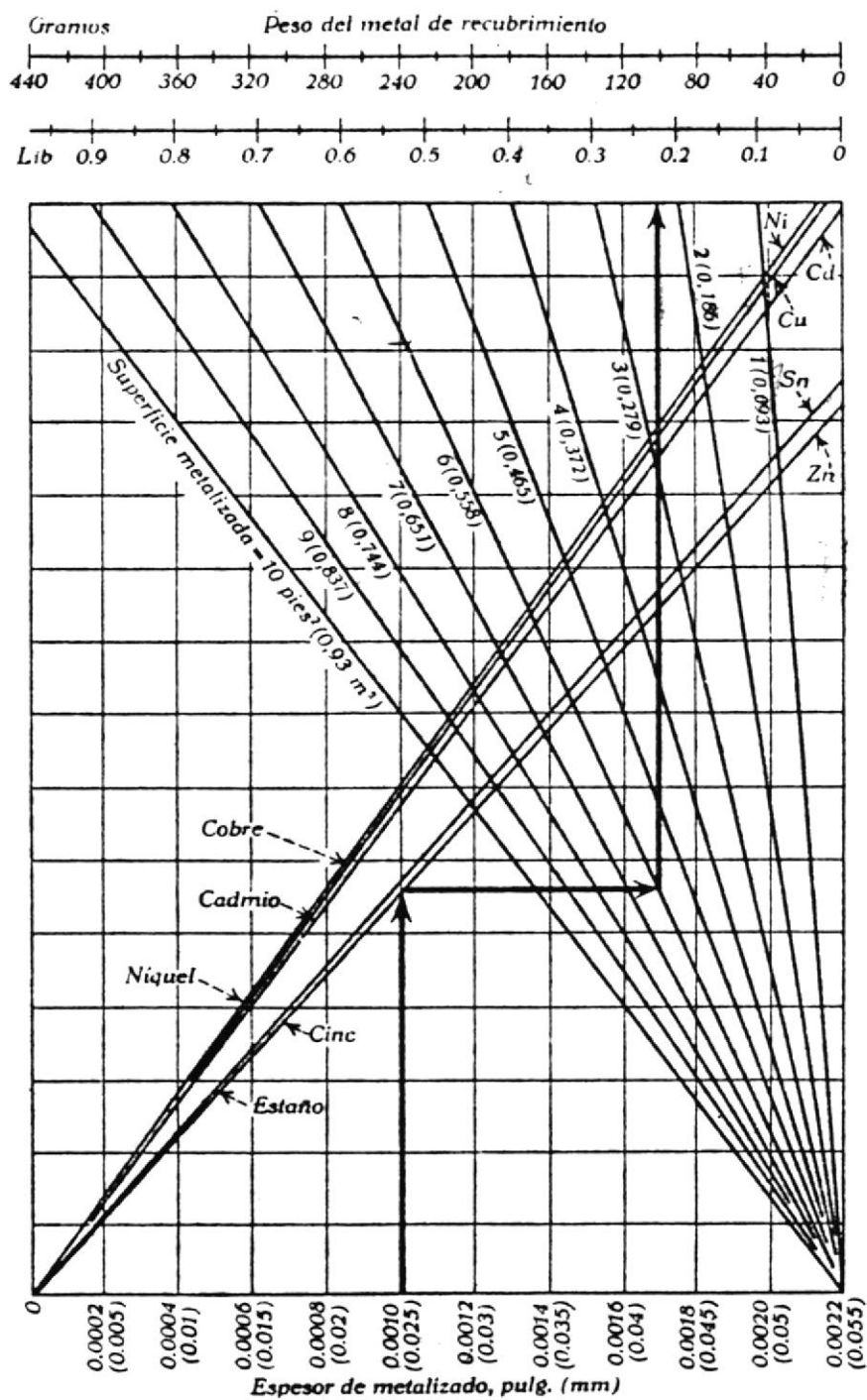


Gráfico N° 4. - Para calcular el peso del metal de recubrimiento, y grosor.

(Tomado del nuevo Manual de Taller Mecánico II de Grand Rupert.)



B I B L I O G R A F I A

- 1.- BURNS R.M., Recubrimientos Protectores de los Metales
Ediciones Interciencias, Costanilla de los Angeles,
15 Madrid.
- 2.- CENIM, Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas.
Revista de Metalurgia, Vol. 10 N° 3, Vol. 14 N° 6.
- 3.- CLARK & HAWLEY, Enciclopedia de Química. Ediciones Omega S.A. Casanova, 220, Barcelona, 1961.
- 4.- CHAMPION F.A., Ensayos de Corrosión ESPOL.
- 5.- FRITZ TUDT, Corrosión y Protección, Editorial Aguilar,
Madrid.
- 6.- GABE D.R., Principles of Metals Surface Treatment and
Protection, Pergamon Press 1972.
- 7.- GALVELE JOSE R., O.E.A., Corrosión, Buenos Aires, Argentina.

8. - KRAUSE HUGO, Análisis y Control de Baños y Recubrimientos en Galvanotecnia.
9. - Le GRAND RUPERT, Nuevo Manual de Taller Mecánico II, Editorial Labor S.A., Barcelona, Madrid, 1968.
10. - NEHL ROBERT F., Metals Handbook, Eight Edition, A.S.M.
11. - SCULLY J.C., Fundamentos de la Corrosión, Editorial Alhambra, S.A., 1968.
12. - VITERI A., Corrosión y Prevención de la Corrosión, ESPOL.
13. - UHLIG H. HERBERT, Corrosión y Control de la Corrosión.

