



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“CONSTRUCCIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE
UNA PLANTA PILOTO DE COBREDO, NIQUELADO,
CROMADO, GALVANIZADO, ANODIZADO CON SUS
RESPECTIVAS GUÍAS PARA EL LABORATORIO DE
TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DE LA FACULTAD
DE MECÁNICA”**

**SANTILLÁN ESPINOZA DIEGO IVÁN
SANDOVAL SILVA OSCAR RAFAEL**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2012 - 11 - 12

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

DIEGO IVÁN SANTILLÁN ESPINOZA

Titulada:

**“CONSTRUCCIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE UNA PLANTA
PILOTO DE COBREDO, NIQUELADO, CROMADO, GALVANIZADO,
ANODIZADO CON SUS RESPECTIVAS GUÍAS PARA EL LABORATORIO
DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Geovanny Novillo A.

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Marco Almendáriz.
DIRECTOR DE TESIS

ASESOR DE TESIS

Ing. José Pérez.

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: Diego Iván Santillán Espinoza.

TÍTULO DE LA TESIS: “CONSTRUCCIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE UNA PLANTA PILOTO DE COBREDO, NIQUELADO, CROMADO, GALVANIZADO, ANODIZADO CON SUS RESPECTIVAS GUÍAS PARA EL LABORATORIO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

Fecha de Examinación: 2013-12-05.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. Gloria Miño. PRESIDENTA TRIB. DEFENSA			
Ing. Marco Almendáriz. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. José Pérez. ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

La Presidenta del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Gloria Miño C.
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2012 - 11 - 12

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

OSCAR RAFAEL SANDOVAL SILVA

Titulada:

**“CONSTRUCCIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE UNA PLANTA
PILOTO DE COBREDO, NIQUELADO, CROMADO, GALVANIZADO,
ANODIZADO CON SUS RESPECTIVAS GUÍAS PARA EL LABORATORIO
DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Marco Almendáriz.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. José Pérez.

ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: Oscar Rafael Sandoval Silva.

TÍTULO DE LA TESIS: “CONSTRUCCIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE UNA PLANTA PILOTO DE COBREDO, NIQUELADO, CROMADO, GALVANIZADO, ANODIZADO CON SUS RESPECTIVAS GUÍAS PARA EL LABORATORIO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

Fecha de Examinación: 2013-12-05.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. Gloria Miño PRESIDENTA TRIB. DEFENSA			
Ing. Marco Almendáriz. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. José Pérez. ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El (La) Presidente (a) del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Gloria Miño C.
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Diego Iván Santillán Espinoza.

Oscar Rafael Sandoval Silva.

DEDICATORIA

A Dios, a mi Madre Virgen Dolorosa y a mi Padre Marcelo Iván, que son las guías espirituales que me han acompañado y dado fuerzas para recorrer día a día este camino.

A mi Madre Elsy Susana ejemplo de trabajo, constancia, dedicación y amor en cada cosa que se propone, luchadora hasta el final cada batalla.

A todos mis familiares, tíos, primos, compañeros, amigos de andanzas y estudios, a todos gracias por poner su granito de arena para construir esta torre.

A todos, **DIOS LES BENDIGA.**

Diego Santillán Espinoza.

Es muy grato para mí dar las gracias a todas las personas que de una u otra forma estuvieron presentes en el desarrollo de este nuevo reto que llega a su culminación con el presente trabajo de grado.

A Dios por ser mi guía, darme salud, la fe de que todo lo malo pasara y vendrán tiempos mejores, y la esperanza de que todo es posible en esta vida con esfuerzo y dedicación.

A mis padres, Fausto Sandoval y Flor Silva que nunca perdieron la confianza en mí, por más fracasos que tuviera, siempre me daban una palabra de aliento y una nueva oportunidad. ¡Los Amo!

Oscar Sandoval Silva.

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Diego Santillán Espinoza

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Oscar Sandoval Silva

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general.</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos.</i>	2
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Principios de electroquímica	3
2.2 Electrolisis	3
2.3 Celda electrolítica	4
2.4 Ley de Faraday.....	5
2.5 Descripción del proceso galvánico	10
2.5.1 <i>Galvanoplastia</i>	11
2.5.2 <i>Galvanostegia.</i>	11
2.5.3 <i>Etapas del proceso.</i>	12
2.5.4 <i>Aplicaciones.</i>	13
2.5.4.1 <i>La construcción.</i>	13
2.5.4.2 <i>La industria automotriz.</i>	14
2.5.4.3 <i>Electrodomésticos.</i>	14
2.5.5 <i>Efecto de las condiciones de trabajo en la naturaleza de los depósitos.</i>	15
2.5.5.1 <i>Densidad de corriente.</i>	15
2.5.5.2 <i>Agitación.</i>	16
2.5.5.3 <i>Temperatura.</i>	16
2.5.5.4 <i>Naturaleza del catión y anión</i>	17
2.5.5.5 <i>Concentración iónica.</i>	17
2.5.5.6 <i>pH.</i>	19
2.5.5.7 <i>Poder de penetración.</i>	19
2.5.5.8 <i>Superficies catódicas</i>	20
2.5.5.9 <i>Disposición de las piezas en las cubas</i>	22
2.5.6 <i>Dispositivos y accesorios</i>	22
2.5.6.1 <i>Descripción del lugar de trabajo.</i>	22
2.5.6.2 <i>Tanques para la electrodeposición.</i>	23
2.5.6.3 <i>Revestimientos.</i>	26
2.5.6.4 <i>Calentamiento de las soluciones</i>	32
2.5.6.5 <i>Ánodos: tipos y características.</i>	34
2.5.6.6 <i>Filtración.</i>	36
2.5.6.7 <i>Agitación.</i>	40
2.5.6.8 <i>Fuentes de corriente continua.</i>	41
2.5.6.9 <i>Secado</i>	41
2.6 Procesos de preparación de superficies.....	42
2.6.1 <i>Preparación mecánica de superficies.</i>	42
3. BAÑOS ELECTROLÍTICOS	56
3.1 Baños de cobre.....	56
3.1.1 <i>Baños de cobre cianurado.</i>	57
3.1.1.1 <i>Preparación de baños de cobre cianurado</i>	59
3.1.2 <i>Baños de cobre ácidos - sulfato.</i>	64
3.1.2.1 <i>Preparación de baños de cobre al sulfato.</i>	65
3.1.2.2 <i>Mantenimiento y control de baños de cobre al sulfato</i>	65
3.1.3 <i>Baños de cobre moderados - pirofosfato</i>	68
3.1.3.1 <i>Mantenimiento y control de baños de cobre al pirofosfato</i>	69
3.2 Baños de níquel.....	70
3.2.1 <i>Baños de níquel en procesos decorativos</i>	72
3.2.2 <i>Baños de níquel brillante.</i>	73
3.2.3 <i>Baños de níquel semi brillante.</i>	74

3.2.4	<i>Capas de níquel sencillas y múltiples.</i>	75
3.2.5	<i>Defectos y causas para el baño de níquel.</i>	75
3.3	Baños de cromo.	77
3.3.1	<i>Baños de cromo auto regulable.</i>	78
3.3.2	<i>Baños de cromo duro.</i>	80
3.3.3	<i>Fuentes de corriente.</i>	81
3.3.4	<i>Ánodos.</i>	82
3.4	Baños de zinc – Galvanizado.	92
3.4.1	<i>Formulaciones de baños para zincado</i>	93
3.5	Anodizado (PALLASCO, 2008)	99
3.5.1	<i>Tipos de anodizados</i>	100
3.5.1.1	<i>El anodizado arquitectónico.</i>	101
3.5.1.2	<i>Anodizado semiduro y duro.</i>	101
4.	DIAGNÓSTICO ACTUAL LABORATORIO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.	102
4.1	<i>Reseña histórica (ESPOCH, 2013)</i>	102
4.1.1	<i>Antecedentes. (ESPOCH, 2013).</i>	102
4.1.2	<i>Base legal. (ESPOCH, 2013).</i>	103
4.2	<i>Misión. (ESPOCH, 2013)</i>	105
4.3	<i>Visión (ESPOCH, 2013)</i>	105
4.4	<i>Organigrama Administrativo. (ESPOCH, 2013).</i>	105
5.	IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPOS DE TRABAJO, SEGURIDAD INDUSTRIAL.	107
5.1	<i>Fuente de alimentación regulable</i>	107
5.2	<i>Sistema de calentamiento y control de temperatura</i>	107
5.3	<i>Temporizador.</i>	109
5.4	<i>Agitación.</i>	109
5.5	<i>Ventilación.</i>	109
5.6	<i>Tablero de control.</i>	110
5.7	<i>Sistema de lavado y secado.</i>	110
5.8	<i>Mesa de trabajo</i>	111
5.9	<i>Cubas o tanques para electrodeposición</i>	111
5.10	<i>Ácidos, sales y ánodos de sacrificio.</i>	112
5.11	<i>Seguridad industrial</i>	112
5.11.1	<i>Elementos de protección personal (EPP)</i>	113
5.11.2	<i>Toxicidad de los electrolitos.</i>	113
5.11.3	<i>Protección contra incendios.</i>	114
5.11.4	<i>Señalética.</i>	114
5.11.4.1	<i>Formas geométricas utilizadas para la señalización de ambientes y equipos de seguridad.</i>	115
5.11.4.2	<i>Símbolos a utilizar.</i>	115
5.11.4.3	<i>Componentes obligatorios para las señales.</i>	115
5.11.4.4	<i>Dimensión y ubicación de las señales.</i>	116
5.11.4.5	<i>Ubicación de las señales.</i>	117
6.	MODELACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.	119
6.1	<i>Modelación mediante software.</i>	119
6.1.1	<i>Mesa de trabajo.</i>	119
6.1.2	<i>Control y potencia.</i>	124
6.1.3	<i>Accesorios.</i>	127
6.1.4	<i>Pruebas de funcionamiento y determinación de parámetros de trabajo.</i>	129
6.1.4.1	<i>Preparación de probetas.</i>	130
6.1.4.2	<i>Cobreado.</i>	132
6.1.4.3	<i>Niquelado.</i>	133
6.1.4.4	<i>Latonado.</i>	136
6.1.4.5	<i>Cromado.</i>	137
6.1.4.6	<i>Galvanizado – zincado.</i>	138
6.1.4.7	<i>Anodizado.</i>	141

7.	GUÍAS DE LABORATORIO PARA LOS PROCESOS DE ELECTRODEPOSICIÓN..	144
	Instructivo para el proceso electrolítico de cobre.....	145
	Instructivo para el proceso electrolítico de níquel	148
7.1	Ficha técnica para los baños y tratamientos de níquel. (GALVANO, 2013)	151
	Instructivo para el proceso electrolítico de latón	153
7.2	Ficha técnica para los baños y tratamientos de zinc. (GALVANO, 2013)	156
	Instructivo para el proceso electrolítico de cromo	157
	Instructivo para el proceso electrolítico de zinc.....	160
7.3	Ficha técnica para los baños y tratamientos de zinc. (GALVANO, 2013)	163
	Instructivo para el proceso de anodizado.....	166
7.4	Ficha técnica para sistema de desengrase ct-10. (GALVANO, 2013).....	170
8.	ANÁLISIS FINANCIERO.....	171
8.1	Costos.....	171
8.1.1	<i>Costo directo.....</i>	171
8.1.2	<i>Costos indirectos.....</i>	173
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	174
9.1	Conclusiones.....	174
9.2	Recomendaciones.....	175

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Equivalente electroquímico de los metales..... 6
2	Propiedades físicas de los revestimientos asfálticos..... 26
3	Propiedades físicas de los revestimientos de placas 27
4	Propiedades físicas de los revestimientos de resinas sintéticas curadas al ambiente..... 28
5	Materiales para calefactores eléctricos 33
6	Defectos, causas y soluciones para el baño de cobre cianurado 61
7	Formulación general para baños de cobre al sulfato..... 65
8	Defectos, causas y soluciones para el baño de cobre ácido - al sulfato 67
9	Composición típica de una solución WATTS 72
10	Defectos y causas para el baño de níquel..... 75
11	Impurezas metálicas encontradas en los baños de níquel 77
12	Composición de los baños de cromo 79
13	Condiciones de operación típicas de los baños de cromo 80
14	Formulaciones para cromo duro 80
15	Defectos, causas y soluciones para el baño de cromo..... 82
16	Baño de Zinc ácido al bórico 93
17	Baño de Zinc ácido al amonio 93
18	Baño de zinc alcalino sin cianuro 94
19	Baño de zinc alcalino cianurado 94
20	Parámetros operativos del baño de zinc..... 94
21	Defectos, causas y remedios para el baño de zinc ácido..... 95
22	Defectos y causas para el baño de zinc alcalino con cianuros 97
23	Impurezas metálicas..... 99
24	Distribución CEDICOM 104
25	Código de colores para seguridad 114
26	Formas geométricas para seguridad..... 115
27	Modelación de la mesa de trabajo..... 120
28	Modelado del mesón de granito..... 120
29	Modelado de la cámara extractora de vapores y gases 121
30	Modelado del tablero de control 122
31	Modelado tapa tablero de control 123
32	Construcción e instalación de circuitos de control y potencia 125
33	Accesorios utilizados 128
34	Preparación de probetas 130
35	Pruebas de cobreado 132
36	Pruebas de Niquelado 133
37	Pruebas de Latonado..... 136
38	Pruebas de Cromado 137
39	Pruebas de Zincado..... 138
40	Preparación de probetas - Anodizado 141
41	Pruebas de Anodizado 142
42	Costos directos - Mesa de trabajo 171
43	Costos directos - Cámara y extractor de gases..... 171
44	Costos directos - Electrolíticos, ánodos, ácidos y cubas..... 171
45	Costos Directos - Control y potencia..... 172
46	Costos indirectos - Materiales y herramientas 172
47	Costos indirectos - Gastos administrativos 173

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Celda electrolítica	5
2 Serie Electroquímica o Electromotriz.....	8
3 Aplicaciones galvanización	14
4 Recubrimiento en distintas formas de las piezas	21
5 Barril para recubrimientos metálicos de piezas a granel.....	29
6 Ganchera procesos en colgado.....	30
7 Corte de un sistemas de agitación para soluciones electrolíticas.....	41
8 Micro sección de un film anódico.....	100
9 Señalética.....	116
10 Dimensión y ubicación de las señales.....	116
11 Ubicación de las señales	117
12 Ubicación de las señales	117

SIMBOLOGÍA

$NiSO_4$	Sulfato de níquel	
$CuSO_4$	Sulfato de cobre	
$NaSO_4$	Sulfato de sodio	
Ni^{+2}	Níquel	
SO_4^{-2}	Sulfato	
V	Voltaje	V
I	Corriente	A
m	Masa de un elemento depositado (teórica)	mg
E	Equivalente químico	mg
Q	Cantidad de electricidad	coulomb
T	Tiempo	s
n	Rendimiento del baño	
mr	Masa real	mg
V'	Fuerza contra electromotriz de polarización	V
R	Resistencia del baño	Ω
D	Densidad de corriente	A/dm^2
S	Superficie a cubrir	dm^2
\square	Espesor	mm
d	Peso específico	N/m^3
Q	Corriente que circula por la pieza	A
Se	Superficie catódica aparente	dm^2
L	Longitud	m

LISTA DE ABREVIACIONES

PNB	Producto nacional bruto.
PVC	Policloruro de vinilo.
CPVC	Cloruro de polivinilo clorurado.
PVDF	Polifluoruro de vinilideno.
PPM	Partes por millón.
LED	Diodo emisor de luz.
LCD	Pantalla de cristal líquido.
EPP	Equipo de protección personal.

LISTA DE ANEXOS

- A Mapa de riesgos.
- B Probeta normalizada.
- C Tabla de temperaturas.

GLOSARIO

Ión: es una partícula cargada eléctricamente constituida por un átomo o molécula que no es eléctricamente neutra.

Ionización: conceptualmente esto se puede entender como que, a partir de un estado neutro de un átomo o partícula, se han ganado o perdido electrones; este fenómeno se conoce como ionización.

Disociación iónica: es un proceso general en el cual complejos, moléculas y/o sales se separan en moléculas más pequeñas, iones o radicales, usualmente de manera reversible. Disociación es lo opuesto de la asociación, síntesis química o a la recombinación.

Disolución: es una mezcla homogénea a nivel molecular o iónico de dos o más sustancias, que no reaccionan entre sí, cuyos componentes se encuentran en proporción que varía entre ciertos límites

Dilución: es la reducción de la concentración de una sustancia química en una disolución.

Celda galvánica: son dispositivos experimentales que producen corriente eléctrica a partir de reacciones químicas.

Diferencia de potencial: es el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones determinadas.

Depósito: lugar donde se guardan residuos con intención permanente.

Ánodo: el ánodo es un electrodo en el que se produce una reacción de oxidación, mediante la cual un material, al perder electrones, incrementa su estado de oxidación.

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

Reacción de óxido - reducción: o simplemente reacción redox, es toda reacción química en la que uno o más electrones se transfieren entre los reactivos, provocando un cambio en sus estados de oxidación.

Agente oxidante: o comburente es un compuesto químico que oxida a otra sustancia en reacciones electroquímicas o de reducción-oxidación. En estas reacciones, el compuesto oxidante se reduce.

Agente reductor: Un agente reductor es aquel que cede electrones a un agente oxidante. Existe una reacción química conocida como reacción de reducción-oxidación, en la que se da una transferencia de electrones.

Voltaje: el voltaje, tensión o diferencia de potencial es la presión que ejerce una fuente de suministro de energía eléctrica o fuerza electromotriz (FEM) sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito eléctrico cerrado, para que se establezca el flujo de una corriente eléctrica.

Amperaje: se define como la cantidad de corriente o electrones que fluyen por un conductor.

Electrolito: es cualquier sustancia que contiene iones libres, los que se comportan como un medio conductor eléctrico. Debido a que generalmente consisten en iones en solución, los electrolitos también son conocidos como soluciones iónicas.

Peso atómico: también llamado Masa Atómica Relativa (símbolo: Ar) es una cantidad física definida como la suma de la cantidad de las masas promedio de los átomos de un elemento (de un origen dado) expresados en unidad de masa atómica o U.M.A.

Valencia: la valencia, también conocida como número de valencia, es una medida de la cantidad de enlaces químicos formados por los átomos de un elemento químico.

Densidad: es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen de una sustancia.

Conductividad: es la capacidad de un material de conducir la corriente eléctrica.

Intrínseco: es la manera de ser que conviene a una sustancia como tal y no en sus relaciones.

Densidad de corriente: se define como una magnitud vectorial que tiene unidades de corriente eléctrica por unidad de superficie, es decir, intensidad por unidad de área.

Viscosidad: es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales.

Coloide: es un sistema formado por dos o más fases, principalmente: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas; por lo general sólidas.

pH: es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio [H₃O⁺] presentes en determinadas sustancias.

Álcali: son óxidos, hidróxidos y carbonatos (los carbonatos no son bases fuertes, ya que son la base conjugada de un ácido débil y no de un ácido neutro como el agua) de los metales alcalinos. Actúan como bases fuertes y son muy hidrosolubles. De tacto jabonoso, pueden ser lo bastante corrosivos como para quemar la piel, al igual que los ácidos fuertes.

Arborescente: forma ramificaciones análogas a las ramas de un árbol.

Corriente alterna: Se denomina corriente alterna (abreviada CA en español) a la corriente eléctrica en la que la magnitud y el sentido varían cíclicamente. La forma de oscilación de la corriente alterna más comúnmente utilizada es la de una oscilación sinusoidal.

Corriente continua: La corriente continua se refiere al flujo continuo de carga eléctrica a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial, que no cambia de sentido con el tiempo.

Ripple: es la pequeña componente de alterna que queda tras rectificarse una señal a corriente continua.

Inhibidor: son moléculas que se unen a enzimas y disminuyen su actividad.

Emulsión: es una mezcla de líquidos inmiscibles de manera más o menos homogénea. Un líquido es dispersado en otro.

Celda hull: la celda Hull es un tipo de célula de prueba utilizado para comprobar cualitativamente la condición de un baño galvánico.

Buffer: es un sistema constituido por un ácido débil y su base conjugada o por una base y su ácido conjugado que tiene capacidad "tamponante", es decir, que puede oponerse a grandes cambios de pH (en un margen concreto) en una disolución acuosa.

Sal de rochelle: se obtiene por la acción del hidróxido sódico sobre el Crémor Tártaro bruto, que es un subproducto de la industria vinícola. Las sucesivas etapas de purificaciones permiten obtener un producto refinado de gran pureza.

Cumarina: es un compuesto químico orgánico perteneciente a la familia de las benzopironas, cuyo nombre según la IUPAC es 2H-cromen-2-ona. En su estado normal (estándar) se caracteriza por una estructura cristalina e incolora.

Croquizado: es un dibujo que plasma una imagen o una idea, confeccionado con instrumentos de dibujo o copiado de un modelo, y a veces sólo es legible para el autor.

Extrusión: es un proceso utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija. El material se empuja o se extrae a través de un troquel de una sección transversal deseada.

RESUMEN

Se realizó la construcción, implementación y pruebas de una planta piloto de cobreado, niquelado, cromado, galvanizado y anodizado con sus respectivas guías para el laboratorio de tratamientos superficiales de la Facultad de Mecánica con el objetivo de actualizar técnicas de estudio y complementar mediante la práctica los conocimientos teóricos adquiridos .

La electrodeposición de metales se basa en los principios de electroquímica que se define como el arte de depositar metales mediante el uso de la corriente eléctrica continua que circula por el electrolito y genera el desplazamiento de electrones dando paso al recubrimiento del material base.

Los procesos galvánicos cambian las propiedades químicas, físicas o mecánicas de la superficie más no del interior de las piezas, otorgándole una capa de un espesor pequeño con características como resistencia a la abrasión, desgaste, protección frente a la corrosión, necesidad de lubricación y cualidades estéticas a superficies que carecen de las mismas.

Para realizar estos procesos es necesario conocer bien los procedimientos y parámetros de trabajo como son la preparación y limpieza del material, activado de la superficie, control de temperatura, regulación de voltaje o amperaje, tiempos de trabajo, secado, filtración de electrolitos aplicando normas de seguridad industrial, para así obtener resultados con calidad que cubra necesidades del material a tratar.

Con el correcto manejo, uso y aprendizaje obtendremos profesionales con un alto grado de conocimiento que les permita ser más competitivos y puedan desarrollar nuevas ideas de inversión tecnológica que pasen a formar parte del desarrollo económico e industrial del país.

ABSTRACT

It was realized the construction, implementation and test of a pilot plan of copper plating, nickel plated, chrome plated, galvanized and anodized with their respective guides for the lab of superficial treatments of Faculty of Mechanics with the objective of updating studio techniques and to complement through the practice the theoretical knowledge acquired.

The electroplating of metals is based in the electrochemical principles defined like the art of depositing metals through the use of continuous electrical current that circulates through the electrolyte and generate the shifting of electrons giving way to the coating of the base material.

The electroplating processes change the properties chemical, physical or mechanical of the surface but not of the inside of parts, giving a thickness small layer with characteristics like resistance to the abrasion, wear protection to corrosion, need of lubrication and aesthetic qualities to the surface that don't have the same.

For realizing these processes is necessary to know well the procedures and parameters of work like the preparation and cleaning of material, activated to the surface, control of temperature, regulation of voltage or amperage, time of work, drying, filtration of electrolytes, applying rules of industrial security, for that obtaining results with quality that cover the need for the material to be treated.

With the proper handling, use and learning getting professionals with a high grade of knowledge that allow be more competitive and develop new ideas of technological investment that be a part of economical and industrial development of the country.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La educación superior en la actualidad se ve en la necesidad de actualizar métodos y técnicas de estudio para lo cual tiene la obligación de implementar, mejorar o cambiar instalaciones y procedimientos de estudio y así elevar la calidad de la educación, como resultado de esto se prevé que los nuevos profesionales sean más competitivos con los retos que hoy en día se presentan en un mundo globalizado.

La Facultad de Mecánica desde su creación cuenta con el Laboratorio básico de tratamientos superficiales, debido a esta situación si bien se han realizado prácticas de laboratorio, no se las ha podido realizar de manera que se cumplan con todos los parámetros y requerimientos técnico-científicos para así fortalecer mucho más los conocimientos teóricos impartidos.

La sociedad y la industria necesitan de profesionales con un alto grado de conocimiento científico y práctico, cuando la principal prioridad es la generación de nuevas tecnologías, las cuales mejoraran las ya existentes, dando un impulso a la producción tecnificada con altos estándares de calidad.

1.2 Justificación

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo desde su creación se ha caracterizado por formar profesionales de excelencia en los campos académicos y competitivos en el ámbito laboral, aportando de esta forma al desarrollo de la provincia y del país.

Este trabajo va dirigido a proveer y poner a disposición de la Facultad de Mecánica una planta piloto de tratamientos superficiales para que la formación profesional sea más integral; debido a la gran necesidad de poder contar con equipos y material que permitan asimilar de la manera más adecuada los conocimientos, y nos permitan así ser muy técnicos y prácticos al momento de ejecutar las múltiples tareas de la carrera.

El autofinanciamiento es una herramienta de la cual la sociedad se beneficia en diferentes ámbitos de desarrollo para el fortalecimiento de varios aspectos como la educación, y mucho más la Escuela de Ingeniería Industrial obtener la tan deseada acreditación de la carrera y obtener profesionales certificados por organismos de control.

1.3 Objetivos.

1.3.1 *Objetivo general.* Construir, implementar y probar una planta piloto de cobreado, niquelado, cromado, galvanizado, anodizado con sus respectivas guías para el laboratorio de tratamientos superficiales de la Facultad de Mecánica.

1.3.2 *Objetivos específicos.*

Establecer parámetros de trabajo para obtener revestimientos de metales de buena calidad.

Elaborar documentos técnicos como guías de laboratorio para los procesos.

Modelar el equipo mediante metodología tradicional y el Software respectivo.

Construir equipos y realizar pruebas que garanticen la funcionalidad de los procedimientos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO(GALVANOLYTE, 2010)

2.1 Principios de electroquímica

La electrodeposición es un proceso electroquímico que se define como el arte de depositar metales mediante el uso de la corriente eléctrica. Esto involucra la reducción de un compuesto metálico disuelto en agua, y la deposición del metal resultante sobre una superficie conductora químicamente limpia. El mecanismo de este proceso es explicado mediante la teoría de la disociación iónica y electrolisis.

Antes de examinar los efectos producidos por la aplicación de una corriente eléctrica en soluciones acuosas, se deberá considerar que sucede cuando una sal, ácido o base se disuelve en agua. En la mayoría de los casos, sucede una acción no visible, la cual es reversible. Ésta se denomina disociación iónica o ionización, en la cual, el material se disocia en iones. Por ejemplo, el sulfato de níquel se disocia de la siguiente manera:



Los iones pueden consistir en átomos como en el caso del Ni^{+2} o como radicales en el caso del SO_4^{-2} . Estos iones transportan una pequeña carga eléctrica. Los radicales están cargados negativamente, o dicho de otra forma, cargan uno o varios electrones de más.

La disociación tiene una relación directa con la electrodeposición ya que la conductividad de una solución depende de la concentración de iones presentes. El grado de ionización se incrementa con una mayor dilución y manteniendo inactivas las moléculas no disociadas.

2.2 Electrolisis

El proceso de los recubrimientos metálicos electrolíticos se basa en el principio fundamental de la ELECTROLISIS que es “La descomposición de una sustancia en disolución mediante la corriente eléctrica(2001)”. La electrolisis transforma la energía

eléctrica en energía química, es por tanto el proceso inverso al que se produce en una celda galvánica(NAVARRETE, 2012).

En el caso de la deposición de metales, la solución de electrodeposición o electrolito, es generalmente una solución acuosa de sales metálicas, con la adición de otros materiales para incrementar su conductividad, modificar la textura del depósito y/o actuar como estabilizadores.

Durante el proceso electroquímico, hay desplazamiento de iones en direcciones opuestas. Esta acción es producida por la aplicación de una corriente eléctrica externa, lo cual produce el movimiento en función de la diferencia de potencial aplicada a los electrodos, lo que hace que los aniones se trasladen hacia el ánodo para neutralizar su carga y a la vez, los cationes lo hagan sobre la pieza.

Generalmente la corriente aplicada a los electrodos es suministrada por una fuente de corriente continua o un rectificador. La diferencia de potencial sobre los electrodos del baño, o voltaje, expresado en Voltios (V), debe ser considerada como una medida de electricidad necesaria para producir en el electrolito una circulación de corriente, la cual se expresa en Amperios (A).

2.3 Celda electrolítica

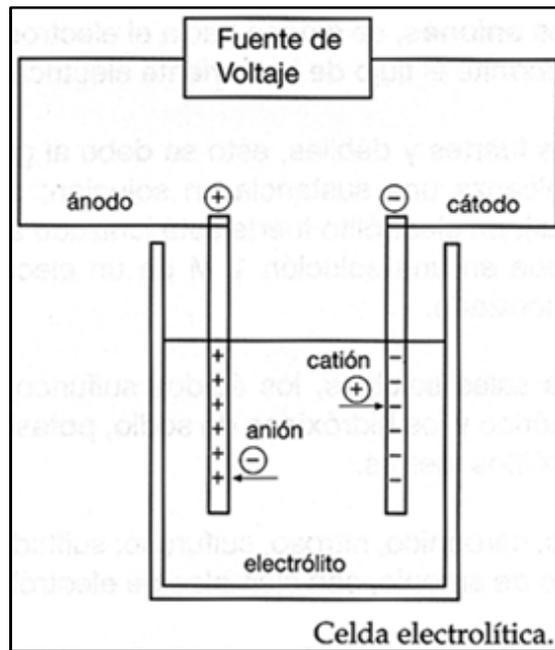
Las celdas electrolíticas están constituidas por un recipiente que no reaccione ni influya en el proceso de electrodeposición; el cual contiene al electrolito que está constituido principalmente por sales de los metales que van a ser depositados y ácidos o bases por lo general inorgánicos, todos ellos disueltos en agua, dos electrodos (uno funciona como cátodo y el otro como ánodo) quienes sirven de polos a una fuente de corriente continua actuando como una bomba de electrones ya que los impulsa a uno de los electrodos y los jala del otro y en ellos se lleva a cabo la reducción en el cátodo y la oxidación en el ánodo.

En la Figura 1. se esquematizan los componentes de un sistema electroquímico o celda electrolítica para electrodeposición y la participación de los mismos.

2.4 Ley de Faraday

En 1834, Faraday determinó las relaciones cuantitativas entre la cantidad de corriente eléctrica que se usa y la masa de las sustancias producidas por las reacciones de oxidación y reducción provocadas por la corriente eléctrica. La conclusión a la que llegó Faraday se la conoce como Ley de la electrolisis o ley de Faraday.

Figura 1. Celda electrolítica



Fuente: <http://celdaelectrolitica.blogspot.com/>

“La masa de un elemento depositado en una celda electroquímica, depende de la cantidad total de electricidad que circule por ella y es proporcional a ésta.”

Se tiene:

$$m = E_q * C \quad (1)$$

Dónde:

E_q = es una constante para cada elemento conocida como equivalente electroquímico (Tabla 1.) y representa la masa del elemento depositada por unidad de electricidad, o masa depositada por el paso de un coulomb. El Equivalente electroquímico de una sustancia es la masa de la misma sustancia en (g/A*h) que se deposita sobre la superficie del metal durante el proceso.

C = es la cantidad de electricidad en coulombs. (A*h)

m = masa teórica de electrodeposición.

Tabla 1. Equivalente electroquímico de los metales

Equivalenti elettrochimici.								
Elemento	Simbolo	Peso atomico (A)	Peso specifico (d)	Valenza (z)	Bagno galvanico	Equivalente elettrochimico in g/Ah		Rendimento di corrente (η) riferito al bagno
						teorico (Eq)	pratico (eq)	
Antimonio	Sb	121,75	6,7	5	Bagno di solfoantimoniato	0,909		
				3		1,514		
Argento ..	Ag	107,87	10,5	1	Tutti i bagni di argento	4,025	3,99	0,99
Arsenico .	As	74,92	5,7	5	Bagni di arsenico comuni	0,932	0,84	0,90
				3		1,993		
Cadmio ..	Cd	112,40	8,6	2	Bagni acidi e al cianuro	2,097	2,00	0,95
Cobalto...	Co	58,933	8,5	2	Bagni di cobalto	1,100	0,99	0,90
Cromo....	Cr	51,996	6,5	6	Bagni acidi di cromo (Soluzione di sale cromico)	0,323	0,032	~0,10
				3		0,647		
Ferro	Fe	55,84	7,8	3		0,694		
				2		1,042		
Idrogeno .	H	1,0079		1		0,03762		
Nichel ...	Ni	58,71	8,8	2	Bagni di nichel	1,095	1,04	0,95
Oro	Au	196,96	19,5	3	Bagni al ferrocianuro	2,452	2,20	0,90
				1	Bagni al cianuro	7,357	4,75	0,65
Ossigeno .	O	16,00		2		0,2985		
Palladio ..	Pd	106,4	11,5	4	Bagno al cloruro di palladio ...	0,995	0,766	0,38
				2	Bagno al cloruro di ammonio e Pd	1,990		
Piombo...	Pb	207,19	11,34	2	Bagni di piombo	3,865	3,865	1
				4		1,932		
Platino ..	Pt	195,09	21,4	4	Bagno al cloruro di platino	1,821	0,139	0,077
Rame	Cu	63,54	8,9	2	Bagni acidi	1,186	1,186	1
				1		Bagni al cianuro		

Fuente:(ALMENDÁRIZ, 2009)

Si la corriente es de intensidad constante, se tiene la ley de Faraday que se expresa matemáticamente con la siguiente relación:

$$C = i * t \quad (2)$$

Dónde:

t = es el tiempo en horas.

i = se mide en amperios (A).

Reemplazando la Ec.(2) en la Ec. (1), se obtiene:

$$\mathbf{m} = E_q * \mathbf{i} * \mathbf{t} \quad (3)$$

Con estos cálculos obtenemos el rendimiento del baño donde se observa que la cantidad de metal depositado es menor o inferior a la teórica, para realizar el cálculo de rendimiento o eficiencia del baño dividimos el valor de la masa real para el valor de la masa teórica, así:

$$\mathbf{n} = \frac{m_r}{m} = \frac{m_r}{E_q * i * t} \quad (4)$$

Dónde:

n = rendimiento del baño.

m_r = masa real.

Se debe tener en cuenta es la diferencia de Potencial, porque debe ser lo suficientemente grande para vencer la resistencia del baño y la fuerza contra-electromotriz de polarización.

Cuando se sumerge un metal en una solución que contiene sales de este mismo metal, se establece una diferencia de potencial conocida como “Potencial Sencillo”, o “Potencial de Solución” de ese metal, el mismo que al ser medido con respecto al Potencial de Hidrógeno (Potencial de Referencia), nos da un valor de 0. Los diferentes potenciales de los metales utilizados en los recubrimientos fueron tomados de la Figura 2. de potenciales normales o estándar, comúnmente denominado Serie Electroquímica o Electromotriz.

Se ha podido comprobar que, el potencial de los electrodos varía a medida que avanza la electrólisis, ya que el potencial del ánodo se vuelve más positivo, y el del cátodo se vuelve más negativo. Estos cambios se deben a la polarización de los electrodos, es decir, en el ánodo se disuelven iones metálicos, haciendo a la solución más concentrada en sus proximidades. Por el contrario, en el cátodo los iones se depositan en el baño electrolítico, provocando que la solución pierda concentración.

Este fenómeno produce un aumento en la diferencia de potencial aplicada a los electrodos con el generador de corriente. Dicho aumento en la diferencia de potencial se denomina Fuerza Electromotriz de Polarización.

Figura 2. Serie Electroquímica o Electromotriz

O X I D A N T E S	$\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Li}$	-3,05	R E D U C T O R E S
	$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{K}$	-2,93	
	$\text{Ca}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ca}$	-2,87	
	$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Na}$	-2,71	
	$\text{Mg}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mg}$	-2,37	
	$\text{Al}^{3+} + 3 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al}$	-1,66	
	$2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$	-0,83	
	$\text{Zn}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}$	-0,76	
	$\text{Cr}^{3+} + 3 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cr}$	-0,74	
	$\text{Fe}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0,44	
	$\text{Ni}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ni}$	-0,25	
	$\text{Sn}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sn}$	-0,14	
	$\text{Pb}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb}$	-0,13	
	$2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2$	0	
	$\text{CrO}_4^{2-} + 4 \text{H}_2\text{O} + 3 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cr}(\text{OH})_3 + 5 \text{OH}^-$	+0,13	
	$\text{Cu}^{2+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}^+$	+0,15	
	$\text{SO}_4^{2-} + 4 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{SO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$	+0,20	
	$\text{Cu}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	+0,34	
	$\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^- \rightleftharpoons 4 \text{OH}^-$	+0,40	
	$\text{I}_2 + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{I}^-$	+0,54	
	$\text{MnO}_4^- + 2 \text{H}_2\text{O} + 3 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{MnO}_2 + 4 \text{OH}^-$	+0,59	
	$\text{O}_2 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_2$	+0,68	
	$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$	+0,77	
	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag}(\text{s})$	+0,80	
	$\text{NO}_3^- + 2 \text{H}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+0,80	
$\text{NO}_3^- + 4 \text{H}^+ + 3 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{NO} + 2 \text{H}_2\text{O}$	+0,96		
$\text{Br}_2 + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{Br}^-$	+1,09		
$2 \text{IO}_3^- + 12 \text{H}^+ + 10 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{I}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$	+1,20		
$\text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{H}_2\text{O}$	+1,23		
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14 \text{H}^+ + 6 \text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{Cr}^{3+} + 7 \text{H}_2\text{O}$	+1,33		
$\text{Cl}_2 + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{Cl}^-$	+1,36		
$\text{ClO}_3^- + 6 \text{H}^+ + 6 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 3 \text{H}_2\text{O}$	+1,45		
$\text{Au}^{3+} + 3 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Au}$	+1,50		
$\text{MnO}_4^- + 8 \text{H}^+ + 5 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 4 \text{H}_2\text{O}$	+1,51		
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{H}_2\text{O}$	+1,78		
$\text{F}_2 + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{F}^-$	+2,87		

Fuente: <http://www.franciscanoscartagena.net/documentos/fisica-quimica/Electroquimica/PER.htm>

La corriente que circula en el baño electrolítico, se expresa con la siguiente relación:

$$i = \frac{V-V'}{R} \quad (5)$$

Dónde:

i = Corriente.

V = Diferencia de potencial aplicada a los electrodos.

V' = Fuerza contra electromotriz de polarización.

R = Resistencia que presenta el baño.

Para realizar los cálculos es de gran importancia la densidad ampérica o densidad de corriente, la cual podemos obtener con la fórmula:

$$D = \frac{i}{S} \quad (6)$$

Dónde:

S = área de la superficie total a recubrir de la pieza.

D = Densidad de corriente dada en A/dm^2 .

Para calcular el tiempo de electrólisis se puede proceder de dos maneras:

La primera, se basa en el espesor (ϵ), para lo que tenemos:

$$t = \frac{\epsilon \cdot d \cdot 10}{E_q \cdot D \cdot n} \quad (7)$$

Dónde:

d = Peso específico del depósito.

N = Rendimiento del baño (Tabla 1)

La segunda forma de conocer el tiempo de la electrolisis en horas, es sabiendo cuantos gramos de metal se desea depositar por el área a recubrir en dm^2 , la cual se especifica a continuación:

$$t = \frac{m}{E_q \cdot D \cdot n} \quad (8)$$

El tiempo en horas necesario para depositar una cantidad m en gramos por $1dm^2$ se obtiene a continuación:

$$t = \frac{m}{E_q \cdot i \cdot n} \quad (9)$$

El espesor del recubrimiento sobre una superficie es un parámetro que está dado en milímetros, para calcularlo se parte de la siguiente expresión:

$$= \frac{E_q \cdot t \cdot i \cdot n}{d \cdot S \cdot 10} \quad (10)$$

De igual manera si deseamos saber el espesor para $1dm^2$ de superficie tenemos:

$$= \frac{E_q \cdot t \cdot D \cdot n}{d \cdot 10} \quad (11)$$

La intensidad de corriente (i) está dada en amperios y es un factor importante para poder obtener los espesores deseados, para lograr los valores de corriente óptimos, en el proceso se utiliza:

$$i = \frac{d \cdot S \cdot 10}{E_q \cdot t \cdot n} \quad (12)$$

2.5 Descripción del proceso galvánico

Entre los procesos electroquímicos de interés técnico destaca el de la electrodeposición de metales, con aplicaciones muy diversas, como la obtención de recubrimientos para la decoración o protección de materiales, la producción o reproducción de artículos, la recuperación de metales, etc. Estas aplicaciones en las que se manipula un alto tonelaje de material, constituyen ramas importantes de la electroquímica industrial.

La galvanotecnia es una técnica que consiste en la electrodeposición de un recubrimiento metálico sobre una superficie que puede ser o no metálica.

Se recomienda cuando por costos o por razones estructurales, se necesite modificar las características del metal base seleccionado.

El objetivo del recubrimiento es mejorar la apariencia del metal base, protegerlo de la corrosión y en algunos casos, modificar alguna propiedad superficial, como por ejemplo, mejorar sus propiedades eléctricas o mecánicas, dar mayor dureza, ejercer lubricación, etc.

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

2.5.1 *Galvanoplastia.* La galvanoplastia consiste en la deposición electrolítica de capas metálicas sobre objetos no metálicos (principalmente plásticos) revestidos de capas conductoras o sobre matrices negativas de las que se separan posteriormente las capas metálicas.

El primer proceso se emplea principalmente con fines decorativos, mientras que con el segundo se obtiene piezas moldeadas como discos fonográficos, monedas y objetos de plástico, así como cilindros para impresión, instrumentos de precisión y otros; en éste los moldes de plástico, cera o parafina se hacen conductores utilizando grafito, zinc o cobre en polvo recubriéndolos electrolíticamente con un metal. En algunos casos las partes del plástico se metalizan directamente para lograr objetos con acabado metálico, como es el caso de la bisutería, tapas de recipientes para perfumes, algunas autopartes, placas para circuitos impresos, artículos para el hogar, grifería, etc.

2.5.2 *Galvanostegia.* La galvanostegia se refiere a los recubrimientos hechos electrolíticamente sobre superficies metálicas; puede realizarse de dos maneras diferentes, en forma catódica o anódica, dependiendo de sí la pieza se coloca para su tratamiento en el terminal anódico o catódico del circuito.

Los recubrimientos catódicos son los que el material que recubre al sustrato es mucho más noble y en este caso el segundo es el que cede electrones. Para evitar la corrosión del sustrato en este tipo de recubrimiento se debe asegurar que la capa de metal noble sea lo suficientemente gruesa y esté libre de poros. De esta manera se asegura que el

medio ambiente no esté en contacto con el sustrato eliminando uno de los elementos fundamentales para la corrosión (Electrolito). Un ejemplo de estos recubrimientos son los aros cromados para los vehículos. Si el cromado llega a fallar, por ese preciso lugar, comenzará al ataque corrosivo; y como se puede ver, el cromado no es afectado hasta que la corrosión está muy avanzada, entonces se comienzan a formar costras las cuales se revientan y caen adheridas al óxido del metal base.

El tratamiento por galvanostegia catódica busca tres objetivos fundamentales:

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

La galvanostegia anódica comúnmente conocida como anodizado, implica la formación de películas de óxido del mismo metal para que aisle y proteja las piezas. Los recubrimientos Anódicos son aquellos en que el elemento que está recubriendo tiene un Potencial menor al del metal base, por esta razón entre estos existe una diferencia de Potencial lo que ocasiona una migración de electrones del material con potencial más negativo al potencial con menos negativo.

El flujo de electrones entre estos dos metales se debe a que el metal menos noble libera electrones que se dirigen al sustrato, por esta razón también libera iones metálicos, los cuales interactuarán con el medio ambiente. De esta manera, el material que se deteriora es el recubrimiento y no el Sustrato. Se denominan Anódicos porque estos protegen al metal de la misma manera que lo hacen los ánodos de sacrificio.

2.5.3 *Etapas del proceso.* El proceso global de electrodeposición de metales consiste en la descarga de un ion metálico solvatado, presente en el seno de la disolución, y su incorporación al electrodo en forma de átomo metálico. Cuando el proceso tiene lugar en un electrodo líquido, la cinética de la reacción suele estar controlada por la difusión de los iones hacia el electrodo o por la transferencia de carga.

La cinética de la electrodeposición en electrodos sólidos es más complicada, pues los átomos metálicos originados deben incorporarse a la fase superficial sólida para formar parte de una red ordenada y estable.

En el proceso de electrodeposición de los metales se pueden distinguir las siguientes etapas:

- Transporte del ion solvatado desde el seno de la disolución a la zona del electrodo.
- Reacción electródica de reducción con desolvatación parcial.
- Desplazamiento a la posición donde puede incorporarse a la red.

El ion puede trasladarse en la interface alcanzando la posición de crecimiento previamente a la descarga, o llegar a la superficie del electrodo para descargarse y luego pasar a la posición de incorporación. Con el transcurso del tiempo, los átomos metálicos incorporados a los núcleos de crecimiento originan la expansión bidimensional de estos centros. De este modo se produce una capa delgada que luego va aumentando gradualmente de espesor para dar lugar al macro depósito.

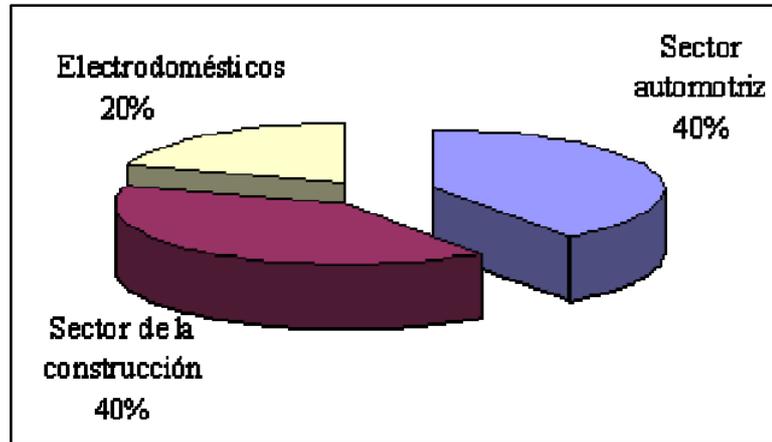
2.5.4 *Aplicaciones.* La galvanización tiene como principal objetivo disminuir las consecuencias negativas que puede tener el aire sobre el acero, la corrosión. Esta actividad representa el 48% del consumo de zinc en el mundo. Aparte de la protección contra la corrosión, el procedimiento de galvanización tiene también como ventaja el permitir una reducción considerable de los costos. Por ejemplo, para un país como Francia, la corrosión del acero y la subsiguiente sustitución acarrearía un costo suplementario equivalente entre 2,5 y 4% de su PNB.

El uso que ofrece esta técnica cubre tres ámbitos, los cuales se aprecian en la Figura 3. Los productos que se galvanizan con mayor frecuencia son el acero en láminas y en flejes, los tubos, los hilos y los cables metálicos.

2.5.4.1 *La construcción.* Las piezas fabricadas en zinc y, en particular las chapas onduladas galvanizadas son utilizadas en arquitectura para la construcción de estructuras o fachadas. Este material tiene una duración de más de cincuenta años. El

zinc también se utiliza para la fabricación de clavijas, que representan elementos importantes de la estructura. Estas piezas cilíndricas, cuyos extremos están aterradas permiten unir dos elementos de techo entre ellos.

Figura 3. Aplicaciones galvanización



Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

2.5.4.2 *La industria automotriz.* Este sector representa alrededor del 40% del mercado de piezas galvanizadas. En la actualidad, aproximadamente nueve de cada diez coches en circulación en el continente norteamericano contienen una o varias piezas galvanizadas, lo que representa, en promedio, 15 kilos de zinc por vehículo.

Debido a sus características intrínsecas, las baterías de zinc, son más eficaces que los otros sistemas actuales. Esto podría influir principalmente en el sector de coches eléctricos.

2.5.4.3 *Electrodomésticos.* El zinc interviene en este sector, principalmente por su presencia en electrodomésticos, tales como las refrigeradoras o los lavaplatos. Sin embargo, la principal innovación se encuentra en el sector de la informática.

En la industria de la informática el zinc se emplea fundamentalmente en los nuevos tipos de pilas que han reemplazado progresivamente las pilas de mercurio: las baterías "zinc-aire" que, además de mejorar las capacidades de autonomía de los aparatos en los que son integradas, son más respetuosas del medio ambiente que sus predecesoras. Las pilas a base de zinc tienen como principal ventaja la posibilidad de ser recicladas sin

límite, sin perder ni sus cualidades químicas, ni sus cualidades físicas. El zinc representa una fuente de energía limpia y duradera para el futuro. Sin embargo, el impacto que podría tener el zinc sobre el medio ambiente no se conoce todavía, por lo que se están desarrollando algunos estudios sobre este tema en la actualidad. Los resultados tendrán probablemente consecuencias en el sector de aceros galvanizados destinados a la construcción y que representan actualmente casi la mitad del mercado para el zinc.

Se estima que aproximadamente un tercio del zinc consumido, se produce a partir del reciclado del zinc usado.

2.5.5 *Efecto de las condiciones de trabajo en la naturaleza de los depósitos.* Los medios con que contamos para influir en las características de un depósito electroquímico son de dos clases:

- Aquellas que se refieren a los factores electroquímicos.
- Las que comprenden la composición del baño.

A los primeros pertenecen la densidad de corriente, agitación y temperatura; y entre los segundos la naturaleza del electrolito, el pH, los agentes de adición, la concentración iónica, poder de penetración, distribución de las piezas.

2.5.5.1 *Densidad de corriente.* Para incrementar el rendimiento es deseable operar siempre con una densidad de corriente elevada. Hasta cierto límite, cuanto mayor sea ésta, más finos serán los cristales del depósito, puesto que así se generan mayor número de núcleos de cristalización. Sin embargo, pasado el citado límite, que varía con la naturaleza del baño y con la temperatura, se formaran depósitos mates, y finalmente, si la densidad de corriente se incrementa demasiado, se producirán depósitos “quemados” debido al desprendimiento simultáneo de gas.

Al incrementar la densidad de corriente, disminuye la concentración iónica de la película de líquido junto al cátodo y la polarización incrementa. La elevación del potencial catódico a que ello da lugar, permite el desprendimiento de hidrogeno

gaseoso, lo cual nos indicara una densidad de corriente excesiva, excepto en el caso del cromado. Por lo tanto, se debe de operar con una densidad de corriente determinada, para lo que será preciso conocer la superficie del cátodo a recubrir, y disponer en la instalación de un amperímetro, un voltímetro y una resistencia de cada baño.

2.5.5.2 *Agitación.* La agitación de los baños hace más uniforme el electrolito, evitando así que las soluciones densas se estratifiquen sobre el fondo del tanque. La agitación suministra también al cátodo la sal que se va agotando con el paso de la corriente, reduciendo, además, el espesor de la película de líquido adherida a este electrodo.

La consecuencia inmediata de la agitación en la electrolisis es la posibilidad de emplear una mayor densidad de corriente.

La agitación mediante aire se utiliza ordinariamente en la práctica de la galvanotecnia, aunque se ha observado el inconveniente de que levanta los lodos sedimentados en el fondo, que enturbian los baños y da lugar a depósitos rugosos.

Para evitar estos inconvenientes se precisa recubrir con bolsas de tela los ánodos, para recoger en ellas los sedimentos y, a la vez, es conveniente filtrar continuamente el electrolito. Si el baño es cianurado la agitación con aire da lugar a carbonatos y al fin se inutiliza. La agitación disminuye la polarización y por tanto, el poder de penetración del baño.

2.5.5.3 *Temperatura.* La temperatura hace más conductoras las soluciones y permite emplear una densidad de corriente superior a la ordinaria, y ésta es la razón de que, en caliente, se originen depósitos de granos más finos, a pesar de que un aumento de temperatura origina cristales mayores; la densidad de corriente pues, contrarresta el efecto de la temperatura. No obstante, con la temperatura aumenta en general, la disociación de las sales, disminuye la viscosidad de las soluciones y aumenta a la vez la conductividad de la película líquida junto al cátodo. Además, la temperatura permite más fácilmente eliminar los gases en el cátodo disminuyendo su absorción que

produciría depósitos frágiles con tendencia a desquebrajarse como sucede con el hierro, níquel, y cobalto.

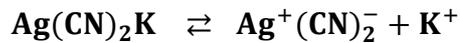
2.5.5.4 *Naturaleza del catión y anión.* En la mayoría de los baños el catión se introduce mediante alguna de sus sales, excepto en los baños de cromo que se utiliza exclusivamente el trióxido de cromo CrO_3 (errónea y comúnmente llamado ácido crómico). Además se añaden las llamadas sales de conducción, que suelen ser cloruros o sulfatos de sodio, potasio o amonio que introducen otros cationes. Pero si solamente influyera la concentración iónica del catión, debían obtenerse idénticos resultados empleando cloruros o sulfatos de un mismo metal, tales como el cobre, níquel o zinc; realmente se encuentran diferencias sensibles en el empleo de baños preparados con las sales mencionadas, que no pueden ser explicadas solamente por sus disociaciones o concentraciones iónicas. Es preciso suponer pues, que el anión tiene alguna influencia en el baño, quizás por adoptar la forma coloide en la película catódica.

2.5.5.5 *Concentración iónica.* Para obtener depósitos finamente cristalinos es preciso trabajar con soluciones de baja concentración iónica, ya que ello da lugar a muchos núcleos de cristalización, y los cristales resultantes serán pequeños; en el caso opuesto, estos podrán crecer más de prisa. La concentración real de un ion determinado es función de un sinnúmero de factores, tales como la concentración molar, el grado de ionización, la temperatura, la presencia de sales con un ion común y la formación de complejo químicos. En la práctica la disminución de la concentración iónica se realiza por alguno de los procedimientos siguientes:

Por la adición de iones comunes. Este procedimiento produce solamente un cambio pequeño en la concentración iónica del metal que se trata, sobre todo si aquella es concentrada, ya que lo limita la solubilidad de la sal añadida; así, por ejemplo, el número de iones de cobre existentes en una solución de CuSO_4 podrá reducirse añadiendo a la solución otro sulfato soluble, tal como el NaSO_4 , de forma que una solución 1.0 N podrá reducirse hasta 0.1 N.

Por la formación de complejos. Si formamos un complejo del ion considerado conseguiremos un mayor efecto; así, por ejemplo, si el ion Ag^+ lo tenemos al estado de

cianuro doble de potasio $\text{Ag}(\text{CN})_2\text{K}$ que es el resultado de unión del cianuro alcalino con el de plata, la ionización del mismo tendrá lugar en dos fases:



Posteriormente el ion complejo se disocia dando iones plata, aunque en cantidad pequeña; así:



La concentración del ion metálico es baja como resultado de la ionización secundaria, pero el ion complejo de la primaria sirve como un proveedor de iones de Ag^+ , que suministra a medida que éstos quedan engarzados en la red cristalina. Los baños formados por cianuros dobles son útiles para la galvanotecnia del cobre, plata, cadmio, zinc y latón. Otros complejos son igualmente utilizados para la preparación de baños: por ejemplo, los baños de níquel amoniacales, en donde el níquel se haya formado por un complejo con el amoniaco; o los citratos que forman igualmente complejos con algunos metales presentes en el baño.

Por la dilución del baño. La reducción de la concentración iónica por dilución del baño no tiene ningún efecto beneficioso, ya que, efectivamente, al diluir el baño se reducen los iones presentes; pero al paso de la corriente la concentración baja en la proximidad del cátodo, por lo que el potencial catódico se elevará demasiado y los depósitos resultantes serán esponjosos o “quemados”.

Al emplear las soluciones se puede observar siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Una conductividad mayor.
- Una densidad de corriente más elevada.
- Una mayor eficiencia del baño.

Desventajas:

- Costo más alto para la preparación de los baños
- La tendencia de cristalización sobre las paredes del tanque y de los electrodos.

- Probable descenso de la eficiencia catódica.

2.5.5.6 *pH*. El pH tiene un efecto muy señalado sobre la naturaleza del depósito, así como sobre el rendimiento de corriente. Algunos metales, como el níquel, zinc y hierro, precisan un pH muy bajo para obtener depósitos finos y, por tanto, brillantes.

Cuando se conoce el margen de pH más conveniente para conseguir en los depósitos un fin determinado, y la medida de este nos indica que es demasiado alto o bajo, es preciso ajustar su valor. Si es muy alto añadiremos ácido y si es bajo añadiremos álcali. Estos deberán de elegirse de manera que no introduzcan ningún cambio sensible en el baño; si este contiene cloruros y sulfatos, los ácidos añadidos serán el HCl y el H₂SO₄; si contiene iones de sodio y potasio los hidróxidos añadidos deberán ser la sosa o la potasa. La cantidad de sosa o de ácido añadidos dependerá del poder amortiguador de la solución.

2.5.5.7 *Poder de penetración*. El poder de penetración se refiere a la propiedad de un baño por la que se consigue una distribución regular del depósito sobre toda la superficie del cátodo. Si se trata de un cátodo de superficie irregular, las partes cercanas de éste se cubren con una capa más gruesa que aquellas más alejadas, debido a que la resistencia óhmica del electrolito intermedio es menor. Se ha demostrado que el poder de penetración es función del modo como varían el potencial catódico y la resistencia del electrolito con la densidad de corriente.

Cuando en un punto del cátodo, que se halla más cerca del ánodo que otros, se reduce un metal, lo hace con mayor intensidad que en los más distantes; esto origina un empobrecimiento de iones en dicho punto que da lugar a una polarización por concentración, lo que tiene el mismo efecto que un aumento de la resistencia óhmica entre el ánodo y los puntos cercanos del cátodo; por dicho motivo la corriente se dirige hacia otros lugares más alejados, manifestándose así el poder de penetración de la solución.

En soluciones con buena conductividad el efecto relativo de la polarización es más acusado y, por tanto, si deseamos un buen poder de penetración, se utilizaran soluciones altamente conductoras. Si tales fenómenos de polarización no apareciesen, los cristales

unitarios formados inicialmente en el cátodo seguirían creciendo en un mismo lugar y los depósitos formados serían arborescentes.

2.5.5.8 Superficies catódicas. En la galvanotecnia, cada baño en particular posee características específicas de trabajo y operación. Dentro de las muchas variables a ajustar (pH, temperatura, etc.) se encuentra la corriente que se regulará en función de la densidad de corriente especificada para cada baño (A/dm^2) y de la superficie de la pieza (dm^2).

La superficie de la pieza a tratar, se calcula asemejando cada sector de la misma a formas geométricas conocidas (cuadrados, triángulos, circunferencias, etc.), y sumando todas sus áreas parciales. Una vez realizado este cálculo, se estará en condiciones de conocer cuál será el valor de la corriente a aplicar.

La regulación adoptada para la operación de los baños electrolíticos es la de variar los voltajes de deposición para así de esta forma obtener variación sobre la corriente circulante a través de la solución, y por ende sobre la densidad de la corriente.

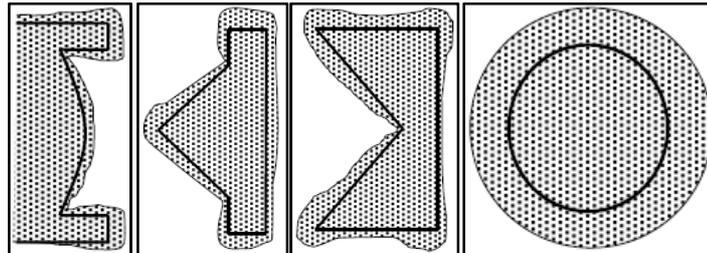
Esto nos lleva a definir la noción de la superficie a tratar o, dicho de otro modo, de la superficie geométrica aparente de electrolisis.

Superficies geométricas reales. En el campo de la galvanotecnia no existe la noción de la superficie geométrica real. De hecho, por ejemplo, si tomamos dos superficies iguales con el mismo aspecto físico (acabado superficial similar) y de formas geométricas diferentes (distinto formato), al ser introducidas como cátodos en un mismo baño, en donde las condiciones de distribución anódica son idénticas para cada una de las piezas, al suministrarle una misma cantidad de corriente a cada una de ellas, el peso del metal depositado deberá ser el mismo en ambas. Sin embargo, no todos los puntos de la superficie electrodepositada tendrán el mismo espesor, el espesor mayor se encontrará en los ángulos o salientes y el mínimo espesor estará situado en las partes planas o cavidades internas.

La corriente que fluye desde el ánodo hacia las superficies prominentes es mayor en éstas que en las partes huecas, es decir, la densidad de corriente por decímetro cuadrado (A/dm^2) es mayor porque la distancia ánodo-cátodo es más corta y por lo tanto tiene menos resistencia eléctrica que en las partes huecas. El reparto de la corriente del baño

es llamado “distribución de corriente”. Esto quiere decir, que las áreas huecas reciben un depósito más delgado que en las partes prominentes. La superficie geométrica que tendrá la menor diferencia de espesor, será la superficie esférica, porque ella no tiene zonas entrantes ni salientes. En las siguientes figuras se muestra el depósito sobre distintos formatos de piezas.

Figura 4. Recubrimiento en distintas formas de las piezas



Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

Observando se comprueba que variando los formatos de los perfiles entre curvos o rectos, también varía la distribución de corriente. Ahora imaginemos dos piezas estrictamente idénticas, una que posee todas sus caras perfectamente pulidas y la otra teniendo sus caras granuladas o arenadas. Las superficies reales de cada pieza, aunque aparentemente iguales, serán absolutamente diferentes, por lo tanto, a la misma cantidad de corriente aplicada, los espesores medios obtenidos serán diferentes.

Superficie catódica aparente. En base a lo anterior, se define la superficie catódica aparente de electrolisis o simplemente superficie de electrolisis de la siguiente manera: “La superficie de electrolisis es la relación entre la cantidad de corriente catódica que recibe una pieza determinada y la densidad de corriente de trabajo”

$$S_e = Q/D \quad (13)$$

Dónde:

D = es la densidad de corriente expresada en A/dm²,

Q = es la corriente circulante para dicha pieza en Amperios.

Por ejemplo, si una pieza determinada cuya corriente circulante es de 8 A, y cuya densidad de corriente de 5 A/dm², la superficie de electrolisis S_e será de 1.6 dm², lo

que nos permite afirmar que sea cual fuere la superficie geométrica de la pieza, la superficie de electrolisis será de 1.6 dm^2 .

2.5.5.9 *Disposición de las piezas en las cubas.* Con el fin de tener un recubrimiento uniformemente distribuido, se debe tener cuidado al colocar las piezas en el baño, buscando la forma más adecuada para tal efecto.

Se ubican las piezas de tal manera que queden dentro del flujo electrogalvánico de los electrodos, bien cubierto por el electrolito y equidistante de los electrodos.

La ubicación de las piezas huecas debe ser tal que en ningún caso puedan retener burbujas de aire o gas en el electrolito.

2.5.6 *Dispositivos y accesorios.* De la correcta selección, manejo, distribución y orden de los diferentes elementos constitutivos de una planta de tratamientos superficiales depende el éxito del desarrollo o recubrimiento de las piezas o metales a tratar, entre los diferentes elementos necesarios para constituir la planta de tratamientos superficiales objeto de estudio y desarrollo del presente trabajo tenemos:

- Lugar de trabajo.
- Tanques para la electrodeposición.
- Calentamiento de las soluciones.
- Ánodos.
- Filtración.
- Agitación.
- Fuentes de corriente continua.
- Secado.

2.5.6.1 *Descripción del lugar de trabajo.* Al proyectar una instalación para procesos de galvanotecnia, debe tenerse en cuenta las distintas operaciones a realizarse, las cuales deben tener un orden correlativo. Ello obliga a disponer de ambientes independientes dentro del taller, para que las distintas operaciones que se realicen no interfieran entre

sí. Por ejemplo, el sector de pulido debe estar totalmente aislado del sector de galvanotecnia, al igual de otros sectores que puedan interferir con este.

Cada una de estas secciones pueden ser perjudiciales en forma recíproca, ya que las emanaciones de los baños atacan corrosivamente a todos los elementos metálicos existentes en un taller, y el polvo generado por las operaciones de pulido, desbaste, lijado, pintado, etc., ensucia y contamina los electrolitos.

Es necesario diseñar correctamente y en forma funcional el lugar de trabajo, teniendo en cuenta las tareas a realizar en él. Es importante tener en cuenta el sistema de ventilación, con aspiración forzada para baños cianurados, y el sistema de neutralización de aguas de enjuague, para así desechar sin problemas los residuos tóxicos o contaminantes.

En relación a los pisos, las características deben ser similar al de las paredes teniendo en cuenta que deben existir cepas colectoras ante una eventual pérdida de líquido tóxico o corrosivo ya sea por la rotura o pinchadura de alguna tina electrolítica o por un simple derrame.

Actualmente los pisos transitables están cubiertos de materiales plásticos no degradables o de rejillas metálicas revestidos con pintura anticorrosiva, de modo tal que el operario que trabaja con los baños este transitando sobre una superficie seca y no se vea expuesto a caídas, ya que el dibujo superficial de estos materiales es conocido como “panal de abeja”, que confiere características antideslizantes, y a su vez, puede escurrir los líquidos sin problema.

El espacio de trabajo disponible para el sector de galvanotecnia, debe ser suficientemente amplio como para poder moverse cómodamente. La ubicación del equipo rectificador, debe ser cercana a los baños electrolíticos, ya que líneas eléctricas demasiado largas, provocaran caídas de tensión que aumentarían los costos del proceso por pérdidas de potencia.

2.5.6.2 *Tanques para la electrodeposición.* El proceso de electrodeposición requiere que los tanques y que el recubrimiento de los tanques sean capaces de:

- Resistir a diferentes concentraciones, el ataque químico de sustancias orgánicas e inorgánicas, oxidantes y no oxidantes y de solventes.
- Resistir en un amplio rango la temperatura de operación.
- Resistir daños físicos que pudieran ser ocasionados al tanque durante el procesamiento de partes pesadas, aleaciones, etc.
- Proporcionar un desempeño ininterrumpido y que sea de fácil mantenimiento.

Los tipos de tanque más usuales son:

- Los de acero al carbón recubierto (forrado).
- Los de concreto recubierto.
- Los de plástico auto soportado.
- Los de acero inoxidable.

Es importante que cuando se utilicen tanques de acero o concreto revestidos, estos cuenten con un buen diseño de ingeniería. El éxito fundamental del revestimiento del tanque es predicho en base al acabado y a la integridad estructural del material base del tanque. Si el material base del tanque no puede mantener la tensión impuesta por el proceso, obviamente el revestimiento fallara. Esto también es aplicable en los tanques de plástico o de aleaciones.

Tanques de acero al carbón. Cuando se construyan tanques de acero al carbón con su subsecuente revestimiento, es importante tomar en cuenta lo siguiente:

- Un mínimo número de piezas y suficientes refuerzos deben ser usados para prevenir que el tanque se pandee cuando esté sometido a la tensión óptima del proceso.
- Se recomiendan refuerzos verticales que horizontales, con esto, las repisas son eliminadas y de esta manera se elimina el potencial de desgaste por el arrastre de líquidos, la concentración de los mismos y la corrosión del recipiente por la parte exterior.
- Las soldaduras que van a recibir revestimiento deben ser continuas y sólidas.
- Todas las esquinas deberán ser reducidas a un radio mínimo de 1/8". Ningún ángulo recto y afilado.

- Todos los refuerzos exteriores deben estar soldados.
- Todas las costuras del cuerpo deben estar extremadamente soldadas, rectas y planas con variaciones en la alineación o en los encuadres menores al 25% del espesor de la placa y en ningún caso mayor a 1/8".
- Todas las salidas deben estar emboquilladas.
- El interior del recipiente debe estar libre de salpicaduras por soldadura, piquetes, rayones profundos y polvos ya sean de tierra, de la misma soldadura o residuos del cepillado o pulido.

Tanques de acero inoxidable. Los tanques de acero inoxidable pueden ser comparados con los tanques de plástico en relación a que ellos son sólidos como el acero, de esta manera se elimina la necesidad de proteger a un exterior de tanque vulnerable ante gases y salpicaduras. Los aceros inoxidables generalmente son clasificados como aleaciones puras de cromo-hierro y aleaciones puras de cromo-hierro-níquel. En la industria de acabados metálicos, las aleaciones de cromo-hierro-níquel, esto es, las series 300 aparecen como las más usuales. Las series 302, 304, 321, y 347 son generalmente consideradas equivalentes en resistencia química.

Las aleaciones inoxidables muestran excelente resistencia a ciertos ácidos oxidantes como el nítrico y el crómico, pero casi no tienen resistencia a los ácidos clorhídrico y fluorhídrico.

Tanques de cemento Portland. Los tanques de concreto de cemento portland son aceptables siempre y cuando cumplan con lo siguiente:

- Suficientemente reforzado para prevenir el agrietamiento y defectos en la estructura que lo lleve al colapso.
- Fuerza de compresión mínima de 3000 PSI después de 28 días.
- Liso, interior de una sola pieza libre de imperfecciones tales como depresiones, crestas, marcas, etc.
- Libre de contaminantes y aditivos.
- Hidrostáticamente compacto e impermeabilizado en su exterior si se localiza abajo del nivel del suelo.

Los tanques de acero inoxidable y los auto-soportados de plástico deben cumplir con estructuras similares establecidas como las que se enumeraron para los tanques de acero al carbón y los de concreto de cemento Portland.

2.5.6.3 Revestimientos. Existe un gran número de materiales disponibles para recubrir y brindar protección a los tanques de concreto y acero. Los tres tipos básicos son:

- Asfálticos aplicados en caliente o a temperatura ambiente.
- Hojas de caucho, plástico o elastómeros.
- Sistemas de ambiente reforzado y no reforzado con curado de resinas sintéticas.

Existen también otro tipo de recubrimientos protectores de capa delgada, y evidentemente, por ausencia en esta lista, no quiere decir que no puedan ser utilizados; sin embargo, es considerado aceptable un espesor de 0.06” para que un material sea calificado como revestimiento de tanque. No obstante, si un recubrimiento de capa delgada para tanques es económicamente aplicado (con costo inicial y de longevidad) para un espesor mínimo de 0.06”, libre de piquete, resistente al proceso químico y temperaturas así como también al maltrato físico, algunas consideraciones deberían ser proporcionadas para su uso. Generalmente hablando, los recubrimientos de capa delgada son usados para la protección contra los gases emitidos y salpicaduras, y no necesariamente para aplicaciones en procesos de total inmersión.

Revestimientos asfálticos. Están generalmente limitados para su aplicación sobre concreto, sin embargo han sido usados exitosamente sobre acero.

Tabla 2. Propiedades físicas de los revestimientos asfálticos

PROPIEDAD	TIPO A	TIPO B
Punto de Ablandamiento	93 – 107°C	121 – 135°C
Cenizas máximo	0.5%	0.5%
Resistencia Química	Muy buena	Muy buena

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

Placas para revestimientos (*plásticas, de gomas naturales y sintéticas*). Son más comúnmente empleadas para revestimientos de tanques de acero, y son raramente utilizadas sobre concreto aunque se han hecho algunas aplicaciones con éxito; sin embargo, el concreto es considerado como un sustrato inaceptable para la fijación y el curado de las placas.

Tabla 3. Propiedades físicas de los revestimientos de placas

TIPO	TEMPERATURA MAXIMA DE RESISTENCIA		RESISTENCIA QUIMICA
	°F	°C	
Goma natural (caucho)			
Suave	150	66	Muy buena
Semi-duro	180	82	Muy buena
Duro	180	82	Muy buena
Neopreno	180	82	Muy buena
Butilo	185	85	Muy buena
Clorobutilo	185	85	Muy buena
Cloruro de polivinilo PVC			
Plastificado	150	66	Excelente
Plastificado rígido	150	66	Excelente
Polietileno clorosulfonado	275	135	Muy buena
fluorocarbonos	450	232	Excelente

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

En relación a los revestimientos de gomas naturales y sintéticas así como también a los de fibra de vidrio, la precaución que se debe tener, es la de aplicar un correcto curado superficial antes de su utilización. Esto se realiza llenando el interior de la tina con una solución diluida del 5 ó 10% de ácido sulfúrico o clorhídrico, y dejándolo reaccionar durante 12 ó 24 horas. Esta acción le produce un curado a nivel superficial, retirándole a la misma, restos de impurezas orgánicas y/o metálicas, que podrían llegar a provocar contaminaciones, especialmente cuando se use con baños de níquel.

Sistemas de revestimientos en resinas sintéticas curadas al ambiente. Este tipo de revestimientos se realizan mediante la aplicación de resinas sintéticas, ya sea por brocha o por aspersión, y son curados a temperatura ambiente. Este tipo de sistemas son completamente apropiados para su aplicación sobre concreto y acero.

También han sido aplicados exitosamente sobre madera, ciertos plásticos y varios sustratos metálicos.

Tabla 4. Propiedades físicas de los revestimientos de resinas sintéticas curadas al ambiente

TIPO	TEMPERATURA MÁXIMA DE RESISTENCIA		RESISTENCIA QUIMICA
	°F	°C	
Furano	125	52	Excelente
Epóxico	160	71	Muy buena
Poliéster	180	82	Muy buena
Ester vinílico	160	71	Muy buena
Uretano	150	65	Buena

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

Tanques de plástico. Existe una multitud de plásticos disponibles para resolver los problemas de la corrosión en la industria de los acabados metálicos. Los más populares son:

- Cloruro de polivinilo, tipo I.
- Polipropileno.
- Polietileno.

Todos estos plásticos han sido usados exitosamente como tanques de proceso y de almacenamiento.

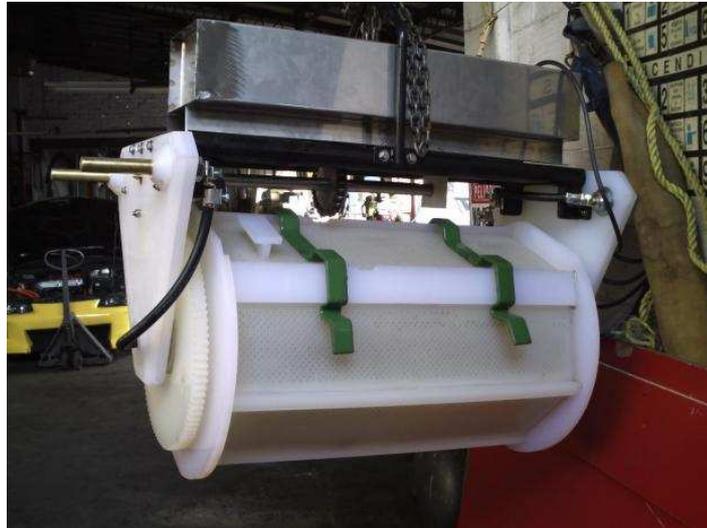
Procesos en barril. Cuando existe la necesidad de procesar piezas de tamaño reducido en grandes cantidades se recurre a este tipo de procesos. El proceso en barril consiste en colocar el lote de piezas dentro de un tambor hexagonal rotativo y llevar a cabo la electrodeposición metálica transfiriendo el tambor de una tina a la otra durante las distintas etapas del proceso. La rotación del tambor es generada por un motor eléctrico, la cual es transferida a la estructura hexagonal mediante un sistema de engranajes.

Tanto el tambor como el sistema de engranajes están diseñados con un material resistente a la corrosión y las temperaturas de operación.

La corriente eléctrica se suministra a través de contactos eléctricos móviles incorporados dentro del tambor, la carga en proceso tiene contacto eléctrico entre sí y esto favorece el empleo de corrientes elevadas ya que existe un buen contacto eléctrico entre las piezas y el cátodo casi en todo momento. El movimiento de rotación del tambor hace que el electrolito se mantenga agitado, mejorando la homogeneidad de

concentración y temperatura en el mismo. Por lo general no es necesario algún sistema adicional de agitación.

Figura 5. Barril para recubrimientos metálicos de piezas a granel



Fuente: (GALVANO, 2013)

Normalmente, en todos los tipos de tambores, los tiempos de depósito resultan mayores debido a que las piezas dentro del tambor no están enfrentadas permanentemente a los ánodos, y por ello, debe prolongarse el proceso para que ello ocurra y se logre uniformidad de depósito y brillo en toda la carga de proceso.

Además se requiere de la aplicación de un voltaje de trabajo mayor que el de los baños convencionales.

La mayor ventaja de los procesos en barril es su muy alta eficiencia. Otras de las muchas ventajas están interrelacionadas. El área de contacto catódico relativamente grande permite obtener rápidamente, grandes volúmenes de producción cuando se suministra una amplia cantidad de corriente. El espacio requerido y la inversión en equipo para una línea de producción en barril son menores que lo que se requiere, tanto para una línea de producción en bastidores (“racks”) como para otro tipo de línea de capacidad similar.

Otra de las ventajas de los sistemas de proceso en barril es la eliminación de mano de obra necesaria en el colgado de las piezas, en el manejo y transferencia de cada pieza de

trabajo o parte de las piezas de trabajo de una operación a otra de manera individual. En el proceso en barril, las piezas permanecen en el mismo recipiente en cada una de las etapas, incluyendo: desengrase por inmersión, desengrase electrolítico, activado, cromatizado o sellado. Todo ello es posible debido a que el equipo para el sistema en barril es en su mayor parte construido con materiales químicamente inertes, capaces de ser usados en varias soluciones acidas o alcalinas.

Procesos en colgado. Este tipo de proceso utiliza ganchos, gancheras, canastos y bastidores (conocidos comúnmente como “racks”) que se utilizan con frecuencia para sujetar y mantener las piezas dentro del electrolito. Existen diferencias de diseño y construcción las cuales deberán ajustarse al formato y tamaño de las piezas, y a la producción que se deba obtener de ellas.

Figura 6. Ganchera procesos en colgado



Fuente: (GALVANO, 2013)

La parte más importante en el diseño de un “rack” es la determinación de las dimensiones apropiadas, asegurándose de que cada “rack” se ajuste, con las piezas montadas, dentro del tanque de proceso más pequeño de la línea de producción. Las consideraciones a tomar en cuenta son las siguientes:

- Dimensión A. La longitud global.
- Dimensión B. La distancia del gancho del “rack” a la ubicación de la primera pieza.

- Dimensión C. El ancho.
- Dimensión E. Esto es únicamente para “racks” de doble gancho donde se requiere estabilidad adicional o donde el peso es un factor a tomar en cuenta.

El espinazo del “rack” es prácticamente la columna vertebral del bastidor y debe ser capaz de llevar la corriente necesaria a cada punta donde se sujetan las piezas, además debe tener la fuerza adecuada para soportar todas las partes sujetas a él.

El baño electrolítico donde va a ser usado el “rack” tiene un valor como condición de operación conocido en A/dm². Multiplicando este valor por el área en dm² de las partes montadas en el rack se determina la cantidad de corriente que el gancho y las puntas deben transportar.

Generalmente las puntas de “rack” más sencillas son fabricadas con cobre de ¼”x¾”, o ¼” x 1” que llevarán de 200 a 250 amperios.

El cobre es el material comúnmente utilizado debido a su alta conductividad en relación a su costo. Algunas veces los ganchos del “rack” son fabricados en cobre y las puntas fabricadas en acero, acero inoxidable, latón o aluminio. Aun así, el factor principal es la conductividad. El acero, acero inoxidable, latón o aluminio tienen menos conductividad que el cobre.

- En cuanto al diseño de las puntas, se deben de tomar en cuenta algunos objetivos prácticos:
 - Que sea fácilmente montar y desmontar las piezas.
 - Que la corriente fluya adecuadamente a hacia las piezas (buen contacto).
 - Que el diseño de la punta permita sujetar las piezas en áreas no críticas.
 - Que el tipo de punta sea para piezas colgadas por gravedad o por sujeción con tensión de acuerdo a las piezas a procesar.
 - El tipo de material de construcción.

Existen cuatro diseños básicos en la construcción de “racks”:

- Espinazo sencillo.
- Tipo “T”.

- Tipo caja.
- Espinazo múltiple.

Los “racks” se recubren con una pintura aislante y resistente a los productos químicos utilizados en las soluciones electrolíticas para evitar la disolución del metal en los baños de proceso, únicamente las puntas de contacto son las partes no aisladas del “rack”.

Los “racks” suelen acumular metal sobre las puntas de contacto, por lo que es necesario en forma periódica, realizar operaciones de desplaque electrolítico para eliminar dicha placa metálica acumulada.

2.5.6.4 *Calentamiento de las soluciones.* El control de la temperatura en las soluciones de proceso es esencial en la industria de los recubrimientos metálicos. Por consiguiente, el equipo que calienta la solución electrolítica es una pieza crítica del equipo.

La temperatura de la solución afecta muchos factores del proceso de deposición, estos incluyen la velocidad de depósito, la activación y descomposición de químicos delicados, la resistencia a la corrosión del equipo y la habilidad del depósito de adherirse a la superficie. Todavía aun cuando otras variables del proceso, tales como el contenido químico y concentración de la solución, la preparación del metal base, la corriente eléctrica y voltaje están bajo control, la consistencia en la temperatura de la solución todavía debe mantenerse para la obtención de mejores resultados.

Antiguamente, la mayoría de las tinas eran calentadas por quemadores de querosene o gas, mediante un sistema de baño maría. Estos sistemas tenían una gran inercia térmica.

Esto quiere decir que se demoraban mucho en llevar a los electrolitos a la temperatura de trabajo, pero también, una vez alcanzada la misma, demoraba mucho en enfriarse.

Con ellos no se obtenía mucha precisión con respecto a la temperatura de trabajo, ya que el agua del baño maría debía estar hirviendo para llevar a cabo la transferencia de calor al líquido alojado en la tina de proceso.

Los detalles en cuanto al estilo del calentador, tamaño y tipo de material deben ser seleccionados desde el inicio. Las decisiones correctas desde el inicio aseguraran mayor aprovechamiento y operaciones efectivas del proceso.

La calefacción eléctrica, es el sistema que ha sido ampliamente adoptado como método más práctico aun sin ser el más económico.

La instalación eléctrica debe ser sobredimensionada en función del consumo eléctrico del rectificador y de los calentadores de inmersión eléctricos.

La gran ventaja de este tipo de sistemas es la precisión en alcanzar la temperatura predeterminada, con un margen de tolerancia muy reducido del orden de los +/- 3°C, mediante un simple sistema termostático mecánico o electrónico.

Los calefactores eléctricos son resistencias eléctricas, construidas en vainas metálicas con materiales específicos para cada tipo de solución electrolítica. Su uso se ha generalizado por su fácil montaje en cualquier zona de la tina de proceso, así como también por su relación de costo-beneficio relativamente baja.

Una vez que se definen los calefactores eléctricos como equipo de calentamiento, se deben elegir los materiales para su construcción. Algunas de las opciones de hoy en día se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5. Materiales para calefactores eléctricos

El orden se encuentra de menor a mayor según el costo de materiales.
Acero.
Acero inoxidable.
Titanio.
Grafito.
Niobio.
Tantalio.
Zirconio.
Aleaciones de Níquel.
Plásticos fluoruro de polivinilideno (PVDF) y tetrafluoroetileno (TFE)

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

La selección del material depende de la búsqueda de la combinación entre economía y desempeño. El costo de equipo original debe ser equilibrado contra la expectativa de vida del equipo y su costo de mantenimiento. Debido a que la corrosión es un hecho cotidiano en la industria de la galvanotecnia, se debe evitar el uso de intercambiadores de acero templado, excepto para procesos de tiempo corto determinado. En cambio, en la mayoría de los sistemas donde las soluciones y la atmosfera corrosiva no son significativas, el acero inoxidable 316 proporciona protección adicional a un módicoprecio. En aplicaciones con soluciones y atmosferas altamente corrosivas, la selección del material se vuelve más importante. Algunas elecciones son fáciles:

- Acero inoxidable para materiales cáusticos.
- Titanio para procesos de niquelado.
- Niobio para baños de cromo.

Los calentadores plásticos pueden resolver algunos de los problemas de corrosión más difíciles. Aunque realmente son resistentes a la corrosión, también están entre los más caros, debido a su ineficacia relativa cuando son comparados a los calentadores de metal. Las unidades plásticas pueden llegar a ser de dos a cuatro veces más grandes como aquellas de metal para proporcionar un área de transferencia de calor comparable y suficiente. Esto significa el uso y reducción de espacio para el montaje en el interior del tanque.

2.5.6.5 *Ánodos: tipos y características.* En todos los baños electrolíticos para la deposición metálica se deben utilizar ánodos los cuales pueden ser, según la aplicación, ánodos solubles, ánodos insolubles inertes o ánodos insolubles catalizables.

En la gran mayoría de los baños el metal depositado proviene de ánodos solubles que aportan a la solución el material necesario para que las sales disociadas en la misma se vuelvan a formar luego de haberse adherido sobre el cátodo sus iones metálicos.

En el caso de los ánodos insolubles, estos cumplen la función de cerrar el circuito eléctrico a través de la solución con el cátodo, pero al no disolverse, no aportan metal al electrolito, provocando una merma de dicho contenido en el baño a medida que se incrementa el espesor del depósito. Esto genera, además, problemas adicionales respecto a la concentración y degradación de sales que el mismo contenga. Los ánodos

insolubles son el único recurso para que se puedan llevar adelante determinados procesos electrolíticos.

Referente a los ánodos insolubles catalizables el ejemplo más representativo es el del baño de cromo, en donde no existe otro recurso posible para que el depósito se concrete, ya que en ellos, el ánodo insoluble actúa como catalizante del cromo trivalente convirtiéndolo en hexavalente.

El material del ánodo debe estar libre de cualquier impureza ya puede dar origen a una contaminación en el baño electrolítico, la co-deposición sobre el cátodo, la reacción con los constituyentes de la solución o la formación de un lodo insoluble en la superficie del ánodo. Además el material anódico debe estar en una condición metalúrgica apropiada para que este se disuelva uniformemente. Los ánodos pueden ser en forma plana u ovalada y de longitud considerable suspendidos de ganchos, o de pequeñas piezas de metal contenidas en una canastilla.

En los baños electrolíticos los ánodos deben estar recubiertos con fundas de tela resistente a los distintos productos químicos utilizados en la galvanotecnia. El motivo principal es evitar en la solución las partículas metálicas en suspensión provenientes de la corrosión anódica. De esta manera los sólidos quedan retenidos en las fundas sin causar perjuicios a la solución y por consiguiente a los depósitos.

En casos muy específicos es necesario recurrir al uso de ánodos auxiliares, los cuales son muy útiles para realizar recubrimientos electrolíticos en interiores y para la obtención de una buena distribución del depósito ya que este tipo de ánodos modifican las características de penetración del baño utilizado.

Es común el empleo de canastillas de titanio, de contenedores de acero al carbono o de acero inoxidable para contener la carga anódica. El titanio resulta costoso inicialmente, pero con el paso del tiempo se mantiene sin alteraciones ya que es inatacable con los electrolitos convencionales lo que lo hace una opción redituable.

La principal ventaja de trabajar con canastos de titanio es el total aprovechamiento de los ánodos, ya que se pueden explotar la totalidad de los recortes y sobrantes de los ánodos de barras o de planchas originales.

Otra ventaja es la de poder alimentar las canastillas con ánodos de corona sin la necesidad de utilizar placas, aumentando de esta manera la superficie anódica efectiva de manera considerable.

En lo que respecta a las canastillas de acero, se utilizan normalmente para contener esferas (zinc, cadmio, estaño, etc.). Este tipo de canastillas se degradan con el paso del tiempo y a la larga el producto de la descomposición se incorpora a la solución resultando perjudicial.

2.5.6.6 Filtración. La filtración es la remoción de sólidos en suspensión, incluyendo partículas muy pequeñas y coloides de los baños electrolíticos. Estos sólidos pueden haber sido arrastrados a, haber caído en, o haber sido formados en el baño o haber sido agregados deliberadamente (tratamiento con carbón). La filtración se lleva a cabo pasando la solución a través de una barrera porosa que retiene los sólidos en suspensión y permite que pase la solución limpia.

La filtración se usaba únicamente para clarificar las soluciones en oposición a la recuperación de productos. Sin embargo actualmente, como resultado del aumento de los costos de los productos y de las leyes estrictas sobre el control de la contaminación o impacto ambiental, se ha desarrollado la necesidad de recuperar los productos químicos de los enjuagues y líquidos de proceso.

Los siguientes son los tres mayores contaminantes que se remueven de las soluciones en la industria de los procesos de acabado de metales:

Precipitados. Estos se pueden haber formado deliberadamente para efectuar una purificación del baño (por ejemplo tratamiento a pH alto de los baños de níquel), pueden suceder por descomposición de abrillantadores o humectantes, pueden ser el resultado del uso de agua de mala calidad (agua dura), pueden ser formaciones de sales metálicas en el baño, se pueden encontrar después de la recuperación de metales valiosos de los enjuagues o soluciones de decapado, o pueden ser el resultado de descomposición espontánea.

Partículas de suciedad. Estas pueden entrar a los tanques desde la atmósfera, ser arrastrados por las piezas, caer de los ánodos o provenir de los recubrimientos de los ganchos o los tanques.

Sólidos adsorbentes. Estos pueden ser celulósicos, arcillas, auxiliares filtrantes carbonosos o de plata o adsorbentes agregados a la solución para eliminar impurezas o ayudar en el proceso de filtración.

Los siguientes son los factores que determinan el grado de filtración necesario en los procesos de galvanotecnia:

Tipo de solución. Los baños quietos requieren de menor filtración que los baños con agitación. Los baños con baja eficiencia como los de cromo toleran un grado mayor de partículas sólidas. Los baños de alta eficiencia requieren de filtración continua.

Forma de las piezas. Piezas irregulares con zonas en forma de cuchara necesitan de una mejor filtración que piezas planas.

Especificaciones. En muchos casos las soluciones de metalizado selectivo son filtradas justo antes de contactar a las piezas. Las prácticas actuales permiten la remoción de partículas de 1-30 micrones.

La filtración efectuada en la electrodeposición puede ser continua, intermitente o por lote.

La filtración continua se lleva a cabo bombeando una parte de la solución a través del filtro mientras se usa el baño (a veces también cuando no está en uso). Esto mantiene a la solución en buena condición para obtener depósitos sin poros. Cada operador debe determinar el grado de renovaciones para la línea de producción y de acuerdo a las especificaciones del producto. Generalmente no es mayor de una por hora, pero puede ser de 2-5 veces por hora. Algunas veces la solución es filtrada hasta retener partículas de un micrón o menos.

La filtración intermitente se efectúa conectando el filtro según las necesidades. Esto significa que es comparable a la filtración continua pero las bombas son encendidas solo cuando hay problemas.

La filtración por lote se hace bombeando la solución a un tanque separado, y luego transfiriéndola de nuevo al tanque de trabajo. Esto asegura que cada litro de baño ha sido filtrado. Muchas de las soluciones de trabajo recién preparadas deben ser filtradas por lote antes de ser usadas. Generalmente se excluye a las soluciones de metales preciosos, aunque la matriz de la solución en si misma puede necesitar un tratamiento con carbón y una filtración previa al uso.

La filtración por lote puede ser hecha luego de un tratamiento de purificación de un baño viejo, incluyendo tratamientos con carbón a alto pH para el níquel, en cuyo caso el baño es pasado a un tanque auxiliar y tratado allí.

La filtración por lote también está indicada luego de la adición de productos químicos que puedan llevar a la formación de partículas. Actualmente esto no debería ocurrir. Un grado apropiado de pureza de los productos y una buena calidad de agua deberían ser normales.

Un arrastre inusual de sólidos puede hacer necesaria una filtración. Esto sigue sucediendo, pero no debería ser común. Es usual mantener un buen medio ambiente y una línea limpia para evitar que entren sólidos al tanque. Debido a esto, la filtración continua es ahora una práctica común.

Los elementos filtrantes disponibles son membranas porosas usadas para eliminar sólidos finos, con o sin tortas filtrantes, de la solución. Los distintos tipos de elementos filtrantes incluyen: telas naturales y sintéticas; papel de diversas porosidades, redes de alambre o tela y tubos que consisten de un material textil sobre un soporte apropiado de acero inoxidable o plástico. Estos filtros pueden ser usados o no con un filtrante auxiliar. Los filtrantes auxiliares son materiales sólidos usados para formar una capa permeable incompresible sobre el elemento filtrante, a partir de una dispersión de los mismos. Los auxiliares filtrantes pueden ser tierras diatomeas, arcillas u orgánicos (celulósicos).

Los dos tipos básicos de filtros usados en la electrodeposición son los de presión y los de vacío.

Los filtros a presión son los más comúnmente usados en galvanotecnia. Funcionan forzando a pasar, por medio de presión, la solución contaminada a través de una torta de filtrante auxiliar sobre el elemento filtrante o directamente por un elemento filtrante que

no requiere de un auxiliar filtrante. Para lograrlo, la salida de la bomba está conectada a la entrada a la entrada del filtro. Los filtros a presión pueden ser de hojas horizontales o verticales, platos horizontales, o tipo prensa de discos o placas.

Los componentes básicos de un sistema de filtrado a presión son los siguientes:

El recipiente del filtro. Hecho de materiales resistentes a la corrosión, como acero inoxidable, acero revestido de goma, o plástico (PVC, CPVC, polipropileno, PVDF, o fibra de vidrio) para contener tanto los elementos filtrantes como la solución.

Tanque auxiliar. Hecho de material resistente a la corrosión. Se usa para mezclar los auxiliares filtrantes o los agregados de productos químicos al baño antes de recubrir el filtro.

Bombas. Resistentes a la corrosión. Transfieren el líquido a ser filtrado. Las bombas centrífugas son las usadas más comúnmente con los filtros en las soluciones de galvanotecnia.

Válvulas, indicadores de presión, cañerías y conexiones. Regulan, monitorean y dirigen el flujo del baño a través del filtro y de regreso al tanque de trabajo.

Los filtros al vacío son usados para recuperar grandes cantidades de sólidos de lodos espesos, como en la recuperación de metales valiosos en los enjuagues. El filtro funciona llevando la solución a través de un elemento filtrante permeable a una cámara de vacío. El tipo más usual de filtro al vacío es el de tambor rotativo continuo, del cual se puede remover una torta continua de sólidos con una hoja rascadora.

Las bombas son muy importantes para la operación de un sistema filtrante.

Deberían considerarse como una pieza separada del equipo y se deberían discutir largamente con el proveedor del equipo filtrante. La razón es que a través de los años las bombas han sido una fuente de problemas. Un muy buen sistema filtrante puede funcionar mal si se emplea una bomba equivocada. Una bomba apropiada y un mal filtro también pueden causar problemas. Así que se tiene que discutir ambos puntos con el representante de un proveedor con experiencia en equipos de filtración para electrodeposición.

2.5.6.7 *Agitación.* Generalmente no se puede describir el grado de agitación que una solución electrolítica requiere de manera absoluta, más bien, el grado de agitación de una solución o es adecuado o es inadecuado. Pero adecuado solo puede ser interpretado de acuerdo a las necesidades del proceso.

Lo que se busca en un sistema de agitación es que el tanque de proceso asegure la uniformidad general de la solución y que a su vez provea la suficiente turbulencia para prevenir el agotamiento excesivo de los iones o la acumulación de gas en las superficies anódica y catódica.

Una complicación con los sistemas de agitación es que se introducen nuevos factores al proceso lo que acarrea nuevos problemas.

Los sistemas de agitación por aire se pueden convertir en efectivos sistemas de remoción que aumentan la concentración de basura aerotransportada colectada por el soplador. Esto causará aspereza en las piezas por la agitación de los lodos en el fondo y oxidará la solución, lo que a menudo demostrará su deterioro.

La agitación desarrollada por movimiento catódico puede causar interrupciones en la corriente eléctrica y consecuentemente un depósito laminar; en casos extremos, puede causar el desplazamiento de los “racks” de su posición original.

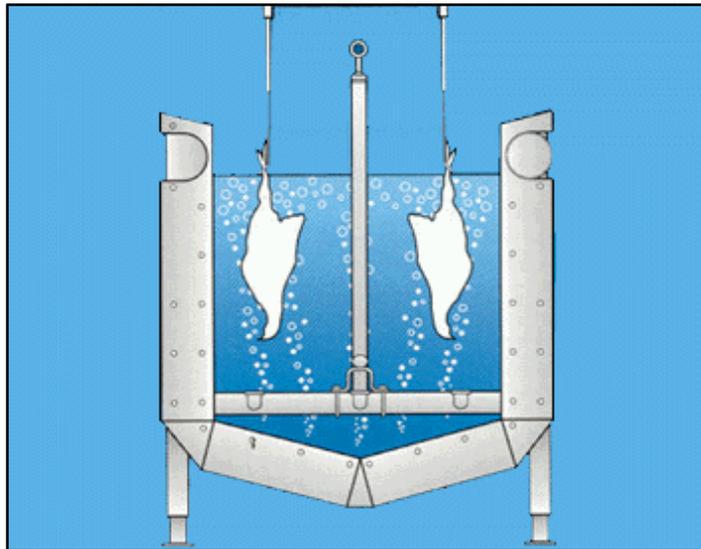
Existen innumerables formas “casuales” de agitación: remoción manual, perturbaciones por la rotación del barril, movimiento por el ritmo de trabajo dentro del tanque, el movimiento resultante debido a la filtración de la solución, etc., pero en términos de sistemas prácticos de ingeniería, la selección puede ser restringida a lo siguiente:

- Agitación por aire.
- Agitación por movimiento catódico.
- Propulsores mezcladores.
- Bombas de circulación.

Los sistemas de agitación son indispensables en todas las empresas dedicadas a la galvanotecnia e invariablemente afectan al proceso de uno u otro modo, de tal manera que deben ser empleados con cuidado durante la aplicación.

La siguiente figura muestra un ejemplo de sistema de agitación por aire.

Figura 7. Corte de un sistemas de agitación para soluciones electrolíticas



Fuente: (STORK)

2.5.6.8 Fuentes de corriente continua. Se denomina comúnmente rectificador a la fuente de corriente continua encargada de proveer la energía eléctrica necesaria para realizar los diversos procesos galvánicos. Existen diferentes tipos los cuales deberán ser estudiados en virtud de encontrar lo más conveniente para el proceso a realizar.

Los equipos rectificadores están constituidos básicamente por un transformador y un puente rectificador. El transformador cumple la función de separar la línea de entrada de la salida de baja tensión. El puente rectificador, convierte la corriente alterna en corriente continua. Dependiendo del tipo de puente rectificador, la corriente continua será de mayor o menor calidad. La variación que pueda quedar sobre la corriente continua así obtenida se denomina "ripple". A mayor valor de "ripple", la calidad de corriente continua es baja. Para determinados electrolitos tales como el cromo, se deben reducir estas variaciones al mínimo posible.

2.5.6.9 Secado. El secado es el proceso final de la línea, el último paso antes de un chequeo rápido de inspección y su posterior envío al cliente. La calidad del secado resulta crítica.

Las superficies no solo tienen mejor aspecto estando perfectamente limpias y libres de manchas, sino que ello puede ser vital al funcionamiento exitoso del componente. La mayoría de los artículos se secan mediante el uso de aire caliente a 70 – 120 °C o

mediante la aplicación de solventes orgánicos. Los secadores de aire caliente son lentos y tiene una tendencia a dejar gotas en los bordes y esquinas, y por lo general, resultan deficientes al secar áreas inaccesibles como agujeros ciegos.

Usualmente, en plantas de alta producción las piezas se secan con aire caliente mejorándolo mediante la utilización de sistemas centrífugos. Este sistema resulta versátil preferentemente para piezas de tamaño pequeño a mediano. Aun así, en algunos casos quedan restos de humedad en pequeñas cavidades o sectores.

Un sistema que está cayendo en desuso debido a su restricción por cuestiones ecológicas consiste en la utilización de solvente volátiles para desplazar y evaporar el agua a nivel superficial.

Un desarrollo reciente es el secado por pulsos de aire y es considerada una alternativa con bajos costos y alta eficiencia. Teóricamente el sistema se basa en el uso de pulsos de aire intenso y rápido para quitar el volumen de la película de agua superficial, quedando solo una capa delgada de adsorción que se evaporará rápidamente incluso a temperaturas relativamente bajas.

2.6 Procesos de preparación de superficies

Uno de los factores de gran importancia antes de realizar los procesos de electrodeposición es la limpieza del metal base a recubrir, es importante ya que depende de este paso la calidad de adherencia o electrodeposición del recubrimiento dando así características óptimas de trabajo a la pieza ya tratada; consiste en retirar o limpiar todo tipo de impurezas ajenas al metal como son óxidos, sucio, grasas, metales contaminantes o trozos de soldas que interfieren en el proceso dañando y contaminando tanto sales y más factores que intervienen en el proceso.

2.6.1 *Preparación mecánica de superficies.* El acondicionamiento de las superficies a recubrir es un requisito indispensable dentro de la industria de la galvanotecnia.

La buena preparación superficial de las partes metálicas es esencial para la producción de recubrimientos de alta calidad. La preparación de superficies usualmente involucra

una combinación de métodos para producir superficies que cumplan con la apariencia y estén libres de suciedad.

Los métodos de acabado mecánico de superficies incluyen:

- Choque abrasivo.
- Acabado en barril y vibratorio.
- Cepillado y acabado manual.
- Esmerilado y pulido.

Uno o más de los métodos anteriores pueden ser utilizados para remover óxido, incrustaciones, arena del molde, residuos de las operaciones de soldadura, pintura y lacas. Algunos de estos métodos son particularmente adecuados para la limpieza de áreas con soldadura o para limpiar áreas que ya fueron procesadas y que están defectuosas, de manera que puedan ser reprocesadas.

Los métodos de acabado mecánico son los más convenientemente usados como el primer paso para preparación de superficies. En algunas aplicaciones, las piezas pueden ser procesadas y posteriormente sometidas al acabado mecánico para la modificación de su aspecto.

Las piezas que no son recubiertas después del acabado mecánico pueden empezar a oxidarse rápidamente debido a que la superficie se vuelve muy reactiva. En tal caso, se deberá utilizar una solución inhibidora de la oxidación inmediatamente después del acabado mecánico, lo cual ofrecerá protección en contra de la oxidación por varios días si las piezas están almacenadas en un ambiente seco.

Si se requiere de periodos muy largos de almacenamiento o las áreas de almacenamiento son bastante húmedas o corrosivas se deben de tomar otro tipo de consideraciones con tal de que se alargue el plazo de protección contra la corrosión de las piezas acabadas. La protección con una capa de aceite soluble al agua puede ser adecuada.

Choque abrasivo. La limpieza por choque abrasivo involucra la dirección poderosa de partículas abrasivas en contra de la superficie de trabajo. Los abrasivos pueden incluir arenisca metálica angular, esferas metálicas y arena. El choque de las partículas abrasivas desprende una capa generalmente de óxidos y proporciona a la superficie un

acabado de finos piquetes que solo sirve cuando se desean recubrimientos de aspecto mate que no es recomendable si se necesitan depósitos pulidos y brillantes.

Dos métodos básicos son usados en la limpieza en seco por choque abrasivo:

- Choque mecánico. En el cual el abrasivo es propulsado por medio de una poderosa rueda delgada que gira rápidamente.
- Choque por aire. En el cual el abrasivo es propulsado a través de una boquilla por aire comprimido.

La limpieza en seco por choque abrasivo se lleva a cabo en su mayoría usando cabinas especiales. Estas cabinas alojan el mecanismo de propulsión del abrasivo, sostienen las piezas en posición, y confinan las partículas abrasivas que se encuentran suspendidas en el aire después del proceso.

Una de las principales preocupaciones referente al uso de arena sílice para la limpieza por choque es el riesgo de enfermar de silicosis, una enfermedad pulmonar que resulta de la prolongada respiración de finas partículas cristalinas de sílice. El uso de arena abrasiva con un bajo contenido de sílice libre reduce este problema.

Acabado en barril y vibratorio. El acabado en barril es una operación de acabado en masa para mejorar la superficie de un gran número de piezas mediante la rotación de dichas piezas con un medio abrasivo en contenedores rotatorios llamados barriles. En este proceso se puede llenar una tercera parte o más del volumen del barril. Las dimensiones límite de las piezas que pueden ser procesadas están determinadas por las dimensiones del barril. Durante la rotación las piezas deben permanecer cubiertas por el medio abrasivo. La velocidad máxima de rotación usada es importante debido a que las fuerzas centrifugas inhiben el desplazamiento de las piezas y el subsecuente rozamiento con el medio abrasivo. Una pieza muy grande también puede ser procesada en barril si esta se ajusta a las dimensiones en el interior y puede ser completamente cubierta con el medio abrasivo. En este caso, la acción es llevada a cabo principalmente por el movimiento del medio abrasivo en lugar del movimiento de la pieza. Normalmente las partes sumamente pesadas se atan para mantenerlas fijas y así no dañar al barril.

El acabado vibratorio es otro tipo de operación de acabado en masa. Las maquinas vibratorias imparten un movimiento oscilatorio a las piezas y al medio abrasivo. Este

movimiento produce una constante acción de rozamiento o fricción. Las máquinas vibradoras pueden, por consiguiente, lograr acabados fácilmente en áreas difíciles de alcanzar. Las máquinas vibradoras, en forma de tina o barril, pueden ser cargadas en un 90% de su capacidad. Usualmente este tipo de proceso es completado en menos tiempo que los procesos en barril.

A lo largo del proceso, compuestos tales como jabones, detergentes sintéticos y limpiadores ácidos o alcalinos son usados con agua y el medio abrasivo ya sea para acabados en barril o en máquina vibratoria. Los medios abrasivos incluyen una amplia variedad de materiales y formas que son empleados para:

- Separar las piezas y de esta manera prevenirlas de daños ocasionados por impactos entre ellas.
- Proporcionar la acción abrasiva.
- Propiciar el movimiento rotatorio característico de las piezas en el caso de acabados en barril.

El acabado en seco en barril es usado para piezas de fundición con la finalidad remover rebabas, arenas y otros materiales producto del moldeo. Las piezas forjadas son tratadas de esta manera para descascarar las escamas de óxido formadas durante el proceso de forja. El medio para el acabado en seco es usualmente hecho de acero.

Cepillado y acabado manual. Los cepillos rotatorios impulsados por energía eléctrica pueden ser usados a varias velocidades ya sea para operaciones de limpieza de superficies en seco o en humedad. Los cepillos rotatorios (discos) pueden obtenerse en cerdas de alambre o fibras no metálicas y están disponibles en diversas dimensiones y densidades. El acabado mecánico también puede incluir operaciones manuales con cepillos de alambre, lijas, limas, etc. Por cuestiones económicas, usualmente las áreas muy pequeñas son limpiadas mediante operaciones manuales.

Esmerilado y pulido. El esmerilado es una operación de desgaste la cual puede ser realizada ya sea con banda o rueda giratoria, ambos impulsados por energía eléctrica, las cuales están recubiertas de un abrasivo previamente depositado. Puesto que el esmerilado usualmente produce una superficie rugosa, es necesario complementar el acabado con una operación de pulido si la apariencia final de la superficie es importante en cuanto al brillo y la nivelación de la pieza.

Preparación química de superficies - Limpieza del metal. En la preparación del metal para el acabado final, la más importante consideración hasta ahora es el proceso de limpieza. Esto es simple ya que la apariencia y la aceptación del acabado dependen principalmente de una firme constitución del depósito la cual se logra sobre un sustrato limpio y activo. Considerando que un ciclo de limpieza propiamente diseñado nos llevará a la obtención de acabados de calidad, de la misma manera, un inapropiado ciclo de limpieza nos conducirá al rechazo de productos y a la subsecuente disminución de ganancias.

Factores que afectan la preparación de la superficie metálica. Existen diversos factores que afectan la preparación de la superficie metálica y que deben ser tomados en consideración:

El tipo de acabado final. El grado de limpieza necesario varía dependiendo del tipo de proceso que va a ser llevado a cabo. Las operaciones de fosfatizado, cromatizado o electro pulido no requieren un alto grado de limpieza en comparación con el que se necesita para las operaciones de niquelado o latonado, entre otras.

El metal base. La composición y las propiedades físicas y químicas del metal base influyen en la selección del procedimiento de limpieza. La dureza, la porosidad, el coeficiente térmico de expansión, la conductividad, el punto de fusión, el calor específico y el efecto del hidrogeno en el metal son consideraciones que se deben tomar en cuenta cuidadosamente. Las condiciones del metal base son igualmente importantes.

Por ejemplo, una pieza de metal sometida a tratamiento térmico o a trabajos de soldadura que generan escamas de óxido requieren mucho más trabajo de proceso, o los aceros a alto carbono requieren un diferente proceso de limpieza que los aceros a bajo carbono. El medio de limpieza debe ser diseñado para que sea compatible con el metal que va a ser procesado.

La suciedad. La suciedad puede ser ampliamente definida como cualquier sustancia sobre la superficie del metal que impedirá que se lleve a cabo el proceso de la deposición metálica. Generalmente hablando, los tipos de suciedad pueden ser clasificados en dos amplias categorías orgánicas e inorgánicas.

Orgánicas:

- Saponificables - aceites animales y vegetales.

- No saponificables - aceites minerales y ceras.
- Misceláneos - contaminantes cualquiera formados in situ (jabones metálicos formados en las operaciones de pulido), o inhibidores de ciertos activadores ácidos que se re depositan sobre el metal.

Inorgánicas:

- Costras y manchas - óxidos y residuos metálicos.
- Compuestos del pulido - residuos de pulido, esmerilado y de abrasivos o arenisca.
- Misceláneos - polvo del taller y soldadura fundida.

Estas son únicamente algunas de las suciedades encontradas. Algunos otros tipos de suciedades son las pinturas, los residuos de limpieza (tales como emulsiones de agua en aceite, huellas digitales), recubrimientos inorgánicos (tales como fosfatos y cromatos), y anticorrosivos.

Agua. El agua es el principal recurso para llevar a cabo los procesos y por lo tanto debe ser la adecuada para tal fin. El agua con una elevada dureza definitivamente representa un problema y debe ser tratada para que las operaciones de limpieza sean satisfactorias.

Algunos humectantes o agentes de superficie activa son desactivados por la formación de productos insolubles de calcio y magnesio, por esta razón, se debe considerar un tratamiento adecuado con deionizadores.

Limpieza. El proceso de limpieza puede ser generalmente dividido en tres distintos tipos: Inmersión, aspersion y electrolítico. El propósito de la limpieza por inmersión y por aspersion es remover la mayor parte de la suciedad o toda la suciedad antes de la limpieza electrolítica, fosfatizado o cromatizado. En algunos casos la limpieza por aspersion también puede ser un proceso de activación. La limpieza por inmersión y por aspersion pueden usarse individualmente o en conjunto uno y otro. De hecho, existe un número de operaciones de limpieza que su éxito final depende de la combinación de la limpieza por inmersión y por aspersion.

El medio de limpieza utilizado depende de varios factores, tales como el metal base, el agua, el equipo existente y el espacio disponible para equipo adicional. En todos los sistemas de limpieza es deseable la limpieza mediante fricción o acción mecánica para incrementar la eficiencia de la remoción de suciedades. Esta acción puede ser sustituida

por el movimiento de las piezas en la solución y/o por la agitación del agente de limpieza. La limpieza en barril utiliza el movimiento rotatorio del mismo para llevar a cabo la fricción entre las partes.

Un limpiador por inmersión o por aspersion cae dentro de una de las siguientes clasificaciones, con excepción de la emulsión de agua en aceite ya que está restringida únicamente a operaciones por inmersión.

- Tipo solvente.
- Solvente emulsionable.
- Emulsión (agua en aceite y aceite en agua).
- Difase.
- Ácido.
- Detergente.
- Limpieza alcalina de alto desempeño.

Limpieza con solventes. Las operaciones de limpieza hechas por inmersión, manual o por aspersion utilizan petróleo o solventes clorados y funcionan disolviendo toda o una parte de la suciedad. La disolución de los componentes solubles de algún tipo de suciedad, tales como los compuestos de pulido contenidos en los abrasivos, pueden dejar residuos inertes los cuales son extremadamente difíciles de remover en la limpieza final. El secado rápido de los solventes puede agravar este problema. Por tal razón, los solventes de secado lento son algunas veces utilizados para mitigar y condicionar la suciedad para su remoción en la subsecuente limpieza alcalina.

Los solventes clorados se utilizan normalmente en unidades desengrasantes al vapor debido a la alta densidad de sus vapores. Si el solvente es utilizado caliente la limpieza es realizada por inmersión, aspersion y/o condensación del vapor sobre la pieza. A menudo, el equipo emplea la inmersión para humectar y disolver la mayor parte de la suciedad, seguido por un enjuague con solvente limpio redestilado o por la condensación de vapor sobre la pieza fría. Las variaciones en el equipo son usadas dependiendo de la aplicación.

Los solventes clorados deben ser inhibidos en contra de la hidrólisis, para prevenir la formación de ácido clorhídrico libre, que puede ocurrir en la presencia de agua.

La existencia de algún tipo de acidez en el solvente puede causar el ataque de la pieza que va a ser limpiada.

Limpieza con solventes emulsores. Están normalmente formados por derivados del petróleo (principalmente del tipo clorado) y surfactantes (agentes de superficie activa) lo que los vuelve emulsores.

La elección del sulfatante juega un papel importante, ya que determina el tipo y la estabilidad de la emulsión. Estos tipos de solventes se utilizan de manera general como limpiadores por inmersión seguida de un enjuague ya sea también por inmersión o por aspersión, y es en este enjuague donde ocurre la emulsión. La remoción de la mayor parte del solvente y de la suciedad en el agua del enjuague reduce el arrastre de los mismos en el subsecuente paso de limpieza.

Limpieza por emulsión. Este método emplea un medio de dos fases, con una fase dispersa en la otra. Las dos fases consisten en agua y un solvente orgánico. Los agentes emulsores apropiados son utilizados para formar una emulsión de aceite en agua o agua en aceite. El medio es usualmente alcalino, teniendo un pH alrededor de 7.8 a 10, y utilizado caliente con una temperatura de 60 a 80 °C. Los limpiadores por emulsión son formulados para actuar en la disolución y/o la emulsión de la suciedad.

Se ha utilizado ampliamente la limpieza por emulsión para operaciones de pre-limpieza de metales pulidos, particularmente en las aleaciones en base zinc, el cobre y el latón. La limpieza por emulsión siempre esta seguida por una operación de limpieza por aspersión y/o inmersión en los ciclos de proceso de electrodeposición con la finalidad de remover todas las trazas de solventes orgánicos y otros subproductos, con ello se evita la contaminación por arrastre.

Limpieza difase. Este tipo de limpieza emplea dos fases líquidas inmiscibles. Una fase consiste en agua más agentes humectantes solubles en agua, y también puede incluir sales inorgánicas y aceites emulsores. La otra fase usualmente es una capa de algún solvente orgánico apropiado. La limpieza difase funciona mediante la combinación de las propiedades solventes y emulsoras de ambas fases y puede ser usada ya sea por inmersión o por aspersión. De estas dos, la aplicación por aspersión es la más eficiente.

Limpieza ácida. Los diferentes tipos de ácidos son usados principalmente para remover aceite y óxidos metálicos ligeros, o para producir recubrimientos ligeros de fosfato (en

el caso de los tipos de ácido fosfórico) que puede ser usados como una base para pintura. Los limpiadores ácidos están generalmente compuestos ya sea de ácidos inorgánicos o ácidos orgánicos (tales como el fosfórico), junto con solventes miscibles en agua, humectantes orgánicos y agentes emulsores. La suciedad es removida por el ataque ácido al metal, la humectación, la emulsión o la disolución. La aplicación de este proceso puede ser por inmersión, aspersión, cepillado y limpieza a mano.

Limpieza detergente. Los detergentes son usados por muchos dentro de la industria de los acabados metálicos, especialmente por aquellos que procesan metales pulidos. Estos limpiadores están compuestos por sales amortiguadoras, agentes secuestrantes, dispersantes, inhibidores, agentes humectantes y/o jabones. Funcionan mediante la humectación, emulsión, dispersión y solubilización de la suciedad. Raramente se usan a temperatura ambiente.

Limpieza alcalina de alto desempeño. Este proceso goza del más extenso uso que ningún otro. Está compuesto por sales altamente alcalinas tal como el hidróxido de sodio, silicatos y carbonatos, junto con agentes secuestrantes, dispersantes y varios agentes de superficie activa (surfactantes). La limpieza por lo general se realiza a elevada temperatura (50 - 90°C) a concentraciones que van desde 0.5 a 2 lb/gal. La aplicación se puede llevar a cabo por aspersión, inmersión y/o electrolítica.

Este tipo de limpieza se utiliza para la remoción de suciedad, manchas y óxidos ligeros. El proceso no es muy eficiente para la remoción de compuestos provenientes del pulido por ello raramente se utiliza en esta área. Se usa frecuentemente como un limpiador secundario (después de la limpieza con detergente por inmersión) con la finalidad de remover algunos remanentes de suciedad sobre la superficie tratada.

Electro-limpiadores. Los electro-limpiadores son básicamente del tipo alcalino de alto desempeño y siempre son utilizados con corriente eléctrica, ya sea directa, inversa o ambas aplicadas periódicamente. Están diseñados tanto para la remoción de suciedad como para la activación del metal. Aunque generalmente van seguidos de una etapa de pre-limpieza, en algunos casos la limpieza electrolítica será suficiente por sí sola.

El objetivo de la limpieza electrolítica es remover completamente toda la suciedad y activar la superficie metálica de trabajo. La activación frecuentemente se obtiene aplicando corriente inversa a la solución de electro-limpieza (la pieza de trabajo se

convierte en ánodo). El desprendimiento del oxígeno generado lleva a cabo la remoción de la suciedad, mientras que la corriente inversa ayuda en la remoción y además previene la deposición de alguna película metálica o partículas metálicas no adherentes. Al finalizar el ciclo de limpieza usualmente se realiza la inmersión de las piezas en un ácido mineral diluido con el propósito de neutralizar la película alcalina formada sobre la superficie metálica.

Las piezas o partes que contengan escamas por tratamiento térmico, soldaduras y otros óxidos pueden requerir un doble ciclo de limpieza dependiendo del grado de oxidación. En tal caso, las piezas o partes son limpiadas electrolíticamente de forma anódica (después del ciclo de pre-limpieza si este es necesario), activadas en ácido para remover el óxido, nuevamente limpiadas electrolíticamente y al final sumergidas en ácido para neutralizar la película alcalina. La segunda limpieza electrolítica se utiliza para remover algunas manchas generadas por la remoción de óxido en el paso de la activación ácida. La primera limpieza remueve aceite o cualquier otra suciedad que reduciría la efectividad de las propiedades de remoción de óxido del primer activado ácido.

Limpieza electrolítica anódica. Las piezas son utilizadas como ánodos (polo positivo) en una solución electrolítica alcalina para fines de limpieza utilizando un voltaje bajo (3 a 12 V) de corriente directa. Las densidades de corriente varían de 1 a 16 A/dm² dependiendo del metal que va a ser limpiado y del tiempo de limpieza aplicado. Los tiempos de limpieza de ½ a 2 minutos generalmente son suficientes para la mayoría de las aplicaciones. El uso de altas densidades de corriente es posible cuando los tiempos de limpieza son más cortos.

La limpieza electrolítica anódica es deseable para el paso de limpieza final siempre y cuando sea posible, debido al hecho de que el metal se está disolviendo al momento que está siendo limpiado. Esta acción de disolución remueve las manchas metálicas y previene la deposición de capas metálicas no adherentes. El oxígeno generado en la superficie crea una acción limpiadora que ayuda a la remoción de la suciedad. Del mismo modo, la limpieza anódica se utiliza para evitar la oclusión de hidrógeno que fragiliza la pieza.

Es importante el control de la densidad de corriente, la temperatura y la concentración, particularmente en los metales no ferrosos, para evitar el ataque anódico y la subsecuente pérdida de brillo en la pieza. Se deben evitar los tiempos prolongados de

limpieza con corriente inversa, altas densidades de corriente, altas temperaturas y baja concentración de sales en la solución electrolítica limpiadora, principalmente en las piezas de latón y demás aleaciones en base zinc para prevenir el ataque masivo de las mismas.

La limpieza electrolítica anódica por su carácter alcalino no es recomendada para aluminio, cromo, estaño, plomo y otros metales los cuales son solubles en soluciones alcalinas. La limpieza anódica utiliza tiempos muy cortos a bajas densidades de corriente y algunas veces se utiliza para activar plomo y aleaciones de plomo antes del proceso de electrodeposición.

Limpieza electrolítica catódica. Las piezas son utilizadas como cátodos (polo negativo) y se utiliza generalmente el mismo equipo, voltaje y densidades de corriente como se describen para la limpieza anódica. En este proceso el hidrogeno es liberado en la superficie de la pieza. La cantidad de hidrogeno liberado en el cátodo es el doble que la del oxígeno liberado en el ánodo para una densidad de corriente dada. Por lo tanto, la remoción de suciedad por la liberación de gas se lleva a cabo en mayor cantidad en el cátodo que en el ánodo. Por esta razón la limpieza electrolítica catódica es algunas veces utilizada como un proceso previo seguido de la limpieza electrolítica anódica.

En este proceso algunos materiales cargados positivamente son atraídos hacia la pieza y pueden ser reducidos y depositados sobre la superficie. Algunas películas (metálicas) depositadas son habitualmente no adherentes pero difíciles de detectar y remover. Tales películas pueden causar pobre adhesión, rugosidad y/o manchas de los metales electro depositados.

Algunas piezas susceptibles a la fragilización por la oclusión de hidrogeno no deben ser limpiadas catódicamente a menos que se tomen los pasos adecuados después del proceso para remover el hidrogeno. Generalmente, el tratamiento térmico durante una hora a 200°C inmediatamente después de haber aplicado el proceso de limpieza catódico removerá el efecto de fragilización por hidrogeno.

La contaminación con cromo hexavalente de las soluciones electrolíticas limpiadoras es algunas veces inevitable, debido al uso del mismo "rack" para cromar así como para otros procesos. La limpieza catódica es muy susceptible a las manchas por

contaminación de cromo que la limpieza con corriente inversa. La limpieza electrolítica catódica es usada para las siguientes aplicaciones:

- Para limpiar metales tales como el cromo, estaño, plomo, latón, magnesio y aluminio que son disueltos o atacados si se aplicara limpieza del tipo anódica.
- Para limpiar las superficies de níquel pulidas antes del proceso de cromado. La limpieza anódica produciría una película pasiva sobre el níquel debido a la oxidación, que impediría la deposición del cromo brillante.

Limpieza electrolítica por inversión periódica de corriente. Este proceso de limpieza electrolítica se usa principalmente para remover manchas y óxidos de metales ferrosos.

La mezcla de materiales alcalinos contiene agentes secuestrantes que son frecuentemente usados. Las piezas son utilizadas alternativamente como cátodos y ánodos utilizando una corriente directa de 6 a 15 Volts. Las piezas pueden ser limpiadas ya sea montadas en “rack” o en barril.

Mecanismos de limpieza. La acción limpiadora o detergente está acompañada por uno o más de los siguientes fenómenos:

- Humectación.
- Emulsificación.
- Solubilización.
- Saponificación.
- Defloculación.
- Secuestración.
- Acción mecánica.
- Decapado y activado ácido.

Humectación. Este es simplemente el proceso por el cual el limpiador, a causa del uso de agentes de superficie activa, liberará la suciedad metálica ligada mediante el desplazamiento de aire y de la disminución de la tensión interfacial y superficial. La humectación, es en esencia, el primer requerimiento para la limpieza de un metal sucio.

Emulsificación. Una vez que la humectación tiene lugar, el proceso de emulsificación puede ocurrir. Es simplemente la dispersión de dos líquidos mutuamente inmiscibles. La emulsificación depende principalmente de la grasa encontrada y de la elección de los

surfactantes, y en segundo término depende de factores tales como el pH, temperatura y agitación.

Solubilización. Es el proceso mediante el cual la solubilidad de una sustancia (grasa) es aumentada en un cierto medio, por ejemplo el agua, mediante la selección apropiada de los agentes de superficie activa.

Saponificación. Este término es usado para designar la reacción entre alguna grasa orgánica (conteniendo ácidos grasos reactivos) y la alcalinidad libre para formar jabones.

Defloculación. Es el proceso por medio del cual la suciedad es dividida en finas partículas y dispersas en el medio de limpieza. La suciedad entonces es mantenida como una dispersión previniéndola de la aglomeración.

Secuestración. Es el proceso en el que los iones indeseables tales como el Ca^{++} , Mg^{++} y metales pesados son desactivados, así se impide la reacción de éstos con otros materiales que normalmente formarían productos insolubles.

Un ejemplo clásico es la espuma formada del agua dura cuando los jabones o incluso algunos detergentes son utilizados.

Acción mecánica. Este es un factor extremadamente importante en los detergentes metálicos, debido a que puede incrementar en mayor cantidad la velocidad y la eficiencia de la remoción de la suciedad. Esta se puede llevar a cabo mediante el movimiento de la solución o por el movimiento de la pieza así misma. Algunos ejemplos de agitación de la solución son el aire, mecánico, ultrasónico, por aspersion y por desprendimiento de gas de la limpieza electrolítica.

Decapado y activado ácido. El paso de acidificación en la industria de los acabados metálicos está destinado, principalmente, a la remoción de óxidos y otras suciedades solubles en ácidos y también para activar la superficie del metal. Generalmente se utilizan ácidos minerales, sin embargo las mezclas de sales ácidas son utilizadas para incrementar tanto la remoción de la suciedad como la activación del metal.

La función del ácido puede ser clasificada en dos grandes categorías: el decapado y la activación. El decapado es utilizado para remover escamas de óxido principalmente provenientes de los metales tratados térmicamente o con soldadura, mientras que la

activación es usada para neutralizar la película alcalina proveniente del proceso de limpieza y para disolver cualquier capa ligera de óxido generada en la limpieza final.

Todas las soluciones ácidas deben ser seleccionadas en base a los siguientes requisitos:

La superficie del metal no debe ser alterada más de lo deseado.

La sal metálica formada de la reacción entre el metal y el ácido debe ser soluble al agua.

Para ilustrar el punto anterior, el ácido sulfúrico no sería el adecuado para la activación de plomo o la aleación de latón - plomo, ya que la formación de sulfato de plomo (insoluble) formaría una película entre el metal base y la electrodeposición metálica, lo que causaría una pobre adhesión.

Se puede utilizar la corriente directa para ayudar a la activación metálica, incrementar la eliminación de óxidos, remover fragmentos de metales proyectados o reducir la superficie rugosa. En esta aplicación la pieza se utiliza como cátodo en donde la generación de hidrogeno en la superficie del metal proporciona una limpieza mediante el gas que incrementa la velocidad de remoción de los óxidos, en tanto que la acción reductora minimiza o elimina la pasividad de la pieza, por ejemplo, cuando se aplica sobre acero inoxidable o níquel pulido los cuales van a ser recubiertos electrolíticamente.

El proceso se realiza anódicamente para remover astillas metálicas y suavizar superficies rugosas. Los ácidos altamente concentrados son comúnmente utilizados para esta aplicación.

Los inhibidores de corrosión pueden ser usados en el decapado, pero su uso en el proceso de activación no es recomendado debido a la posibilidad de absorber películas que pueden interferir con operaciones posteriores, tales como la deposición metálica, lo que resultará en depósitos con pobre adhesión o depósitos opacos.

CAPÍTULO III

3. BAÑOS ELECTROLÍTICOS(GALVANOLYTE, 2010)

Son recubrimientos que consisten en la deposición sobre una pieza metálica de una capa muy delgada de un metal más resistente a la corrosión que el metal base, mediante electrólisis, con el objetivo de aumentar la resistencia a la corrosión de la pieza. El espesor de este tipo de recubrimientos no es habitual que supere las 20 micras.

El principio básico de los procesos de recubrimientos electrolíticos consiste en la conversión del metal del ánodo en iones metálicos que se distribuyen en la solución. Estos iones se depositan en el cátodo (pieza que será recubierta) formando una capa metálica en su superficie. Existen en galvanotecnia procesos en los cuales el metal se deposita sin fuente externa de corriente eléctrica.

En ambos procesos de recubrimientos la capa depositada forma cristales metálicos. En función del tipo de estructura cristalina se derivan las diferentes propiedades del recubrimiento y así los campos de aplicación más adecuados.

El recubrimiento electrolítico de las piezas se produce casi exclusivamente por inmersión en un baño. Para ello se introducen las piezas en las cubas donde se encuentra el electrolito, se les aplica la corriente como cátodo, se recubren y se secan. Al extraer las piezas del baño arrastran una cantidad del electrolito sobre la superficie de las piezas. Esa película superficial arrastrada se elimina en un proceso de lavado posterior para que no interfiera en las siguientes operaciones o presente las condiciones de acabado exigidas.

3.1 Baños de cobre.

El cobreado electrolítico es un proceso que permite aplicar un recubrimiento de cobre sobre materiales como el acero, hierro, latón y zamak. Con un espesor variable según las necesidades, tiene como objetivo mejorar las propiedades del material base gracias a su elevada maleabilidad, ductilidad y conducción de la electricidad. Frecuentemente, el cobre forma la primera capa en un sistema de capas de recubrimiento, puesto que es fácil de depositar en metales y plásticos, ya que presenta una elevada conductividad; además, la capa de cobre es muy resistente, económica de aplicar y forma una buena

base adhesiva para otros metales. El cobreado puede aplicarse a partir de baños alcalinos cianurados y baños ácidos con ácido sulfúrico. El cobreado ácido con sulfatos, generalmente requiere un control más estricto del baño a fin de mantener los parámetros en el rango óptimo, sin embargo, se evita el uso de cianuro. El baño ácido, también puede utilizarse como primer revestimiento metalizado en plásticos, por su gran ductilidad. En un baño ácido, el sulfato de cobre CuSO_4 representa la fuente de iones de cobre que se deposita en la superficie a recubrir. Para este proceso se recomienda sulfato de cobre químicamente puro. El baño de cobre típico contiene sulfato de cobre, ácido sulfúrico, iones de cloruro y aditivos de brillo.

Sólo dos son los tipos de solución que se utilizan en gran escala, esto es, las soluciones de cianuro y las soluciones ácidas. El primer tipo consiste esencialmente en una solución de cianuro cuproso en un cianuro de metal alcalino, con o sin varios agentes de adición. Las soluciones de cianuro tienen un excelente poder de penetración; no obstante, en general, son inapropiadas para la obtención de depósitos de un espesor apreciable, pero tienen la ventaja de poder ser aplicadas directamente a los metales ferrosos. Las soluciones ácidas consisten en una solución de sulfato de cobre y ácido sulfúrico, y se utilizan principalmente para recubrir aquellos metales que no son atacados químicamente por la solución, y especialmente cuando se requiere un espesor apreciable, como en galvanoplastia.

Existen tres tipos básicos de procesos comercialmente disponibles, ellos son: los baños de cobre cianurados, baños de cobre ácidos (sulfato y fluoborato) y los baños de cobre moderados (pirofosfato).

3.1.1 *Baños de cobre cianurado.* El cobre electrodepositado de las soluciones en base cianuros ha sido ampliamente utilizado tanto para acabados decorativos como de ingeniería, y como un recubrimiento primario para otros metales a depositar. Este tipo de proceso se ha utilizado para recubrir una amplia variedad de metales base incluyendo al hierro, acero, aleaciones de zinc, aleaciones de aluminio, aleaciones de magnesio, aleaciones de níquel y aleaciones de plomo. Una importante propiedad del cobre de los sistemas basados en cianuros es la habilidad para adherirse muy bien a estas aleaciones.

Otras propiedades de los electrodepósitos de cobre que son de interés para varias aplicaciones incluyen:

- Depósitos dúctiles y suaves.
- Es fácilmente pulido.
- Buen conductor eléctrico.
- Buena soldabilidad.
- Modifica las propiedades sobre el acero para selectivos casos de endurecimiento.
- Los acabados decorativos pueden ser brillantes con los aditivos apropiados, o dar un acabado antiguo atractivo tales como los óxidos o las platinas.
- El baño de cobre cianurado protege del ataque ácido a los metales base sensibles por la subsecuente aplicación de cobre de un baño ácido.
- Se recubre fácilmente por otros metales.

Este tipo de baño, a pesar de los peligros que representa el manejo de los materiales y la operación en línea, aún sigue siendo en algunos casos una opción insustituible.

En el trato con la química del baño de cobre cianurado, se debe hacer la distinción entre el cianuro total y el cianuro libre. El cianuro de cobre debe ser acomplejado ya sea por el cianuro de sodio o el cianuro de potasio para formar compuestos solubles de cobre en soluciones acuosas. Se considera que el principal complejo formado es el cianuro de cobre y sodio, $K_2Cu(CN)_3$ o el cianuro de cobre y potasio, $Na_2Cu(CN)_3$ según sea el caso. La suma de lo que se requiere para el acomplejamiento del cianuro de cobre más la cantidad de cianuro requerido para el propio funcionamiento del baño (cianuro libre) es el cianuro total.

El mantenimiento y control de las soluciones debe realizarse con análisis periódicos o con los resultados obtenidos mediante correjimiento de prueba con celda Hull.

Los ánodos para los baños deben ser de cobre de la mayor pureza y en algunas aplicaciones es recomendable utilizarlos con fundas. Estos pueden ser laminados o elípticos. La relación de superficie ánodo-cátodo debe ser 1:1 como mínimo y 2:1 como máximo.

3.1.1.1 *Preparación de baños de cobre cianurado.* Llenar el tanque hasta 2/3 partes de su volumen con agua fría. Adicionar el cianuro de sodio o potasio lentamente con agitación hasta la completa disolución. En un contenedor por separado mezcle el cianuro de cobre con agua hasta formar un lodo delgado. Adicionar la mezcla de cianuro de cobre y agua a la solución de cianuro de sodio o potasio lentamente y con agitación. Adicionar el resto de los materiales requeridos después de haber adicionado y mezclado completamente el cianuro de cobre.

Agitar para la completa disolución de los materiales. Ajustar con agua el nivel de la solución al volumen de operación. Homogeneizar la solución. Colocar los ánodos dentro de la tina. Iniciar el ciclo de trabajo.

Las reacciones de la disolución son exotérmicas y no se debe permitir que la solución se sobrecaliente ya que esto puede descomponer algo del cianuro libre presente. Se recomienda la aplicación de tratamiento con carbón activado antes de su uso. Todas las sales utilizadas en la preparación del baño deben estar libres de azufre para prevenir opacidad y depósitos rojizos en las zonas de baja densidad de corriente.

Mantenimiento y control de baños de cobre cianurado. El fundamento para realizar el mantenimiento y control de los baños, sales o electrolitos es mantener o recuperar el estado inicial u óptimo de trabajo, para así garantizar el desarrollo normal o ideal de los procesos, el mantenimiento consiste en limpiar, quitar o retirar impurezas que pueden dejar los elementos constitutivos de los procesos, como son residuos de materiales, además se pueden añadir elementos o compuestos químicos que la sal haya perdido en el proceso.

Constituyentes. Se recomienda que todos los constituyentes de la formulación estén controlados dentro de un 10% de su valor normal, en especial el cianuro libre. La concentración de cianuro de cobre, en combinación con la agitación, controla las densidades de corriente permitidas en el proceso de chapado. La concentración de cianuro libre controla la eficiencia, el poder de penetración y la polarización anódica. La concentración de hidróxido controla la conductividad y el poder de penetración.

Los carbonatos actúan como “buffers” y reducen la polarización anódica. Aunque una alta concentración de carbonatos de 90 a 120 gr/l disminuye el rango de operación para el chapado. La sal de Rochelle refuerza la corrosión anódica y es un afinador de grano.

Las formulaciones al potasio tienen un amplio rango de operación que las formulaciones de sodio.

Temperatura. La temperatura también es un factor importante a considerar ya que si excede los 71°C se promoverá la descomposición del cianuro y el rápido aumento de los carbonatos.

Agitación. En cuanto a la agitación, se recomienda que se utilice cuando se requiera, ya sea mecánica y/o por movimiento de la solución, ya que promueve el incremento de los carbonatos.

Contaminación. Los contaminantes orgánicos causan un depósito no uniforme, rugoso, con piquetes y/o falta de cuerpos. En casos severos de contaminación orgánica suelen polarizarse los ánodos (se cubren con una película no conductora de sales de cobre), disminuyendo por lo tanto el flujo de corriente eléctrica. Un tratamiento con carbón activado y su posterior filtración removerá la contaminación.

El cromo hexavalente, como contaminante, provoca depósitos incompletos en la zona de baja densidad de corriente. El mejor método para eliminar el problema de contaminación con cromo es eliminando la fuente. El cromo hexavalente en el baño puede ser reducido a trivalente mediante el uso de los agentes reductores adecuados.

La contaminación con zinc produce depósitos color bronce o no uniformes. Este puede removerse de la solución electrolizando a bajas densidades de corriente con un cátodo de hierro o latón. La corriente a aplicar será de 0,2 a 0,4 A/dm².

Los sulfuros producen coloraciones rojizas en las zonas de baja densidad de corriente. Normalmente provienen de residuos o impurezas de los cianuros o de los revestimientos de las tinas. Pequeñas adiciones de cianuro de zinc eliminan el contenido de sulfuros en los electrolitos. Otro tipo de contaminaciones metálicas causan rugosidad en los depósitos, pudiendo ser eliminadas por electrolisis a baja densidad de corriente y su posterior filtrado.

Una cantidad excesiva de carbonatos puede ser removida de la solución enfriándola a baja temperatura, ya que la solubilidad de estos es limitada por debajo de -3°C.

Debido a su baja solubilidad a bajas temperaturas, estos pueden ser removidos por la cristalización que se producirá en el fondo de la tina. También, tanto el carbonato de

sodio como el de potasio pueden removerse por precipitación con óxido de calcio, hidróxido de calcio o sulfato de calcio.

En la Tabla 6. se indican los defectos, causas y soluciones para el baño de cobre alcalino cianurado.

Tabla 6. Defectos, causas y soluciones para el baño de cobre cianurado

DEFECTO	CAUSA	SOLUCIÓN
Adhesión imperfecta del depósito, indicado por la presencia de burbujas, sin depósito. Defecto que es visible, al sacar las piezas del baño, o aparece posteriormente si el metal es doblado, calentado o pulido.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Excesivo contenido de cianuro libre, usualmente indicado por muchos gases en el cátodo, y por una apariencia cristalina brillante de los ánodos. 2) Insuficiente cianuro libre, indicado por la polarización del ánodo, pocos gases en la solución, y la presencia de residuos verdes en los ánodos. 3) En casos extremos la solución puede ser azul claro en lugar de color ámbar. 4) Presencia de grasa, óxido o mancha en el metal antes de cobrizar. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Cheque el contenido de cianuro libre y reduzca a valores normales por adición de cianuro de cobre. 2) Cheque el contenido de cianuro libre y adicione la cantidad requerida de cianuro de sodio para corregir el baño. 3) Revise el proceso de limpieza y cheque los desengrases y asegúrese que sean eficientes. 4) Examine la superficie de la solución de cobre y enjuague para observar aceite o grasa, la cual puede estar por: <ul style="list-style-type: none"> • El desengrase alcalino tiene una película de aceite insoluble sobre su superficie. • Grietas o golpes en las piezas. • Fuentes externas, por ejemplo sobrecalentamiento de la maquinaria. • Escamas u óxido deben ser removidos por activado en ácido.
Depósitos de grano muy duro y fino. Difícil de "oxidar" en soluciones de sulfuro.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Densidad de corriente muy baja. 2) Deficiencia de cobre en la solución. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Aumente el voltaje para dar la densidad de corriente normal. 2) Si el contenido metálico es anormalmente bajo, la corriente normal no puede obtenerse a los voltajes usuales. Ajuste el cianuro de cobre.
Deposito rugoso, o color rojo	Excesiva densidad de	Reduzca el voltaje y trabaje a

ladrillo opaco.	corriente,resultando en depósitos quemados. En caso extremos el cobreado puede ser obscuro y de textura esponjosa.	menores densidades de corriente. No use una gran superficie anódica cuando cobre partes pequeñas y si es posible cuelgue estas piezas entre otras más grandes en el tanque, o colóquelas lejos del ánodo.
Depósitos con buen color y apariencia, pero rugosos, particularmente sobre las superficies que están en la parte superior del baño.	Presencia de sólidos suspendidos en la solución de trabajo.	Cheque el cianuro libre y adicione cianuro de sodio si es necesario. Si la falla persiste filtre la solución o permita reposar el baño toda la noche hasta que el material suspendido se sedimente, entonces decante la solución clara sobre un tanque auxiliar limpio. Deje unos pocos centímetros conteniendo el lodo. Limpie el tanque y regrese la solución limpia.
Solución turbia.	1) Falta de cianuro de sodio libre como lo evidencia la presencia de un depósito verdoso sobre los ánodos. 2) Material extraño.	1) Cheque el contenido de cianuro y rectifique por la adición de la cantidad requerida de cianuro de sodio. Si las facilidades analíticas no están disponibles, adicione 3 g/l y vea los resultados después de la adición, si es necesario adicione más. 2) Remueva la materia insoluble.
Solución azul	Completa falta de cianuro libre.	Adicione la cantidad requerida de cianuro de sodio como lo haya indicado el análisis. A falta de este adicione 5 g/l.
Solución muy densa, cristalización en los ánodos y orillas del tanque cuando se enfrían.	Acumulación de carbonatos por un largo periodo de uso, debido a la gradual pero continua descomposición de cianuro.	Remueva los carbonatos cristalizados que se forman durante la cristalización cuando el tanque no se usa. Use una pala o removedor para este propósito, y posteriormente restablezca el nivel de la solución con agua.
Ánodos con apariencia brillante y cristalina.	Exceso de cianuro libre.	Los ánodos deben de ser color café obscuro cuando el baño trabaja normalmente y vuelven al aspecto de cobre metálico cuando el baño

		esta sin trabajar.
Ánodos con depósito de color verde.	Falta de cianuro libre.	Adicione cianuro de sodio libre.
Ánodos con depósito negro, resultado de la polarización anódica y eficiencia reducida (no confundir con el color café del trabajo normal).	Si la solución ha estado en contacto con plomo o aleaciones de plomo caídas dentro del tanque, probablemente la película es de peróxido de plomo.	<p>Remueva la fuente de contaminación si la conoce, entonces electrolice el baño con un cátodo falso (hojas de láminas de hierro pueden servir) y saque los ánodos periódicamente y remueva la película de peróxido mecánicamente.</p> <p>Trazas de plomo pueden ser eliminadas de esta manera.</p> <p>Alternativamente puede adicionarse sulfuro de sodio a la solución, 0.3 g/l.</p> <p>Disueltos en agua.</p> <p>Aquí precipita el sulfuro de plomo, el cual debe ser removido por filtración.</p>
Manchado del depósito de cobre. Generalmente sobre metales moldeados.	Debido a la porosidad del metal base y/o solución del baño cianurado ocluida.	<p>Con los moldes este defecto es difícil de evitar, aunque, puede ser minimizado por enjuagues de las piezas cobreadas varias veces en agua fría y caliente alternadamente, antes de secarse finalmente. Un tratamiento alternativo es sumergir las piezas después de enjuague en una solución diluida de tartrato hidrogeno de potasio (5g/l) y volver a enjuagar antes de secar. En casos persistentes hornear y enfriar es efectivo. Involucra calentarlas en un horno a 120 °C y entonces sumergirlas calientes en agua.</p>
No hay depósito.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Revise la polaridad de la corriente o contactos equivocados. 2) Contaminación de la solución con ácido crómico. 3) Cátodo pasivado. 4) Depósito preferencial de hidrogeno en lugar de cobre sobre hierro moldeado o plomo, debido a un exceso de cianuro libre en la 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Véase las condiciones eléctricas y corríjase. 2) Solución difícil. Limpie el tanque y prepare una solución nueva. 3) Remueva la superficie pasivada por pulido, devastado, o activado de las piezas. 4) Adicionar cianuro de cobre de

	solución.	acuerdo al análisis.
--	-----------	----------------------

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

3.1.2 *Baños de cobre ácidos - sulfato.* Estos baños resultan económicos de preparar, de operar y de tratar los residuos.

Las aplicaciones son múltiples, como puede ser en la industria electrónica (circuitos impresos), en la industria en la confección de cilindros para imprenta, en el electroformado (fabricación de moldes o matrices por electrólisis), en usos decorativos y para metalizado sobre plástico.

La química de la solución de este tipo de baños es simple, los componentes básicos son el sulfato de cobre y el ácido sulfúrico. Estas sales son altamente conductoras de electricidad y fácilmente dissociables, pudiendo así trabajar con densidades de corriente suficientemente elevadas. Los problemas anteriores referentes al poder de penetración han sido superados con el advenimiento de aditivos y formulaciones modernas de alta penetración.

Si las piezas a trabajar son de hierro, éstas deben ser cubiertas con una película previa de cobre alcalino para evitar depósitos por inmersión y el inconveniente de una pobre adhesión del depósito. Las aleaciones de zinc y de otros metales sensibles a los ácidos deben tener el suficiente depósito previo para prevenir el ataque por el ácido sulfúrico.

Este tipo de baños son operados a temperatura ambiente.

El cobre de los ánodos denominado cobre fosforoso, debe contener 0.02 a 0.08% partes en peso de fósforo. Deben, además estar exentos de óxido y ser de la mayor pureza posible. Se pueden utilizar “nuggets” dispuestos en canastillas de titanio.

Tanto los ánodos en barra como las canastillas de titanio deben tener fundas confeccionadas en un material resistente al ácido sulfúrico. La relación ánodo-cátodo debe ser de 2:1. El rendimiento catódico y anódico están cercanos al 100% dependiendo de las condiciones de trabajo u operación. Estas soluciones resultan muy sensibles a las bajas temperaturas (inferiores a 20°C).

En las soluciones brillantes y semibrillantes, el agente de adición utilizado para lograr este fin es la thiourea (ácido sulfúrico de formamidina), que debe ser adicionada en cantidades exactas, ya que el exceso de este producto favorece la polarización anódica,

disminuyendo el rendimiento por el menor paso de corriente eléctrica y por la caída en el régimen de disolución anódica.

Existen otros tipos de agentes de adición para lograr depósitos brillantes. Ellos son: la peptona, la dextrina y los fenoles.

La siguiente formulación estándar es para baños de cobre ácido, se recomienda la agitación por aire en el uso de cada una de ellas.

Tabla 7. Formulación general para baños de cobre al sulfato

COMPONENTES	CANTIDAD Y CONDICIONES
Sulfato de cobre	195 a 248 g/l
Ácido sulfúrico	30 a 75 g/l
Cloruros	50 a 120 PPM

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

3.1.2.1 *Preparación de baños de cobre al sulfato.* Los baños pueden ser preparados disolviendo el sulfato de cobre en agua y luego adicionando el ácido sulfúrico. Posterior a la preparación se recomienda dar tratamiento con carbón activado o el uso de un purificador líquido para sulfato de cobre.

3.1.2.2 *Mantenimiento y control de baños de cobre al sulfato.* El fundamento para realizar el mantenimiento y control de los baños, sales o electrolitos es mantener o recuperar el estado inicial u óptimo de trabajo, para así garantizar el desarrollo normal o ideal de los procesos, el mantenimiento consiste en limpiar, quitar o retirar impurezas que pueden dejar los elementos constitutivos de los procesos, como son residuos de materiales, además se pueden añadir elementos o compuestos químicos que la sal haya perdido en el proceso.

Constituyentes. El sulfato de cobre es la fuente de iones de cobre dentro de la solución. Debido a que la eficiencia anódica y catódica es normalmente cercana al 100%, los ánodos reponen el cobre electrodepositado en el cátodo, es por ello que el equilibrio de la solución se mantiene prácticamente estable. El ácido sulfúrico incrementa la conductividad de la solución y reduce la polarización anódica y catódica, evita la precipitación de las sales y mejora la penetración. En formulaciones de alta penetración,

la relación de cobre metálico/ácido sulfúrico debe conservarse 1:10. La reducción de sulfato de cobre en las formulaciones de alta penetración se hace para prevenir los efectos de la precipitación del ion común.

El ácido sulfúrico a concentraciones por arriba del 11% por volumen empieza a reducir la eficiencia catódica. El ion cloruro, tanto en baños brillante como de alta penetración, reduce la polarización anódica y eliminan los depósitos estriados en las zonas de alta densidad de corriente.

Temperatura. Los baños se operan a temperatura ambiente en la mayoría de las aplicaciones. Si la temperatura es muy baja, la eficiencia catódica disminuye y el rango de operación se reduce. Los baños que no requieren depósitos brillantes pueden ser operados a temperaturas hasta de 50°C, incrementando así la velocidad del depósito en forma considerable, sobre todo en procesos de grabado, electroformado y circuitos impresos.

Agitación. La agitación por aire, mecánica o la agitación por inyección de la solución puede ser utilizada. Cuanto más vigorosa sea la agitación, mayor puede ser la densidad de corriente de trabajo.

Contaminación. Los contaminantes comunes en los baños al sulfato provienen de la descomposición de los abrillantadores (contaminantes orgánicos) o por impurezas metálicas (sales con baja pureza, tinas metálicas con recubrimientos defectuosos, etc.). En ambos casos, las características del depósito se ven alteradas. Una coloración verdosa de la solución indica una contaminación orgánica significativa, en este caso la contaminación se debe remover mediante tratamiento con carbón activado. En caso de contaminaciones severas, se debe tratar el baño con agua oxigenada o con permanganato de potasio. Una vez descompuestos los contaminantes orgánicos, se debe tratar finalmente con carbón activado. Por ningún motivo deberán utilizarse ayuda filtros para el proceso de filtración.

Algunos de los contaminantes metálicos más comunes y sus efectos son los siguientes:

- Antimonio (10 – 80 gr/l): Deposito rugoso y quebradizo. Se adiciona gelatina o tanino.
- Arsénico (20 – 100 PPM): Igual que en el antimonio.
- Bismuto: Igual que en el antimonio.

- Cadmio (> 500 PPM): Puede dar origen a depósitos por simple inmersión y la polarización anódica durante el tiempo de reposo. Puede inhibir la acción de los iones cloruro.
- Hierro (> 1000 PPM): Reduce la conductividad del baño y el poder de penetración.
- Selenio (> 10 PPM): Polarización anódica, aspereza.
- Telurio (> 10 PPM): igual que en el selenio.
- Estaño (500 – 1500 PPM): Puede dar origen a depósitos por simple inmersión y la polarización anódica durante el tiempo de reposo.
- Zinc (> 500 PPM): Igual que en el cadmio.

En la Tabla 8. se indican los defectos, causas y soluciones para el baño de cobre ácido al sulfato.

Tabla 8. Defectos, causas y soluciones para el baño de cobre ácido - al sulfato

DEFECTO	CAUSA	SOLUCIÓN
Deposito “quemado” en las zonas de alta densidad de corriente.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Bajo contenido de cobre metálico. 2) Temperatura baja. 3) Agitación insuficiente. 4) Contaminación orgánica. 5) Bajo contenido de iones cloruro (baños brillantes). 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Analizar y ajustar. 2) Calentar la solución. 3) Disminuir la corriente, a menos que la agitación sea aumentada. 4) Tratamiento con carbón activado. 5) Analizar y ajustar.
Perdida de brillo (Baños brillantes).	<ol style="list-style-type: none"> 1) Bajo contenido de aditivo. 2) Contaminantes orgánicos. 3) Bajo contenido de cloruros. 4) Temperatura alta. 5) Bajo contenido de cobre metálico. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Determinar la adición mediante celda Hull. 2) Tratamiento con carbón activado. 3) Analizar y ajustar parámetros. 4) Enfriar el baño. 5) Analizar y ajustar.
Deposito rugoso.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Partículas en solución. 2) Bolsas de ánodos rasgadas. 3) Ánodos inadecuados (baños brillantes). 4) Bajo contenido de iones cloruros (baños brillantes). 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Filtrar la solución. 2) Reemplazar las bolsas rasgadas. 3) Usar ánodos de cobre fosforecido. 4) Analizar y ajustar.
Deposito con piquete.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Contaminación orgánica. 2) Desprendimiento de los ánodos. 3) Bajo contenido de iones 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Tratamiento con carbón activado. 2) Utilizar bolsas para ánodos.

	cloruro (baños brillantes).	3) Analizar y ajustar.
Corriente baja.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Contaminación orgánica 2) Abajo contenido de ácido sulfúrico. 3) Bajo contenido de aditivo. 4) Alta concentración de iones cloruro. 5) Densidad de corriente muy baja. 6) Temperatura alta. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Tratamiento con carbón activado. 2) Analizar y ajustar. 3) Determinar la adición mediante celda Hull. 4) Precipitar con nitrato de plata y filtrar. 5) Incrementar la corriente. 6) Enfriar la solución.
Polarización anódica.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Contaminación metálica de oro y/o estaño. 2) Temperatura baja. 3) Ánodos inadecuados. 4) Cloruros altos. 5) Concentración de ácido sulfúrico alta. 6) Bajo contenido de sulfato de cobre. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Electrolizar con una lámina de cobre (sin paso de corriente). 2) Calentar el baño. 3) Los baños brillantes requieren de ánodos fosforizados. 4) Precipitar con nitrato de plata y filtrar. 5) Analizar y diluir el baño. 6) Analizar y ajustar.

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

3.1.3 Baños de cobre moderados - pirofosfato. Los baños al pirofosfato requieren mayor control y mantenimiento que el resto de las soluciones alcalinas de cobre. Una de las principales ventajas de este tipo de electrolitos es su relativa baja toxicidad que estos poseen en relación a las soluciones cianuradas.

Las principales aplicaciones de los baños de cobre al pirofosfato han sido en las áreas de electroformado, metalizado de plásticos y circuitos impresos.

La química involucrada en el baño de cobre al pirofosfato es la formación del complejo de pirofosfato de cobre y potasio ($K_6Cu(P_2O_7)_2 \cdot 6H_2O$) a partir del pirofosfato de cobre ($Cu_2P_2O_7 \cdot H_2O$) y el pirofosfato de potasio ($K_4P_2O_7$). La relación de pirofosfato ($P_2O_7^{-4}$) a cobre (Cu^{+2}) en el compuesto es de 5.48 a 1.

Cualquier pirofosfato en exceso de acuerdo a esta relación es llamado pirofosfato “libre” pirofosfato “en exceso”, el cual es esencial para la operación del baño ya que provee la conductividad y la corrosión anódica. Para el funcionamiento de un baño, se ajusta la relación de pirofosfato a cobre (P_2O_7/Cu) de 7-8:1. Los baños con pirofosfato de potasio son recomendados por encima de las formulaciones de sodio, debido a la mejor conductividad y a la más alta solubilidad de los complejos de cobre y potasio.

Los ánodos para este tipo de baños deben ser de cobre de alta pureza libres de oxígeno.

Pueden ser placas de cobre o cobre en trozos “nuggets” en canastillas de titanio. No se recomiendan las bolsas para los ánodos. La relación ánodo-cátodo deberá ser de 2:1.

En los baños para circuitos impresos, no se debe permitir que la concentración de orto fosfato exceda de 40 a 60 gr/l debido a que, más allá de este punto, existe un decremento en el poder de penetración de la solución y en la ductilidad del depósito. La concentración del orto fosfato es disminuida mediante dilución o por reemplazamiento del baño. La eficiencia anódica y catódica de los baños de cobre al pirofosfato es esencialmente del 100%. Para mejores resultados se requiere de agitación máxima.

Cuando se usa agitación por aire, el volumen de aire debe ser de 1 a 1.5 veces el área superficial que va a ser recubierta. También se puede utilizar agitación ultrasónica.

3.1.3.1 *Mantenimiento y control de baños de cobre al pirofosfato.* El fundamento para realizar el mantenimiento y control de los baños, sales o electrolitos es mantener o recuperar el estado inicial u óptimo de trabajo, para así garantizar el desarrollo normal o ideal de los procesos, el mantenimiento consiste en limpiar, quitar o retirar impurezas que pueden dejar los elementos constitutivos de los procesos, como son residuos de materiales, además se pueden añadir elementos o compuestos químicos que la sal haya perdido en el proceso.

Constituyentes.El hidróxido de amonio contribuye a la corrosión anódica y actúa como un refinador de grano y es adicionado diariamente para compensar las pérdidas por evaporación. El nitrato incrementa el rango de operación en la zona de alta densidad de corriente y funciona como un despolarizador catódico. El pH es controlado usando ácido pirofosfórico o hidróxido de potasio según se requiera.

Temperatura.La operación de los baños alrededor de los 60°C causa la rápida hidrólisis del pirofosfato a orto fosfato.

Agitación.Este tipo de baños necesitan agitación vigorosa para operar a una densidad de corriente normal. La forma más común utilizada es la agitación por aire o en

combinación con agitación mecánica. La agitación ultrasónica o la agitación por inyección de la solución también pueden ser utilizadas.

Contaminación. Los baños son sensibles a contaminaciones orgánicas tales como aceites o productos degradados provenientes de aditivos orgánicos. La contaminación orgánica, por cianuro o por plomo pueden causar depósitos no uniformes y opacos con un rango de operación reducido. El tratamiento con carbón activado removerá la contaminación orgánica y tratando la solución con peróxido de hidrogeno o permanganato de potasio antes del tratamiento con carbón, se removerá el cianuro y contaminaciones orgánicas severas.

La contaminación por plomo puede ser removida por electrolisis.

Orto fosfato, además alta temperatura, un sobrecalentamiento o un pH bajo pueden causar la rápida formación de orto fosfato.

Estos tipos de soluciones permiten obtener depósitos de cobre semibrillante con mejores propiedades físicas (más compactos y más duros) que los obtenidos en los baños al cianuro.

3.2 Baños de níquel

Los depósitos de níquel pueden ser usados con fines decorativos en ingeniería o electroformado debido al amplio control que el operador puede tener sobre el comportamiento del electrólito y de las condiciones de trabajo. Los niquelados decorativos se logran de un electrólito conteniendo agentes de adicción orgánicos de diversos tipos. Los depósitos obtenidos resultan protectores lisos de alta nivelación y con un brillo especular.

Las aplicaciones de ingeniería utilizan electrolitos que depositan níquel puro y las características habitualmente necesarias para este tipo de aplicaciones son:

- Alta resistencia a la corrosión
- Resistencia a la abrasión
- Soldabilidad
- Propiedades magnéticas

Este proceso se lleva a cabo mediante una corriente continua aplicada a los electrodos, lo cual disocia en iones las sales contenidas en la solución produciéndose un depósito de

níquel metálico sobre el cátodo (negativo), y disolución de níquel sobre el ánodo (positivo).

Es necesario, no obstante, tener presente en la solución ciertos agentes reductores y compuestos químicos para favorecer la disolución de los ánodos y para ser la solución más conductora lo cual dependerá básicamente del contenido de sales disueltas de manera que puedan circular altas corrientes por el electrolito con diferencias de potencial (voltajes) relativamente bajas. Además, es esencial que todos los productos químicos empleados sean puros porque la presencia de pequeñas trazas de impurezas en determinadas soluciones incrementara la posibilidad de defectos y problemas y aparentemente inexplicables.

Por ejemplo es fundamental que las sales de níquel estén libres de cobre y zinc pues cualquier rastro de estos metales originara un depósito muy oscuro y la solución nunca dará un níquel blanco y brillante. La forma de asegurarse que se está trabajando con productos de buena calidad es abastecerse de sales ánodos, aditivos y abrillantadores en algún lugar reconocido y especializados en productos para el uso exclusivo en galvanoplastia.

Cuando las sales están disueltas en agua, el níquel de la solución es bivalente (Ni^{+2}). Mediante la circulación de corriente eléctrica el ion metálico reacciona con dos electrones ($2e^-$) y pasa a su estado metálico (Ni^0) sobre el cátodo. Lo inverso ocurre en el ánodo donde el níquel metálico se disuelve formando iones bivalentes.

La reacción electroquímica es la siguiente:



Ya que los iones metálicos convertidos sobre cátodo a Ni^0 son disueltos en la misma proporción en el ánodo, el proceso de niquelado puede operar sin interrupción durante periodos prolongados.

La cantidad de níquel depositado en el cátodo está determinado por la cantidad de corriente (amperios) multiplicado por el tiempo de proceso (horas). En condiciones ideales, 26.8 A/h depositan 29,4 gramos de níquel. El rendimiento de estos electrolitos es casi optimo cercano al 100% existiendo una ligera diferencia el porcentual anódico y

el catódico. Estos se deben a que un pequeño porcentaje de la corriente circulante total es consumida en disociar iones hidrógeno sobre el cátodo.

El rendimiento catódico real oscila entre 93 - 98 %, mientras que el anódico es del 100%. Esta pequeña diferencia, hace que la solución tienda a incrementar su concentración de iones níquel y a subir su pH lentamente en la medida en que la misma es utilizada. Las posibles variaciones mencionadas deben ser controladas y corregidas en forma periódica.

La cantidad de níquel depositado sobre una pieza determinada, será directamente proporcional a la corriente que llegue a la misma. Las zonas hundidas, tendrán menor densidad de corriente (A/dm^2) que el resto de la pieza, por consiguiente, el espesor del depósito será menor en estas zonas que en el resto. Además los ángulos, las líneas de corriente, ingresan a la superficie de la pieza formando un ángulo de 90° , favoreciendo esto la diferencia de espesores que habitualmente se observa en casi todos los baños electrolíticos.

3.2.1 *Baños de níquel en procesos decorativos.* Las soluciones para niquelado decorativo difieren de otras usadas para otros propósitos, por la característica de contener aditivos orgánicos los cuales modifican el crecimiento del depósito de tal modo que este puede ser brillante, semibrillante o satinado.

Los constituyentes básicos: sulfato de níquel, cloruro de níquel, ácido bórico y agua tienen los mismos propósitos que en las soluciones Watts cuya composición típica y condiciones de operación se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 9. Composición típica de una solución WATTS

COMPONENTES	CANTIDAD Y CONDICIONES
Sulfato de níquel	240 - 300 g/l
Cloruro de níquel	40 - 60 g/l
Ácido bórico	25 - 40 g/l
Temperatura	25 - 50 °C
Agitación	Aire
pH	4 - 5

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

El sulfato de níquel es la principal fuente de iones de níquel en una formulación de este tipo, y su concentración limita la densidad de corriente del baño. En general, aumentando la cantidad de sulfato, se incrementara la densidad de corriente y debido a ello se obtendrán mayores velocidades de depósito. El cloruro de níquel incrementa la corrosión anódica (disolución del ánodo para formar iones níquel) y la conductividad del electrolito. Al incrementar la conducción de la solución se puede reducir el voltaje para lograr la misma densidad de corriente. El ácido bórico estabiliza el pH de la solución y ayuda a producir depósito más blancos, lisos y dúctiles. El agua se requiere para disolver los productos y debe ser pura. Los anti poros aniónicos y agentes humectantes evitan la formación de poros, como consecuencia de la formación de burbujas de hidrogeno que se adhieren a las piezas que se niquelan. Humectantes no espumantes son utilizados para bajar la tensión superficial en las soluciones agitadas por aire.

La composición y condiciones de operación dadas en la Tabla 9. para las soluciones Watts son típicas para muchas de las soluciones de niquelado decorativo, pero existe una amplia variación en las concentraciones de sulfato y cloruro de níquel. Por ejemplo, al aumentar la concentración de cloruro respecto a la de sulfato de níquel se pueden obtener altas velocidades de deposición, sobre todo en algunos procesos de patente, los cuales contienen una alta concentración de cloruro de níquel. Desde el momento en que la mayoría de la soluciones de níquel decorativo son patentadas, las concentraciones y condiciones de operación deben ser controladas dentro de los límites recomendados por el proveedor.

3.2.2 *Baños de níquel brillante.* La mayoría de las soluciones de níquel decorativo contienen aditivos orgánicos los cuales modifican el crecimiento del depósito de níquel hasta llegar a un brillo total de depósito, el cual puede ser cromado inmediatamente sin pulido mecánico previo.

Varias sustancias orgánicas se usan en concentración adecuadas, para dar brillo, nivelación y controlar las tensiones internas. Algunas porciones de estos aditivos se incorporan al depósito, dando como resultado una capa dura, de grano fino, la cual también contiene azufre. El azufre hace que el depósito sea electroquímicamente menos noble que aquellos depósitos de níquel puro, por la razón anterior los depósitos de

níquel brillante son menos resistentes a la corrosión que los depósitos de níquel opaco o semibrillante, los cuales están libres de azufre. Los productos de descomposición de los aditivos que se forman en el baño se remueven con carbón activado.

En las soluciones modernas la filtración continua a través de carbón activado, puede remover los productos de descomposición sin remover en forma significativa los propios aditivos. En las soluciones modernas, un sistema de abrillantadores comprende varios aditivos, los cuales producen brillo en un amplio rango de densidades de corriente. Esto se manifiesta en piezas que tienen un diseño complicado y con huecos profundos.

Los abrillantadores se dividen en primarios y secundarios aunque esta división no es tan drástica. Los abrillantadores primarios tienen un poderoso efecto en el depósito y son normalmente usados en bajas concentraciones, las cuales son cuidadosamente controladas. Los abrillantadores primarios, con frecuencia, a altas concentraciones afectan adversamente las propiedades mecánicas del depósito.

Los abrillantadores secundarios tienen un efecto menor en el depósito cuando se usan solos y modifican el efecto de los abrillantadores primarios. Acertadamente, las combinaciones de abrillantadores primarios y secundarios dan un brillo total, relativamente dúctil y con bajas tensiones internas.

La mayoría de los electrodepósitos tienen una apreciable cantidad de tensiones internas.

3.2.3 *Baños de níquel semi brillante.* Las soluciones de níquel semibrillante contienen sulfato de níquel, cloruro de níquel, ácido bórico y un agente nivelador como cumarina o alcoholes acetilénicos. Como su nombre lo indica, el proceso produce un depósito semi lustroso. El depósito es terso y tiene una estructura columnar que es diferente a la estructura laminar de los depósitos brillantes.

Se ha desarrollado para facilitar el pulido y abrillatado ya que el níquel semi brillante se puede pulir a un acabado de espejo. Los esfuerzos para eliminar el pulido han llevado al uso de la combinación de depósitos de níquel semi brillante y brillante. Esto subsecuentemente lleva al uso de capas múltiples de níquel, no solamente para disminuir el pulido, sino para aumentar la resistencia a la corrosión del níquel decorativo.

3.2.4 *Capas de níquel sencillas y múltiples.* Las capas de níquel sencillas son decorativas y adecuadas para usarse como protección anticorrosiva mediana poniendo espesores de aproximadamente de 5 a 12 micras. No son adecuados para condiciones severas de corrosión, para las que se requieren capas dobles de níquel. Las capas dobles de níquel consisten en una primera capa de níquel de alta nivelación libre de azufre, recubierta con suficiente níquel brillante, lo cual requiera un mínimo (o nulo) pulido mecánico posterior.

Debido a que la capa de níquel semibrillante y libre de azufre es electroquímicamente más noble que la superior de níquel brillante, cuando haya ataque por corrosión, ésta actuará sobre el níquel brillante formando una picadura con fondo plano. Este proceso hace que se retarde la acción de penetrar en la siguiente capa hasta que parte de la capa brillante desaparezca. En la práctica los sistemas de doble capa muestran una importante mejora en la resistencia a la corrosión sobre los sistemas de capa simple. Otra alternativa, aunque de uso limitado, es la capa triple de níquel. En este sistema, las capas de níquel semibrillante y brillante están separadas por una capa delgada de níquel, la cual es electroquímicamente menos noble que las otras dos capas. Cuando este recubrimiento de triple capa es sometido a un ataque corrosivo, después de que dicha corrosión penetra el níquel brillante, la corrosión prosigue en forma lateral bajo el níquel brillante. El producto de la corrosión no es voluminoso y el único signo visible de corrosión después de un extenso periodo de servicio es un ligero picado en la superficie.

3.2.5 *Defectos y causas para el baño de níquel.*

Tabla 10. Defectos y causas para el baño de níquel

DEFECTO	CAUSA
Deposito "Quemado".	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad de corriente muy alta. • Colgado inadecuado de la pieza. • Temperatura muy baja. • Concentración de níquel muy baja. • Concentración de ácido bórico muy baja. • Distancia ánodo – cátodo insuficiente. • Presencia de impurezas orgánicas. • pH muy alto. • Cloruros muy bajos.

Deposito con piquete.	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración de agente humectante muy baja. • Contaminación orgánica. • Contaminación por aceites y grasas. • Material coloidal en suspensión. • Aire finamente disperso aspirado a través del empaque del filtro o en la bomba de circulación.
Deposito rugoso.	<ul style="list-style-type: none"> • Aire sucio proveniente de la agitación. • Partículas carbonosas (bolsas de los ánodos rasgadas). • Sulfato de calcio precipitado. • Ácido bórico precipitado. • Silicón y silicatos. • Areniscas provenientes del área de pulido. • Material ayuda filtro (bolsas de la filtración rotas o técnicas de empaqueo incorrectas). • Hidróxido de aluminio e hidróxido de hierro precipitados. • Falta de filtración o técnicas de filtración incorrectas.
Deposito con nivelación inadecuada.	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración de abrillantador secundario muy baja. • pH muy bajo. • Temperatura muy baja. • Espesor insuficiente. • Contaminación orgánica. • Concentración de níquel muy baja.
Falta de brillo.	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración muy baja de los agentes individuales de adición. • pH muy bajo. • Temperatura muy alta en presencia de contaminación inorgánica (afecta las áreas de baja densidad de corriente). • Contaminación inorgánica (afecta las áreas de baja densidad de corriente). • Contaminación orgánica. • Limpieza deficiente. • Preparación del metal base deficiente. • Recubrimiento de cobre pobre. • Exceso de agente humectante. • Enjuague deficiente.
Falta de ductilidad.	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación muy alta de abrillantador secundario. • Temperatura muy baja. • Contenido de níquel muy bajo. • Presencia de impurezas metálicas. • Contaminación orgánica. • Densidad de corriente muy alta.

	<ul style="list-style-type: none"> • Productos de la oxidación debido a la polarización anódica. • Concentración baja de abrillantadores primarios.
Pobre poder de cubrimiento (áreas sin depósito).	<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza inadecuada. • Contaminación con plomo. • Concentración extremadamente alta de abrillantador secundario. • Agentes individuales de adición fuera de balance.

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

Entre las principales causas de defectos en los baños de Níquel encontramos que dependen de las impurezas encontradas en los baños o electrolitos, a continuación se indica la tabla de impurezas metálicas comúnmente encontradas en los baños de níquel.

Tabla 11. Impurezas metálicas encontradas en los baños de níquel

IMPUREZA	CONCENTRACION MAXIMA (PPM)	EFECTO	REMOCION
Cobre	30	Zona de baja densidad de corriente.	Electrolisis a 0.54 A/dm ²
Zinc	20	Zonas oscuras y franjas negras.	Purificador de níquel.
Hierro	50	Depósitos rugosos finos, manchas blancas, nubosidad, puntos café en las bolsas de los ánodos.	Filtrar.
Fosfatos	1000	Quemado.	Ajustar el pH a 5 y filtrar
Estaño	50	Zonas negras y/o sin depósito.	Adicionar H ₂ O ₂
Cromo	10	Zona sin depósito a ampolladas.	1.5g/l de sulfuro de sodio.
Plomo	2	Zonas grises/quebradizas.	Purificador de níquel.
Calcio	200	Rugosidad en forma de agujas.	Calentar a 66°C y filtrar.
Sílice	50	Rugosidad.	Filtrar.

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

3.3 Baños de cromo.

Generalmente las soluciones de ácido crómico se utilizan para fines decorativos y para trabajos de ingeniería en los cuales son necesarios espesores y dureza apreciables. El depósito es altamente reflejante y se mantiene en servicio debido a que es muy resistente a las manchas, a la corrosión, a la abrasión y a las rayaduras. El cromo es un recubrimiento casi exclusivo para el electrodepósito de níquel, el cual puede ser

fácilmente aplicado sobre sustratos tales como plásticos, acero, aluminio, aleaciones de cobre y zinc. El níquel tiene esta preferencia ya que protege al sustrato de la corrosión, y ayuda al depósito de cromo a tener un color blanco. El acero inoxidable es el único sustrato que es directamente recubierto con cromo.

En los baños de cromo duro, usados en las aplicaciones de ingeniería, se pueden obtener depósitos hasta de varios milímetros de espesor. Con este tipo de soluciones se obtienen excelentes resultados para ambos usos.

Para fines decorativos, se aplica el cromo sobre una base de níquel perfectamente activada, para la opción de espesor, se buscan electrolitos de alta velocidad de depósito.

La formulación de los procesos tradicionales, llamados baños convencionales contienen cromo hexavalente y el ion sulfato como el único catalizador. Las soluciones de cromo estándar poseen dos elementos constitutivos: el trióxido de cromo en escamas (CrO_3), el cual al combinarse con el agua se transforma en ácido crómico (H_2CrO_3), y el ion sulfato (SO_4^{-2}), cargado a la solución mediante la adición de ácido sulfúrico. Existen formulaciones que reemplazan el ácido sulfúrico por el ácido fluorhídrico.

El ácido crómico se adiciona en una proporción de 125 a 375 g/l. El punto crítico de este electrolito es la relación existente entre el ácido crómico y el ion sulfato el cual debe ser de 100 a 1. También se utilizan relaciones de 80:1 y 130:1. Las soluciones cuya relación es de 80:1 tienen escaso poder de recubrimiento y poca penetración, y las de 130:1 tienen un régimen de depósito lento y se obtiene una película sin cuerpo.

3.3.1 *Baños de cromo auto regulable.* Las formulaciones más reciente utilizan una combinación de iones sulfato, fluoruro y sílicofluoruro. Estos tipos de baños, poseen la cualidad de auto regularse, ya que los iones mencionados funcionan como agentes catalíticos dentro de la solución. De ahí que estos baños se denominen “auto regulables”.

La auto regulación se obtiene adicionando las sustancias catalizadoras como una sal soluble de los iones deseados, donde la constante de solubilidad mantiene el control de la concentración.

El análisis de las soluciones de cromo es crítico aunque este pueda parecer sencillo.

Cuando el operador logra un conocimiento pleno de este baño, puede mantener la solución haciendo pruebas en la tina, analizando la solución en el laboratorio o bien realizando pruebas en una celda Hull.

Algunas formulaciones típicas se describen en la siguiente tabla:

Tabla 12. Composición de los baños de cromo

COMPONENTES	BAÑO A (g/l)	BAÑO B (g/l)	BAÑO C (g/l)
CrO_3	206	337.5	162.5
SO_4^{-2}	2.06	3.37	1.25
F	-	-	0.69

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

La formulación A es la formulación más antigua de las tres (baño convencional), fue utilizada durante mucho tiempo, obteniéndose depósitos con buena cobertura, moderada activación y considerable eficiencia de corriente. Actualmente se sigue usando ya que es una formulación muy sencilla y con resultados muy aceptables.

El baño B (baño convencional concentrado) tiene mejor cobertura que el A, y es más tolerante a las impurezas, pero es más costoso ya que posee mayor concentración y se necesita un tratamiento exhaustivo en el tratamiento de aguas residuales.

El baño C (baño auto regulable) es el más moderno de los tres. Por tener en su formulación catalizadores mixtos, tiene la ventaja de una eficiencia de corriente 50% mayor que la formulación A y B, además posee mejor activación para depositar cromo sobre níquel brillante.

Es importante mencionar que se obtienen depósitos mejores y de mayor cobertura a bajas temperaturas, pero en esas condiciones se deberá trabajar con menor densidad de corriente para prevenir el “quemado”. La velocidad de depósito es proporcionalmente más lenta y por lo tanto el objeto a cromar debe tener mayor tiempo de residencia en el proceso para la obtención de un espesor equivalente.

Las zonas de “quemado” son una complicación y deben ser controladas. Si es posible, se debe disponer dentro del electrolito de paneles plásticos que funcionen como pantallas protectoras para “ocultar” del flujo directo de iones a las zonas más críticas (por alta densidad de corriente) de las piezas a tratar, y así desviar o atenuar los campos de corriente sobre dichos sectores dentro del baño.

La finalidad de esto es evitar puntos de alta concentración iónica sobre la superficie a depositar. A continuación se muestran las condiciones típicas de operación:

Tabla 13. Condiciones de operación típicas de los baños de cromo

CONDICIONES	TÍPICA	RANGO
Temperatura	40°C	32 a 50°C
Densidad de corriente	15.5 A/dm ²	4 a 31 A/dm ²
Agitación	Recomendable	Recomendable
Voltaje de operación	5V	3 a 8V
Relación ánodo/cátodo	2:1	1:1 a 3:1
Composición de los ánodos	Pb 93% - Sn 7%	Pb 93% - Sn 7%

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

3.3.2 Baños de cromo duro. Para depósitos de cromo duro o de alto espesor, existen tres formulaciones básicas.

La corriente y la temperatura, junto con la concentración de ácido sulfúrico y ácido crómico, son las cuatro variables más significativas a tener en cuenta dentro de este tipo de electrolitos.

Tabla 14. Formulaciones para cromo duro

COMPONENTES	BAÑO CONVENCIONAL	BAÑO CON MEZCLA DE CATALIZADORES	BAÑO LIBRE DE FLUORUROS CON ADITIVOS
CrO ₃	247g/l	240	247g/l
SO ₄ ⁻²	2.47g/l	1.2	2.47g/l
Si ₆ ⁻²	-	2.25	-

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

Una película obtenida bajo una densidad de corriente de apenas 20A/dm² y una temperatura de 85°C tiene una dureza de solo 400 Vickers. Este dato refleja la importancia de los dos primeros factores mencionados (corriente y temperatura). La baja dureza obtenida se debe a que el baño fue operado a baja densidad de corriente y a muy alta temperatura. De hecho, la dureza debe estar en el rango de 900 a 1000 Vickers o más. Es importante que los ánodos y las piezas a recubrir mantengan una distancia constante a lo largo de toda la superficie, para poder lograr de esta forma un espesor homogéneo, bien distribuido en todas las zonas de la misma.

En la industria de cilindros para imprenta, se deposita cromo duro sobre cilindros de cobre o con una película inicial de este metal. Para que el depósito obtenido de cromo tenga un espesor lo mejor distribuido y no tienda a ovalizar el cilindro, es indispensable la rotación continua del mismo dentro del electrolito.

La dureza de los depósitos está influida por la temperatura y la densidad de corriente de trabajo, esto puede considerarse en función de las pruebas detalladas a continuación:

La conductividad del baño aumenta con la temperatura, pero este factor no resulta determinante sobre la dureza en los baños de cromo duro.

El poder de penetración del baño decrece con el aumento de temperatura. El punto óptimo se encuentra entre 50 y 55°C, trabajando con altas densidades de corriente.

A temperatura constante, el incremento de la densidad de corriente provoca un cambio de características en la película obtenida. Normalmente a 20 A/dm² se producen depósitos de un aspecto lechoso y de baja dureza. Mientras que trabajando a 50 A/dm² la capa se torna más brillante y dura. De seguir incrementándola hasta 80 A/dm² se obtienen depósitos quebradizos con tendencia a la rotura y al desprendimiento.

Manteniendo la densidad de corriente constante y variando la temperatura en el rango de 30°C y hasta 70°C, se observa que a menor temperatura las capas son de aspecto mate, rugosas y con una alta tensión; a temperatura media las capas son lisas y brillantes y a máxima temperatura las capas son blandas, dúctiles y de color blanco lechoso.

3.3.3 Fuentes de corriente. Los baños de cromo se diferencian de otros sistemas de deposición metálica por la exigencia que estos imponen en relación a la corriente circulante entre electrodos.

La intensidad total que deberá ser entregada por el equipo rectificador dependerá de la cantidad de superficie catódica que se desea procesar por cada carga de trabajo en el baño de cromo. En función de fijar la superficie máxima, se deberá seleccionar el rectificador a utilizar. Es más que suficiente que el rectificador provea de 8 a 10 Volts.

La corriente entregada por el rectificador debe estar libre de “ripple” o saltos de corriente. El “ripple” proviene del proceso de conversión de la corriente alterna a la

corriente continua. La resultante del rectificador de la corriente alterna no es una corriente continua pura, sino una corriente unidireccional pulsante, estos deben cumplir con las siguientes características:

El “ripple” que pueda tener el equipo en plena carga, es decir, entregando corriente máxima al baño, no debe ser superior al 10%, preferentemente menor al 5% del valor del voltaje aplicado entre electrodos.

A la salida del equipo rectificador, no deben existir pulsos de corriente inversa bajo ninguna circunstancia.

3.3.4 Ánodos. En los baños de cromo se utilizan ánodos insolubles y es por ello que el mantenimiento de la concentración metálica se realiza mediante la adición de sales de **CrO₃**.

Antiguamente se utilizaban ánodos de hierro pero generalmente no eran aceptables ya que incorporan hierro a la solución y permiten el incremento de cromo trivalente.

Los más usados son los ánodos confeccionados en aleaciones de plomo, normalmente con un contenido del 7% de estaño o con un 6% de antimonio. Estos metales en aleación oxidan al cromo trivalente volviéndolo a su estado hexavalente durante el proceso de electrolisis.

Durante el proceso de electrolisis, los ánodos de plomo tienden a formar una película de dióxido de plomo la cual debe ser eliminada periódicamente de la superficie de los mismos, removiéndolos del baño y lavándolos fuera de él.

En la Tabla 15. se indican los defectos, causas y soluciones para el baño de cromo.

Tabla 15. Defectos, causas y soluciones para el baño de cromo

DEFECTO	CAUSA	SOLUCIÓN
El depósito se ampolla o se desprende del material base.	Debido invariablemente a escasa adhesión del recubrimiento de níquel subyacente que se desprende bajo las tensiones provocadas por el recubrimiento de cromo.	Compruébese la eficiencia de la limpieza antes del niquelado. Asegúrese que el baño de niquelado este en buenas condiciones. Los recubrimientos de níquel quebradizos y escasamente adherentes no pueden resistir la

		acción de un cromado.
Recubrimiento que se exfolia en forma de polvo fino metálico, impalpable y sin adherencia, en algunas zonas, al salir del baño.	Se trata siempre de una segunda capa de níquel muy fina, no adherida que se pulveriza bajo la acción de la electrolisis.	En estos casos deben evitarse las interrupciones de corriente que en el níquelado pueden provocar la formación de dos películas mal adheridas.
Cromado de un color débilmente azulado a pesar de prolongar el tiempo de exposición dando la sensación de tener poco cromo, dificultando el distinguirlo de las piezas níqueladas.	Debido en general, a un exceso de hierro que afecta de esta forma el color del cromo.	No existen métodos prácticos para eliminar esta impureza. Si el análisis señala que el contenido de hierro no es excesivo, será suficiente aumentar la cantidad de ácido crómico para que el color vuelva a ser normal. Si el contenido es superior a 20 g/l, es mejor diluir el baño o sustituirlo total o parcialmente. Es preferente evitar las adiciones de sulfato de cobre, de cobalto u otras que a veces se aconsejan.
El depósito es áspero, gris mate y arenoso en las extremidades de la pieza.	1) Deposito quemado por excesiva densidad de corriente. 2) Temperatura excesivamente baja.	1) Reducir la tensión, y si se recubren pequeñas piezas con ángulos salientes, suspéndaselas entre otras grandes piezas en el baño y dispóngaselas de forma que los bordes agudos se dirijan hacia arriba o en dirección opuesta a los ánodos. 2) Agítase cuidadosamente la solución y compruébese su temperatura. Cuando se tratan piezas de gran volumen, es aconsejable calentarlas antes de colocarlas en el baño, pero no deben calentarse más de la temperatura normal del trabajo del cromo.
Depósitos principalmente brillantes, pero ensuciados por tizne y lunas mates.	Presencia de grasa en el depósito subyacentes de níquel.	Elimínese el recubrimiento de la pieza, aclárese, séquese y afínese de nuevo el recubrimiento de níquel sobre un disco blando, evítase esta acción teniendo cuidado de limpiar la superficie de la pieza de grasa en el acabado de níquel, y no sobrecalentando la superficie por aplicación de excesiva presión

		durante esta operación de pulido.
<p>Discontinuidad de recubrimiento de cromo dejando visible el níquel en ciertos puntos.</p> <p>Este defecto se ve más fácilmente cuando se examina la pieza con luz difusa bajo una hoja de papel de seda.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Temperatura de la solución electrolítica demasiado alta. 2) Conexiones anódicas sucias. 3) Mal contacto, ya sea entre la pieza y el elemento de suspensión o entre este y la barra catódica. 4) Ampollamiento de una pieza por otra. 5) Solución fuera de equilibrio, puesto en evidencia por un cromado mate y un desprendimiento intermitente de gases en la inmediación del cátodo durante el recubrimiento. 6) Cuando el defecto toma forma de pequeñas manchas sin depósito alrededor de los agujeros, partes recónditas, bordes toscos o partes inferior de la pieza, el defecto es generalmente debido a la formación de bolsas de gas o burbujas del mismo que han quedado adheridas o por el barrido de la corriente de gas procedente de tales bolsas. También puede ser debido a un exceso de cromatos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Hágase circular agua fría por la camisa exterior del baño de cromado y déjese sin funcionar el baño hasta que su temperatura sea la normal. 2) Límpiense las barras y ganchos. 3) Elimínese frecuentemente los recubrimientos de cromo de los contactos de suspensión y asegúrese de que todas las conexiones sean seguras y limpias. 4) No se sobrecargue el baño y evítese el ampollamiento de unas piezas por otras asegurando que se encuentran en línea recta con los ánodos. 5) Sométase una muestra de la solución a un análisis. En espera del resultado del mismo, la densidad de la solución debe ser mantenida solamente con ácido crómico. <p>Tapónese todos los agujeros y grietas y suspéndanse las piezas de tal forma que se evite la formación de bolsa de gas. Se necesitan ánodos auxiliares para recubrir el interior de vajilla hueca, pero en cualquier caso el recubrimiento de cromo puede ser aplicado en el interior de las partes con un golpe de corriente introduciendo las piezas en el baño con sobre voltaje durante unos 15 o 20 segundos. Se utilizan unos 5 voltios y luego se continúa el recubrimiento a unos 4 voltios durante el tiempo necesario.</p>
<p>Zonas sin cromar en piezas grandes o en hiladas de piezas, mientras que las piezas pequeñas suspendidas una a una quedan perfectamente cromadas.</p>	<p>Inestabilidad del baño que solo se manifiesta cuando este es nuevo y es consecuencia de la falta de cromatos.</p>	<p>Hacer funcionar el baño con una superficie anódica insuficiente hasta que se corrija el defecto.</p>

<p>Inestabilidad del baño sin que ningún factor haya cambiado. Es imposible cromar las superficies grandes y no obstante, sin que nada haya cambiado, es posible hacerlo en la carga siguiente.</p>	<p>Es consecuencia de la falta de cromatos que se manifiesta en los baños nuevos.</p>	<p>Hacer funcionar el baño con una superficie anódica insuficiente hasta que se corrija el defecto.</p>
<p>Piezas sin recubrimiento de cromo en el centro y quemadas en sus extremos.</p>	<p>Exceso de ácido sulfúrico.</p>	<p>Previa determinación del contenido en sulfatos se corregirá el exceso por adición de carbonato de bario. Dicho contenido podrá ser distinto según la temperatura a la que el baño se utiliza.</p>
<p>Película muy débil o nula.</p>	<p>Pasividad del recubrimiento de níquel, debido a la formación de una capa invisible de óxido sobre él, que hace difícil el cromado.</p>	<p>Lávese, séquese y afínese el recubrimiento de níquel en un disco de tela blanda. Crómese sin demora las piezas después de lavadas, a la salida del baño de níquelado brillante. No se laven las piezas en agua caliente ni se sequen antes del cromado, las piezas níqueladas mate deben cromarse lo antes posible después de abrillantadas.</p>
<p>Película muy débil o nula a pesar de un fuerte desprendimiento gaseoso en los electrodos.</p>	<p>1) Caso raro producido por la adición errónea masiva de ácido sulfúrico con desprendimiento gaseoso intermitente. 2) Débil concentración de ácido crómico 120-150 g/l, si el desprendimiento gaseoso no es intermitente.</p>	<p>1) Previa determinación exacta de sulfato se corregirá el exceso por los métodos habituales. 2) Corregir la densidad del baño por adición de la cantidad correspondiente de ácido crómico.</p>
<p>Recubrimiento parcial, zonas irregulares al descubierto en cualquier parte de la superficie, en partes recónditas o en zonas alejadas de los ánodos, donde la densidad de corriente efectiva es baja.</p>	<p>1) Solución fuera de equilibrio. 2) Desigual distribución de la corriente. 3) Intensidad de corriente demasiado baja. 4) Elevada temperatura del baño. 5) Contenido excesivo de cromo trivalente en la solución, revelado por el análisis.</p>	<p>1) Sométase una muestra a análisis. 2) Sepárense las piezas de forma que no se hagan mutuamente efecto de pantalla, si es necesario, redistribúyanse los ánodos y utilícense ánodos auxiliares. 3) Auméntese la densidad de corriente, asegúrese de que los contactos son eficientes y de que los elementos de suspensión son capaces de transportar la intensidad necesaria.</p>

		<p>4) Enfríese la solución o actúese contra el escaso rendimiento catódico aumentando la densidad de corriente.</p> <p>5) Se evitara una mayordeterioración del baño aumentando la superficie anódica y se utilizarauna célula oxidante o descromatador paraconvertir los compuestosde cromo trivalente en ácido crómico.</p>
Falta de recubrimiento	<p>1) Falta de recubrimiento.</p> <p>2) Defecto de la solución; contaminación con ácido clorhídrico o solución fuera de equilibrio por introducción de ácido sulfúrico procedente del tanque de decapado</p>	<p>1) La polaridad invertida se pone de manifiesto por un ataque enérgico de la superficie de las piezas. Compruébese la polaridad, límpiase todos los contactos,examínese los ánodos y compruébese las condiciones eléctricas generales.</p> <p>2) La contaminación con ácido clorhídrico se indica por la corrosión de los ánodos. Deben tomarse todas lasprecauciones para evitarla introducción de este que es más perjudicial y no puede eliminarse fácilmente. Por esta razón todas las piezas, en especial las huecas,deben sercuidadosamente aclaradas. El ácido sulfúrico puede sereliminado porprecipitación con carbonato de bario,previa determinación de la cantidad necesaria mediante análisis de la solución de cromo.</p>
Recubrimiento de cromo gris y mate,pero liso.	<p>1) Contacto intermitente.</p> <p>2) Temperatura excesiva de las piezas en el momento de efectuar la carga.</p>	<p>1) Límpiense todas las barras y conexiones, y asegúrese un buen contacto.</p> <p>2) Las piezas que se han calentado durante las operaciones de repulido del depósito de níquel, deben dejarse enfriarhasta que su temperatura no sea superior</p>

		que la de la solución de cromado.
Recubrimiento de cromo gris mate rugoso, granular en los extremos de la pieza.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Recubrimiento quemado debido a utilizar excesiva densidad de corriente. 2) Temperatura demasiado baja. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Redúzcase la tensión y si se recubren pequeñas piezas con puntas agudas cuélguese en el baño entre otras piezas grandes y dispóngase la proyección de las aristas aseguradas en dirección hacia arriba o en dirección opuesta a los ánodos. 2) Agítase cuidadosamente la solución electrolítica y tómese la temperatura cuando se trabaja con piezas grandes es aconsejable calentarlas antes de colocarla en el baño pero no deben sobrepasar la temperatura normal de trabajo del baño.
Manchas de color pardo o iridiscente en las piezas a la salida del baño.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Las manchas son visibles sobre toda la superficie de las piezas lo mismo que en la interior que en la exterior. En un baño con un contenido normal de ácido crómico y exento de impurezas, este fenómeno es indicador de falta de ácido sulfúrico. 2) Las manchas aparecen solo en partes mates y en los interiores, indicio de muy débil densidad de corriente. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Efectúese el análisis del baño y la corrección correspondiente. 2) Asegúrese primero que las manchas no provienen de una deficiencia de contacto o una mala repartición de corriente en especial. Para comprobar la insuficiencia de sulfatos, se coloca en el baño de cromo una placa niquelada, pulida en una de sus caras y dejada la otra mate electrolizando con una corriente normal correspondiente a una tensión de 3 voltios y asegurando un contacto perfecto con la barra catódica. Si la parte pulida queda manchada con un velo pardo y la parte mate completamente parda, la insuficiencia de sulfato queda demostrada sin lugar a dudas; pero si solo aparecen unas pequeñas manchas en la zona pulida, el baño está muy cerca de su contenido normal de

		sulfato. Analizar el baño.
Corrosión de los ánodos o incapacidad para mantener sobre ellos la película necesaria de Oxido de plomo.	Contaminación de la solución con cloruros o ácido clorhídrico. En este caso los depósitos de cromo pueden resultar quemados o de aspecto rugoso y gris a causa de la extraordinariamente elevada intensidad que se consigue a tensión normal, debido a la ausencia de la película de peróxido en los ánodos.	Debe comprobarse la presencia de cloruros mediante análisis de la solución, y evitar una ulterior contaminación dedicando especial atención al lavado y escurrido de todas las piezas huecas, que se han colocado en el baño de ácido clorhídrico con el fin de eliminar un recubrimiento de cromo. No es fácil eliminar por métodos químicos los cloruros del baño de cromado, y si la contaminación es importante existe la posibilidad de que los ánodos sean seriamente atacados antes de la eliminación de la impureza como cloro.
Disgregación del metal de los ánodos que se desprende en forma de escamas, y corte o ruptura limpia de los mismos precisamente en la línea marcada por el nivel del baño o por último, una deformación de los mismos, curvándose en su parte inferior.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Los ánodos son de mala calidad. 2) El baño ha sido preparado con sales llamadas conductoras que atacan al plomo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Determinar la calidad de los ánodos mediante el análisis. La composición más indicada para los baños de funcionamiento intermitente es, para los ánodos plomo-antimonio, 96/6. Por el contrario en un trabajo continuo, el antimonio activa ligeramente la corrosión del ánodo. 2) Se evitaban las adiciones aconsejadas por ciertos autores con el dudoso objeto de aumentar el poder de penetración o de mejorar el rendimiento, por ser la composición más simple del baño la que menos problemas suele dar.
Contaminación de la solución con metales extraños, según revela el análisis.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Provocada por las piezas o alambres de suspensión caídos al fondo de la tina. 2) Contaminación procedente del interior de las piezas huecas. 3) La práctica de cromar directamente sobre piezas de cobre o latón sin un 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Rastrílese el interior con un rastrillo de hierro y recupérese cualquier pieza perdida. Por ser anódico el hierro se ataca solo lentamente, pero el latón y otros metales no féreos, tales como el cobre y el zinc, se atacan rápidamente y provocan

	recubrimiento previo de níquel.	<p>la deterioración del baño a menos que se eliminen inmediatamente del mismo.</p> <p>2) Cuando sea posible, tapónese las partes huecas para evitar el ingreso de la solución. No se utilice la tina de recuperación con el fin de adicionar al baño la solución obtenida cuando se traten piezas de latón o similares.</p> <p>3) La práctica del cromado directo no es aconsejable, si es inevitable y se usa para la vajilla de mesa de alpaca, las piezas deben recibir, al introducirse en recibir, al introducirse en el baño toda la tensión inmediatamente.</p>
El baño precisa frecuentes adiciones de ácido.	<p>1) Insuficiente superficie anódica.</p> <p>2) Llevar las piezas al baño con suciedad o materias grasas en su superficie.</p> <p>3) El contenido de hierro aumenta, ya sea por ataque a las paredes y fondo de la tina o bien por trabajar con ánodos de hierro.</p> <p>4) Rápida renovación del baño por existir un considerable arrastre de la solución, en especial en tinas pequeñas con trabajo intenso de grandes superficies o piezas huecas.</p>	<p>1) Restablecer la suficiente superficie anódica.</p> <p>2) Como en el caso anterior el fenómeno es debido al rápido aumento de cromatos. En este caso se remedia evitando la impurificación del baño.</p> <p>3) Recubrir la tina con korroseal y utilizaránodos de plomo, y no dejar en contacto las piezas de hierro con la solución un tiempo apreciable son aplicar corriente. Como no existen medios realmente prácticos para eliminar el hierro solo pueden recurrirse a la sustitución parcial del baño cuando no sea posible sacar ninguna pieza correcta.</p> <p>4) Estas adiciones son perfectamente lógicas para mantener en condiciones correctas la relación crómico/sulfato, pues en este caso se requieren también frecuentes adiciones de ácido</p>

		crómico para poder mantener la densidad del baño.
El baño requiere frecuentes adiciones de ácido crómico	<ol style="list-style-type: none"> 1) Trabajo muy intenso en relación con la poca capacidad del baño. 2) Enriquecimiento del baño en cromatos. 3) Demasiado arrastre. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Es lógico y natural que deba compensarse el metal depositado mediante la adición de ácido crómico. 2) La adición de ácido crómico no hace más que restablecer la relación crómico-cromatos como consecuencia del enriquecimiento del baño en cromatos. Sin embargo, este proceder es erróneo y una vez comprobada la causa es preferible reducir el contenido de cromatos y evitar que se formen nuevamente. 3) Cuidar de escurrir las piezas más eficazmente.
La densidad del baño no se altera	Este ilógico comportamiento debe poner en guardia al cromador pues la mayor parte de los casos la causa que lo produce es la formación de cromatos.	Debe buscarse la causa de la formación de cromatos y hacer lo necesario para eliminar sus efectos antes de que el contenido de cromatos sea el suficientemente elevado para inutilizar el baño, ya que su restablecimiento será difícil y costoso.
Trabajo perezoso del baño, debido a la alteración de la solución por reducción de ácido crómico o compuestos de cromo trivalente	<ol style="list-style-type: none"> 1) Superficie anódica demasiado pequeña, o debido a la falta de funcionamiento de algunos ánodos que llegan a quedar recubiertos de incrustaciones de cromato de plomo. 2) Contaminación de la solución con materia orgánica tal como aserrín o causada por uso excesivo de plastilina o material similar para tapar agujeros en las piezas antes de colocarlas en el baño. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Es necesario que la superficie anódica activa sea un 20% mayor que la de las piezas en el baño. Los ánodos deben efectuar un buen contacto eléctrico con las barras y deben estar recubiertos de una película de peróxido de plomo. Si se forma en la superficie una gruesa incrustación de cromato, deben limpiarse por inmersión en ácido clorhídrico, luego se lavan con agua y cualquier incrustación que permanezca en la superficie se elimina con un cepillo de alambre. Deben limpiarse barras

		<p>y conexiones y recubrir losánodos haciéndolos funcionar en el baño a la máxima tensión e intensidad hasta que queden recubiertos de una película colorchocolate oscuro de peróxido. Si porcualequier razón no puede utilizarse una superficie anódicasuficiente, se aconseja eempleo periódico deldispositivo descromador.</p> <p>2) Contaminación de la solución con materia orgánica tal como aserrín o causada poruso excesivo de plastilina o materialsimilar para taparagujeros en las piezasantes de colocarlas en elbaño.</p>
El baño se vuelve viscoso denso y oscuro	<p>1) Fuerte contaminación porcromatos que no solo dan un tono rojo-oscuro, sino que vuelve el baño denso y viscoso.</p> <p>2) Hierro en exceso</p>	<p>1) El color normal de un baño correcto es rojo tanto más fuerte cuando mayor es su concentración siendo esta impureza esencialmente perjudicial, esconveniente examinar elbaño de vez en cuando para determinar la causa de esta anomalía y procederadecuadamente paraevitar que se actúe antesde que sea demasiado tarde.</p> <p>2) Aconsejamos el empleo de dos frascoscomparadores e insistimos sobre la utilidad de este examen visual, que puede evitardificultades futuras puesun baño no pasa nunca bruscamente del color rojo al negro y da tiempo para aplicaroportunamente losremedios, si se actúa desde la aparición de losprimeros síntomas.</p>
El baño se adhiere tenazmente a las piezasaun despuésdel enjuague	1) Este fenómeno que es muy raro en los baños calientes que en los	1) Este defecto que en sies benigno puede atenuarse dejando

	<p>fríos, se debe en la mayoría de los casos, a la acción de los cromatos en exceso.</p> <p>2) Puede presentarse también como consecuencia de un exceso de intensidad con respecto a la superficie sumergida.</p> <p>3) Temperatura de funcionamiento del baño (en baños calientes) inferior a la normal.</p>	<p>las piezas al aire algunos segundos inmediatamente antes del primer enjuague, pero debe vigilarse por lo que tiene de síntoma es un exceso de cromatos.</p> <p>2) Se corrige el defecto disminuyendo el exceso de densidad de corriente y se atenúa como en el caso anterior.</p> <p>3) Este fenómeno que se presenta al iniciarse el trabajo, en las primeras cargas, se corrige por sí solo al calentarse normalmente el baño y se atenúa su efecto dejando las piezas al aire algunos segundos inmediatamente antes del primer enjuague.</p>
--	---	--

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

3.4 Baños de zinc – Galvanizado.

Durante más de 100 años, el zinc y sus aleaciones se han utilizado como capa decorativa y de protección sobre una variedad de metales, principalmente del acero.

Durante el paso de los años se han desarrollado varios procesos para la aplicación de capas de zinc y están en función del sustrato, los requerimientos del depósito y el costo.

La electrodeposición de zinc es el más usual para las aplicaciones funcionales y decorativas. Cuando se elige un proceso de zincado, es importante conocer que procesos están disponibles y cuáles son sus ventajas o desventajas particulares. Las formulaciones más usuales para este tipo de procesos se dividen en las siguientes categorías:

- Baños de zincado ácido.
 - Baño de zincado ácido al bórico.
 - Baño de zincado ácido al amonio.
- Baños de zincado alcalino.
 - Baño de zincado alcalino cianurado.
 - Zincado al bajo cianuro.
 - Zincado al medio cianuro.

- Zincado al alto cianuro.
- Baño de zincado alcalino sin cianuros.
 - Zincado sin cianuros de baja concentración.
 - Zincado sin cianuros de alta concentración.

La selección del baño a utilizar se debe hacer en función del tipo de trabajo que se va a realizar, del metal base a recubrir y de la producción en cantidad de las piezas que se deberán obtener del mismo por unidad de tiempo. Es importante, además, definir el método a utilizar para la producción, si se va a llevar a cabo en barril o colgado, ya que de ello dependen las variaciones ligeras a realizarse sobre la composición de los baños.

3.4.1 *Formulaciones de baños para zincado.* Las siguientes tablas muestran las diferentes formulaciones de zincado ácido con sus diversos componentes y concentraciones:

Tabla 16. Baño de Zinc ácido al bórico

COMPONENTES Y DATOS	PARA COLGADO	PARA BARRIL
Zinc metálico	37.5g/l	22.5g/l
Cloro total	150g/l	140g/l
Cloruro de potasio	225g/l	232g/l
Ácido bórico	26.3g/l	26.3g/l
pH	5.2	5.2
Temperatura	20 – 50°C	20 – 50°C
Voltaje	1 – 3V	4 – 9V
Densidad de corriente catódica	0.5 – 5A/dm ²	0.05 – 1.5A/dm ²
Densidad de corriente anódica	1 – 4A/dm ²	1 – 4A/dm ²
Filtración	Continua	Continua
Agitación	Aire	Propia del sistema de barril

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

Tabla 17. Baño de Zinc ácido al amonio

COMPONENTES Y DATOS	PARA COLGADO	PARA BARRIL
Zinc metálico	37.5g/l	22.5g/l
Cloro total	150g/l	140g/l
Cloruro de potasio	185g/l	192g/l
Ácido bórico	30g/l	30g/l
pH	5.7	5.7

Temperatura	20 – 50°C	20 – 50°C
Voltaje	1 – 3V	4 – 9V
Densidad de corriente catódica	0.5 – 5A/dm ²	0.05 – 1.5A/dm ²
Densidad de corriente anódica	1 – 4A/dm ²	1 – 4A/dm ²
Filtración	Continua	Continua
Agitación	Aire	Propia del sistema de barril

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

En la Tabla 17., se detallan dos formulaciones alcalinas no cianuradas. Normalmente el zinc metálico se incorpora al baño a partir de concentrados de zinc metálico disponibles por parte de los proveedores.

Tabla 18. Baño de zinc alcalino sin cianuro

COMPONENTES Y DATOS	BAJA CONCENTRACIÓN	ALTA CONCENTRACIÓN
Zinc metálico	6 - 9g/l	13.5 – 22.5g/l
Sosa caustica	75 - 105g/l	120 - 150g/l

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

En la tabla siguiente, se describen las soluciones de zinc alcalino con diferentes concentraciones de cianuro. El zinc metálico en este caso, suele adicionarse en forma de cianuro, hidróxido u óxido.

Tabla 19. Baño de zinc alcalino cianurado

COMPONENTES Y DATOS	BAJA CONCENTRACIÓN	MEDIA CONCENTRACIÓN	ALTA CONCENTRACIÓN
Zinc metálico	7.5 - 11.2g/l	13.5 – 18.7g/l	26.2 – 33.7g/l
Cianuro de sodio	11 - 19 g/l	26 - 45g/l	82 - 105 g/l
Sosa caustica	75 - 90g/l	75 - 90g/l	75 - 90g/l

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

Los parámetros operativos de los baños de zinc se muestran, de manera general, a continuación en la Tabla 20.

Tabla 20. Parámetros operativos del baño de zinc

COMPONENTES	BAÑO ÁCIDO	ALCALINO NO CIANURADO	ALCALINO CIANURADO
Agentes humectantes, refinadores o de penetración.	2 -5%	1 – 3%	No aplica

Abrillantadores	0.05 – 0.2%	0.05 – 0.2%	0.2 – 0.5%
Temperatura	15 – 55°C	14 – 44°C	15 – 38°C

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

Cabe mencionar que las concentraciones de los aditivos para cada tipo de baño están definidas por los proveedores en base a sus propias formulaciones.

Cuando los baños son operados a una temperatura aproximada de 25°C Se encuentran ventajas y desventajas. Ellas son las siguientes:

- Debido a la mínima evaporación de la solución, los problemas de recomposición de los constituyentes del baño pueden ser minimizados.
- A mayor temperatura, la conductividad del electrolito es mayor, necesitando menor potencial para operar el baño.
- La eficiencia del baño es mayor a mayor temperatura. Esto significa que se requieren tiempos menores para lograr los mismos espesores.
- Operar los baños a mayor temperatura reduce los costos, debido a no tener la necesidad de operar con intercambiadores de calor.
- A temperaturas más elevadas, el consumo de abrillantadores es mayor que a temperatura ambiente.

En las siguientes tablas se indican los principales defectos, causas y soluciones para los diferentes baños de zinc.

Tabla 21. Defectos, causas y remedios para el baño de zinc ácido

DEFECTO	CAUSA	SOLUCIÓN
Opacidad en baja densidad de corriente.	pH alto	Ajustar el pH al rango recomendado por el fabricante de los electrolitos.
Quemado en alta densidad de corriente.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Densidad de corriente alta. 2. pH alto. 3. Agitación baja. 4. Distancia ánodo - cátodo muy pequeña. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Incrementar la carga de trabajo. 2. Ajustar el pH al rango recomendado. 3. Regular la entrada de aire en la solución. 4. Incrementar la distancia entre el ánodo y el cátodo.
Falta de penetración.	<ol style="list-style-type: none"> 1. pH alto. 2. Temperatura demasiado alta. 3. Contaminación con hierro. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ajustar el pH al rango recomendado por el distribuidor de los electrolitos. 2. Enfriar el baño a la temperatura

		<p>recomendada.</p> <p>3. Dar tratamiento con peróxido de hidrógeno a la solución.</p>
Deposición lenta con falta de penetración.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Baja corriente. 2. Baja temperatura. 3. Error en el cálculo del área de las piezas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Incrementar la corriente o revisar la polaridad de los ánodos. 2. Incrementar la temperatura a la recomendada. 3. Corregir el área de las piezas para ajustar la corriente necesaria.
Piezas amarillas o blancas con líneas de cromato transparente.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alta densidad de corriente (casi quemado). 2. Alto contenido de abrillantador. 3. Alto contenido de cloruros. 4. Contaminación en el cromato. 5. Pobre enjuague previo al cromato. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reducir la densidad de corriente. 2. Reducir las adiciones de brillo a las especificaciones recomendadas. 3. Reducir el contenido a los especificados. 4. Vaciar el cromato, purificarlo. 5. Lavar las piezas bien luego de la electrodeposición.
Las piezas se negrean después del cromatizado.	Contaminación con cobre, plomo o cadmio.	Verificar la pureza de los ánodos.
Deposito quebradizo.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alto contenido de abrillantador. 2. pH alto. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reducir las adiciones de brillo. 2. Bajar con ácido clorhídrico al rango óptimo.
Ampollamiento u hojuelas en el depósito.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alto contenido de abrillantador. 2. pH alto. 3. Pobre limpieza. 4. Exceso de activación de las piezas. 5. Aceite o grasa en la solución de trabajo. 6. Densidad de corriente alta. 7. Contaminación con plomo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Electrolizar y reducir las adiciones de brillo. 2. Bajar con ácido clorhídrico a los niveles óptimos. 3. Ajustar las concentraciones de los desengrases, temperaturas, densidad de corriente o tiempos. 4. Reducir el tiempo de activado en las piezas o diluir el ácido. 5. Remover las natas formadas en la solución, se puede usar un filtro de carbón o dar al baño tratamiento de purificación si es necesario. 6. Ajustar la densidad de corriente al rango óptimo de trabajo. 7. Electrolizar o aplicar tratamiento necesario.

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

Tabla 22. Defectos y causas para el baño de zinc alcalino con cianuros

DEFECTO	CAUSA
Opacidad global del depósito.	Abrillantador bajo. Limpieza pobre. Temperatura alta. Contaminación del baño. Enjuague insuficiente.
Quemado en la zona de alta densidad de corriente.	Concentración de sosa cáustica baja. Concentración de cianuro baja. Corriente alta. Temperatura baja. Abrillantador bajo. Contaminación del baño. Arco eléctrico en los Barriles. Corriente muy alta en el desengrase electrolítico.
Opacidad en la zona de baja densidad de corriente.	Purificador bajo. Temperatura alta o Baja. Abrillantador bajo. Concentración de sosa cáustica baja. Contaminación metálica u orgánica. Problemas eléctricos.
Deposito moteado o manchado.	Contaminación del baño. Limpieza pobre.
Aspereza en el depósito.	Limpieza pobre. Corriente alta. Filtración pobre. Partículas magnetizadas. Lodo del ánodo. Perdida de corriente. Arrastre de ácido hacia el baño en las piezas.
Depósitos quebradizos.	Temperatura alta o baja. Abrillantador alto. Cianuro bajo en proporción con el Zinc.
Piquete en el depósito.	Abrillantador alto. Contaminación orgánica. Filtración pobre.
Ampollas o adherencia pobre del depósito.	Limpieza pobre. Abrillantador alto. Contaminación con cromo o plomo.

	<p>Activado alto o bajo.</p> <p>Características metalúrgicas.</p> <p>Contaminación con nitrato.</p>
Pobre poder de penetración.	<p>Limpieza pobre.</p> <p>Concentración metálica de zinc alta.</p> <p>Abrillantador bajo.</p> <p>Corriente baja.</p> <p>Concentración de cianuro baja.</p> <p>Características metalúrgicas.</p> <p>Arrastre de ácido hacia el baño en las piezas.</p>
No presenta depósito de zinc.	<p>Temperatura baja.</p> <p>Problemas eléctricos.</p> <p>Contaminación con cromo o plomo.</p> <p>Cianuro alto en proporción con el zinc.</p> <p>Activado alto.</p> <p>Características metalúrgicas.</p>
Pobre eficiencia de la solución de zinc.	<p>Temperatura baja.</p> <p>Concentración de Metal de zinc baja.</p> <p>Concentración de sosa cáustica baja.</p> <p>Concentración de cianuro alta.</p> <p>Problemas eléctricos.</p> <p>Área anódica baja.</p>
Manchas posteriores al zincado.	<p>Enjuague insuficiente.</p> <p>Contaminación metálica.</p> <p>Enjuague contaminado.</p>
Manchas del depósito posterior al almacenamiento.	<p>Enjuague insuficiente.</p> <p>Contaminación metálica.</p> <p>Pasivación impropia.</p> <p>Ambiente corrosivo.</p> <p>Secado pobre.</p> <p>Manejo pobre.</p>
Nivel de zinc metálico bajo.	<p>Concentración de sosa cáustica baja.</p> <p>Concentración de cianuro baja.</p> <p>Área anódica baja.</p> <p>Ánodos polarizados.</p> <p>Ánodos Filmados por el Purificador del Exceso.</p>
Incremento de los niveles de zinc en la solución.	<p>Concentración de sosa cáustica alta.</p> <p>Concentración de cianuro alta.</p> <p>Demasiada área del Ánodo.</p> <p>Eficiencia catódica baja.</p>

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

Dentro de los principales problemas de contaminación en los baños de zinc se encuentra la contaminación con impurezas metálicas, la Tabla 23. indica los diferentes tipos de impurezas metálicas encontradas, la fuente de las mismas, el efecto que producen cada una de ellas y el posible tratamiento de purificación.

Tabla 23. Impurezas metálicas

IMPUREZA	FUENTE	EFEECTO	TRATAMIENTO
Cadmio.	Impureza anódica.	Depósitos negros y opacos.	Polvo de zinc 1-3g/l. Electrolisis.
Cobre.	Barras anódicas y catódicas colgando de un hilo con área cobreada.	Rayas blancas y oscuras después del abrillantado.	Polvo de zinc 1-3g/l. Electrolisis.
Cromo.	Cromatos arrastrados.	Ampollamiento. Depósitos lechosos no uniformes.	Hidrosulfito de sodio.
Plomo.	Substratos anódicos de plomo o de componentes soldados.	Recubrimiento gris opaco.	Electrolisis.
Estaño.	Componentes soldados.	Opacidad.	Electrolisis.

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

3.5 Anodizado (PALLASCO, 2008).

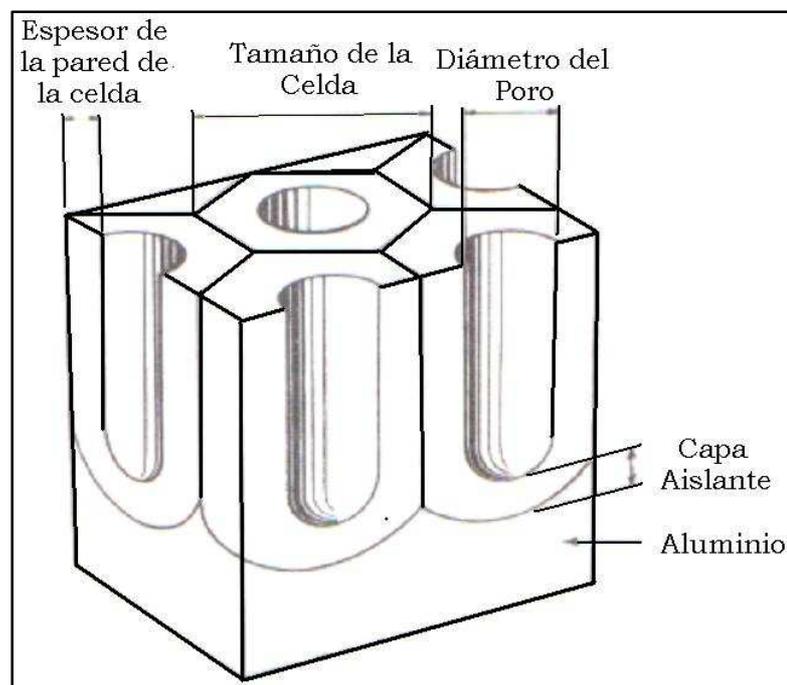
El anodizado consiste en formar artificialmente una capa de óxido de aluminio en la superficie del metal, este es un tratamiento electroquímico que permite aprovechar las propiedades que tiene el aluminio como resistencia a los agentes químicos, dureza, baja conductividad eléctrica y estructura molecular porosa, esta última junto con las anteriores, es la que nos permite darle una excelente terminación, características que la hacen adecuada y valiosa a la hora de elegir un medio de protección para varios elementos.

La capa de óxido de aluminio (alúmina) formada durante el proceso es porosa. Esta porosidad absorberá suciedad y otros elementos lo cual terminarían afectando la estética del material. Para evitarlo se procede a hidratar la capa de óxido de aluminio de modo que se puedan cerrar los poros o sellar la superficie del material.

La mejor manera de proteger al aluminio y sus aleaciones de los ambientes corrosivos, es recubriendo su superficie con gruesas capas de óxido de hasta 0,2mm.

En la formación de la capa anódica mediante ácido sulfúrico existen dos factores principales:

- Crecimiento de la capa de óxido desde el interior al exterior provocado por un fenómeno puramente electroquímico.
- Disolución de la capa de óxido debido a su solubilidad respecto al electrolito, esto consiste en mantener relación de los parámetros de tal forma que la velocidad de oxidación se conserve siempre por encima de la velocidad de disolución.



La capa se forma gracias a la disociación electrolítica del agua que libera el oxígeno para así oxidar el aluminio en el ánodo por tal razón el proceso del anodizado se llama oxidación anódica.

Figura 8. Micro sección de un film anódico

3.5.1 *Tipos de anodizados.* Entre los tipos de anodizado realizados durante la historia encontramos que el proceso más viejo de anodizado usa ácido crómico o anodizado arquitectónico, se lo conoce bien como tipo I ya que así se designa en varios estándares. El ácido crómico produce películas más opacas, más delgadas, más suaves, más dúctiles, en este tipo de baño el aluminio es más difícil de teñir, históricamente el siguiente proceso de anodizado descubierto fue el basado en ácido sulfúrico, este ácido

es la solución más utilizada para los recubrimientos de grosor moderado y se lo conoce como tipo II, continuando con los tipos encontramos el anodizado duro que igual usa ácido sulfúrico, pero en estos recubrimientos se tiene un espesor de más de 0.001 pulgadas y es conocido como tipo III.

3.5.1.1 *El anodizado arquitectónico.* Para el acabado arquitectónico se emplea la solución al 10 % en ácido sulfúrico, y la temperatura de trabajo se fija a 20°C aproximadamente o se puede trabajar a temperatura ambiente.

La densidad normal de corriente es de 1.6 A/dm², y para un grosor de capa de 25 micrones se precisa un tiempo de anodizado entre 60 y 75 minutos. Para obtener una densidad de corriente se precisa un voltaje comprendido entre los 16 y 22 voltios.

El recubrimiento anódico debe sellarse bien mediante agua des ionizada hirviendo o con vapor a baja presión. Si se desea obtener una satisfactoria resistencia a la corrosión es esencial un sellado perfecto.

3.5.1.2 *Anodizado semiduro y duro.* Para aumentar la dureza de la capa anódica obtenido mediante la solución de ácido sulfúrico se rebaja la temperatura de trabajo, como más baja es la temperatura tanto más duro es el recubrimiento resultante.

El anodizado semiduro. Cuando se requiere un acabado brillante más resistente a la abrasión del que se consigue mediante el anodizado normal, por ejemplo para el uso de adornos para el automóvil, se aconseja que se utilice la solución a base de ácido sulfúrico y ácido oxálico, o como una variante que se emplee la solución de ácido sulfúrico al 10% pero fijando la temperatura entre 10°-15°C, según sea la dureza del recubrimiento que se requiera. La densidad de corriente es de 1A/dm², y para una capa de 10 micrones se requiere de 36 minutos.

El anodizado duro. Para conseguir el anodizado duro se ajustan las condiciones de trabajo de la solución de forma que resulten recubrimientos que sean muy duros y también más gruesos que los acabados anódicos normales. Las principales aplicaciones se hallan para la producción de superficies de aluminio muy resistentes al desgaste.

El espesor de capa oscila generalmente entre los 25 y 100 micrones, pero sobre aleaciones adecuadas pueden conseguirse recubrimientos más gruesos.

CAPÍTULO IV

4. DIAGNÓSTICO ACTUALLABORATORIO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.

4.1 Reseña histórica (ESPOCH, 2013)

La creación del laboratorio de Tratamientos Superficiales se da en 1985 con la implementación de la tesis “Diseño de una Planta de Tratamientos Superficiales”, Luego en 1984 fue complementada con la implementación de otra tesis denominada “Diseño de una Planta para Cromado Duro”, en el periodo comprendido entre 1985 y 1986 se introduce la materia de tratamientos superficiales a la carrera de Tecnología Mecánica, la cual pasa a ser parte de la materia de procesos industriales mediante rediseño curricular en el año 1997, en la actualidad se sigue impartiendo la materia conjuntamente con fundición, tratamientos térmicos y soldadura .

En la actualidad solo existe la planta de cromado duro la que está ubicada en el laboratorio de materiales de la Facultad de Mecánica, pero gracias a la iniciativa del profesor en conjunto con los estudiantes se ha realizado proyectos de investigación de tratamientos superficiales los cuales complementan los conocimientos teóricos.

En vista de la carencia de un equipo que realice estos ensayos de manera segura y parámetros controlados se da paso a la ejecución de la tesis que se presenta en este documento.

4.1.1 Antecedentes.(ESPOCH, 2013). La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), tiene su origen en el Instituto tecnológico Superior de Chimborazo, creado mediante Ley No.6090, expedida por el Congreso Nacional, el 18 de abril de 1969. Inicia sus actividades académicas el 2 de mayo de 1972 con las Escuelas de Ingeniería Zootécnica, Nutrición y Dietética e Ingeniería Mecánica. Se inaugura el 3 de abril de 1972.

El 28 de septiembre de 1973 se anexa la Escuela de Ciencias Agrícolas de la PUCE, adoptando la designación de Escuela de Ingeniería Agronómica.

4.1.2 *Base legal.*(ESPOCH, 2013). Según Ley 6909 del 18 de abril de 1969, expedida por el Congreso Nacional publicada por el registro Oficial N°, 173 del 7 de mayo de 1969, se crea el Instituto Superior Tecnológico de Chimborazo, iniciando sus labores académicas el 2 de mayo de 1972. El cambio de denominación a Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH, se produce mediante Ley No. 1223 del 29 de octubre de 1973 publicada en el Registro Oficial N° 425 del 6 de noviembre del mismo año. Las Escuelas de Nutrición y Dietética y de Ingeniería Zootécnica convirtieron en facultades conforme lo estipula la Ley de Educación Superior en sus artículos pertinentes.

En 1978 se crea la Facultad de Química y Administración de Empresas. El 15 de agosto de 1984 se crean las Escuelas de Doctorado en Física Matemática que junto a las Escuelas de Doctorado y Tecnología en Química ya existentes entran a constituir la Facultad de Ciencias.

El 21 de diciembre de 1985 se crea la Escuela de Cómputo pasando a depender de la Facultad de Ciencias. La carrera de Bioquímica y Farmacia se crea según Resolución No. 311 del Honorable Consejo Politécnico (H.C.P.) del 7 de Septiembre de 1999.

El 27 de septiembre de 1992 se crean las Escuelas de Ingeniería en Banca y Finanzas y Tecnología en Marketing que se integran a la Facultad de Administración de Empresas; Ingeniería en Sistemas que se integra a la Facultad de Ciencias, Licenciatura en Educación Sanitaria que pasa a ser parte de la Facultad de Nutrición y Dietética, hoy denominada de Salud Pública.

El 17 de noviembre de 1994. Por medio de las resoluciones del H. C. P. N°. 238 y 239, se crean las Escuelas de Ingeniería en Ecoturismo y Escuela de Tecnología Agroforestal como parte de la hoy Facultad de Agronomía, hoy denominada de Recursos Naturales.

El 7 de julio de 1995 se crea la Escuela de y Lingüística y el 31 de junio de 1997, cambia de denominación a Escuela de Lenguas y Comunicación, mediante resolución N° 296.

El 15 de agosto de 1995 a través de la resolución N° 167 del H. C. P. se crea la Escuela de Ingeniería en Industrias Pecuarias como parte de la Facultad de Ciencias Pecuarias, anteriormente llamada Facultad de Ingeniería Zootécnica.

El 7 de septiembre de 1995, la Facultad de Mecánica, crea las Carreras de Ingeniería de Ejecución en Mecánica y de Ingeniería de Mantenimiento Industrial, mediante resoluciones 200 y 200a, del H. C. P.

El 19 de agosto de 1996, mediante resolución N° 236, la Facultad de Ciencias crea, adjunta a la Escuela de Computación, la carrera de Ingeniería Electrónica.

El 31 de julio de 1997, la Facultad de Administración de Empresas crea la Escuela de Tecnología en Marketing y la carrera de Ingeniería en Marketing, mediante resolución No. 317 del H. C. P. Las carreras de Comercio Exterior e Ingeniería Financiera se crean según resolución No. 142 del H.C.P del 28 de marzo del 2000.

El del 2000, mediante resolución No. Del H.C.P. se crea la Facultad de Informática y Electrónica la misma que agrupa a las escuelas de Ingeniería en Sistemas, Ingeniería Electrónica y Tecnología en Computación y Diseño Gráfico.

La ESPOCH es una institución con personería jurídica de derecho público totalmente autónoma, se rige por la Constitución Política del Estado ecuatoriano, la ley de educación superior y por su propio estatuto y reglamentos internos y tiene su domicilio principal en la ciudad de Riobamba.

El 7 de septiembre de 1995, la Facultad de Mecánica, crea las Carreras de Ingeniería de Ejecución en Mecánica y de Ingeniería de Mantenimiento Industrial, mediante resoluciones 200 y 200a, del H. C. P.

Tabla 24. Distribución CEDICOM

Talleres.	Automotriz Fundición Producción metal mecánica Máquinas Herramientas Soldadura
Laboratorios.	Tratamientos Térmicos Metalografía Ensayos No Destructivos

	Resistencia de Materiales
	Eficiencia Energética
	Fundición y Arenas
	Automatización de Procesos
	Electricidad y Electrónica
	Termo-Fluidos
	Cómputo
	Óleo-Hidráulica y Neumática.
	Instrumentación.

La ESPOCH es una institución con personería jurídica de derecho público totalmente autónoma, se rige por la Constitución Política del Estado ecuatoriano, la ley de educación superior y por su propio estatuto y reglamentos internos y tiene su domicilio principal en la ciudad de Riobamba.

La Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, cuenta con la unidad productiva CEDICOM que la conforman los talleres y laboratorios mostrados en la Tabla 25.

4.2 Misión. (ESPOCH, 2013)

Apoyar en la gestión académica y de producción de bienes y servicios especializados en las Escuelas de Ingeniería Industrial, Ingeniería Mecánica, Ingeniería de Mantenimiento e Ingeniería Automotriz.

4.3 Visión (ESPOCH, 2013)

Ser una unidad productiva eficiente y ágil, cuyo servicio sea de calidad de tal forma que demuestre el profesionalismo de los politécnicos y aporte significativamente al desarrollo de la actividad investigativa y productiva de la Facultad de Mecánica, para lograr el reconocimiento social.

4.4 Organigrama Administrativo. (ESPOCH, 2013)

Estructura orgánico funcional: La realidad institucional, nos señala que debemos asumir una actitud positiva frente a los grandes desafíos, mejorar ante el estancamiento y la

apatía, implementar una cultura organizativa, con coordinación y responsabilidad, entendiendo que la estructura de una organización es simplemente la suma total de las formas en que su trabajo es dividido en diferentes tareas con una adecuada coordinación entre ellas, para el cumplimiento efectivo de su misión, procurando que nuestra Politécnica se constituya en un verdadero sistema abierto y dinámico, que implique integridad y unificación para lograr el funcionamiento óptimo del conjunto de sus componentes.

Figura 9. Organigrama Administrativo.



Fuente:Autores

CAPÍTULO V

5. IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPOS DE TRABAJO,SEGURIDAD INDUSTRIAL

5.1 Fuente de alimentación regulable

La fuente de alimentación es aquella que transforma la corriente alterna de la red eléctrica industrial en una de tipo casi continua, manteniendo un flujo de corriente para que la electrolisis ocurra sin inconvenientes, su característica principal es que la tensión pueda ser regulable, está compuesta por un transformador con núcleo de hierro, rectificador tipo puente, banco de filtros, control de voltaje.

Teniendo en claro lo anteriormente mencionado se decidió la construcción de la misma con las siguientes características:

- Voltaje regulable de 1,18V a 20V.
- Corriente de 0A a 35A.
- Visualización digital tanto de corriente como de voltaje.
- Protección contra sobrecargas y cortocircuito.

5.2 Sistema de calentamiento y control de temperatura

Debido a que varios procesos electroquímicos necesitan que los electrolitos se encuentren a una temperatura determinada para su óptimo desempeño se vio en la necesidad de implementar un sistema de calentamiento el cual consta de una resistencia eléctrica (niquelina), un sensor de temperatura y el sistema de control del mismo.

Debido a que los electrolitos utilizados son conductores y el voltaje que requiere la resistencia eléctrica es 110V no es recomendable aplicar este sistema directamente en las soluciones salinas, por lo cual, se decidió utilizar un proceso de calentamiento conocido como “Baño María” que consiste en utilizar un recipiente con agua que es calentada por la resistencia eléctrica y dentro del mismo se ubica otro recipiente que contiene la solución la cual va elevando su temperatura a razón que se calienta el agua.

El sensor utilizado es una termocupla la cual ingresa directamente en la solución salina sin inconvenientes debido a que está recubierta con una capa de laca para evitar su corrosión, esta mide la temperatura y la entrega al circuito de control.

El circuito de control analiza los datos enviados por la termocupla los cuales serán analizados y comparados con la programación y tomara decisiones de las acciones que deberá llevar a cabo.

Para la configuración y puesta en marcha del sistema de calentamiento y control de temperatura utiliza los siguientes elementos:

Display.- Este elemento nos permite visualizar los datos enviados a de la termocupla los cuales se encuentran graduados en la escala centígrada.

Pulsadores.- el equipo posee 4 botones los cuales vamos a describir a continuación de izquierda a derecha:

El primer botón se lo utiliza para configurar la temperatura máxima a la que se va a realizar el trabajo, este funciona conjuntamente con el tercer y cuarto botón los cuales sirven para incrementar y disminuir respectivamente la temperatura.

EL segundo botón da inicio y fin al programa el cual toma el valor de la termocupla y lo compara con los datos configurados, el cual si es menor activara la resistencia eléctrica para que eleve la temperatura, y en el caso de que sean iguales desconectara la resistencia eléctrica interrumpiendo el calentamiento.

Leds.- consta con cuatro indicadores luminosos de tipo led los cuales representan una función al estar encendidos o apagados como lo es el de color naranja que nos indica que el circuito esta encendido, el de color verde al encenderse nos indica que podemos ingresar el valor de temperatura máxima requerida, el de color rojo al estar encendido nos indica que el programa entra en funcionamiento y da la orden a la resistencia eléctrica, y el de color azul indica el estado de encendido o apagado del extractor de gases ubicado en la cámara.

5.3 Temporizador.

Debido a que los procesos de electrodeposición requieren de tiempos controlados de circulación de corriente para obtener resultados óptimos se requiere la implementación de un temporizador, el cual mediante una configuración previa activara y desactivara la fuente de alimentación y otros sistemas de acuerdo al tiempo de seleccionado.

El equipo anteriormente mencionado consta de los siguientes elementos:

Pantalla LCD.- es aquella en la que podemos visualizar y configurar el tiempo que sea requerido para el proceso.

Pulsadores.- Este sistema consta con cuatro botones los cuales iremos describiendo de izquierda a derecha respectivamente a continuación:

El primer y segundo botón sirve para incrementar y disminuir el tiempo de configuración de acuerdo a los parámetros de trabajo.

El tercer botón sirve para dar inicio y fin al programa el cual comienza desde el tiempo configurado pero termina cuando llega a cero desconectando el sistema.

El cuarto botón ayuda a encender y apagar el extractor de gases

5.4 Agitación

Debido a que al realizar la electrodeposición las soluciones salinas necesitan estar en movimiento para mantener una concentración uniforme es necesario implementar un sistema de agitación para lo cual, se optó por un equipo que exhala aire en pequeñas cantidades de manera controlada el mismo que se activa y desactiva con el temporizador.

5.5 Ventilación

Como es de conocimiento al momento de calentar las soluciones salinas estas expiden gases nocivos para el ser humano, por lo cual se construyó una cámara hermética de acrílico transparente para poder visualizar dentro de el mismo, en la parte superior consta de un ventilador el cual sirve como extractor de gases y mediante un conducto de

aire son llevados a las afueras de las instalaciones del laboratorio eliminando la posibilidad de contaminación interna.

En la puerta de la cámara se instaló unos seguros para lograr la hermeticidad, además cuenta con dos sensores uno a cada lado de la misma que indican si se encuentra abierta, de ser el caso así se emite un mensaje a la pantalla del temporizador el cual desconecta automáticamente el proceso.

5.6 Tablero de control

Aquí se aloja todos los indicadores y pulsadores que configuran y controlan la planta piloto de tratamientos superficiales, de igual forma se encuentra organizada de la siguiente manera:

En la parte superior izquierda se encuentra una señal luminosa que indica si el equipo esta encendido, en la parte superior derecha se encuentra un pulsador que energiza el equipo y de igual manera lo deshabilita, también tiene la función de paro de emergencia.

Continuando en forma descendente encontramos el sistema de calentamiento con respectivos indicadores y botones de control y configuración

Más abajo encontramos la pantalla LCD y los botones de sistema de configuración y control

Y por último en la parte inferior se encuentra los indicadores de voltaje (izquierda) y amperaje (derecha) de la fuente de alimentación incluyendo su perilla de regulación.

5.7 Sistema de lavado y secado

Antes y después de los procesos de tratamientos superficiales es necesario realizar enjuagues repetitivos de las piezas tratadas con agua pura, para lo cual se instaló un lavamanos con un grifo.

Debido a que en las instalaciones del laboratorio no constan con sistema de agua se decidió implementar un recipiente para la misma la cual es impulsada con una bomba sumergida hacia el grifo, con esto podemos controlar la calidad del agua.

De igual manera se instaló un conducto para desagüe el cual sale del laboratorio y se dirige a una alcantarilla cercana.

Para el secado de las piezas se utilizara una secadora de cabello.

5.8 Mesa de trabajo

Para la instalación de todos los equipos anteriormente mencionados se construyó una mesa la cual se destaca por el material de construcción denominado melamínico termo fundido, el cual es resistente a la humedad, de igual manera para mayor protección a daños por las soluciones químicas utilizadas se colocó una plancha de granito, la mesa consta de cuatro gabinetes distribuidos de izquierda a derecha de la siguiente manera respectivamente:

El primer compartimento aloja el recipiente del agua con la bomba que conforman el sistema de lavado.

El segundo comportamiento se divide en dos, el superior abarca las cubas y el equipo de protección personal (EPP) necesarios para efectuar las practicas, en el alojamiento inferior se guardan todos los electrolitos en sus respectivos envases y los ánodos de sacrificio necesarios.

En el último compartimento tiene una sub división la cual en su parte inferior aloja todas las instalaciones eléctricas y los transformadores, en la parte superior se encuentra ubicadas todas las placas de los circuitos de la fuente de alimentación como de control.

En la parte superior de la mesa se ubica a su izquierda el lavamanos, en el centro la cámara hermética y a su derecha el tablero de control de todo el sistema.

5.9 Cubas o tanques para electrodeposición

Es conocido en el mundo de la química que el mejor recipiente para contener ácidos y sales es el vidrio por su resistencia a la degradación, en vista de esta situación optamos por utilizar los recipientes de vidrio boro silicomás conocido con el nombre comercial de Pírex los cuales tienen una alta resistencia a golpes y a la temperatura llegando a un

límite de 821°C, además de no conducir la corriente eléctrica y ser muy fáciles de limpiar sin retener residuos.

5.10 Ácidos, sales y ánodos de sacrificio

De acuerdo a los procesos de los cuales se hace mención se requiere las siguientes soluciones y materiales que servirán de electrolitos, desengrasantes y ánodos de sacrificio que se mencionan a continuación:

- 1 Gal. de desengrasante CT- 10
- 1 Gal. de baño de cobre
- 1 Gal. de baño de níquel
- 1 Gal. de baño de latón
- 1 Gal. de baño de zinc
- 1 Gal. de anodizado
- 2 placas de latón
- 3 placas de cobre
- 3 placas de plomo
- 1 placa de níquel
- 1 placa de zinc

5.11 Seguridad industrial

La seguridad industrial es un área multidisciplinaria que se encarga de minimizar los riesgos de accidentes en la industria, ya que toda actividad industrial tiene peligros inherentes que necesitan de una correcta gestión.

La creación de un ambiente seguro en el trabajo implica cumplir con ciertas normas y procedimientos, sin pasar por alto ninguno de los factores que intervienen en la conformación de la seguridad industrial.

Las normas son un punto muy importante ya que ayudaran en gran medida a reforzar el ambiente de seguridad, teniendo objetivos de gran importancia en la industria tales como: Evitar lesiones y muerte por accidente. Cuando ocurren accidentes hay una pérdida de potencial humano y con ello una disminución de la productividad, reducción

de los costos operativos de producción, por ende la seguridad del trabajador, aumenta en mayor medida se rendimiento laboral del trabajador.

5.11.1 *Elementos de protección personal (EPP).* Debido a que los procesos galvánicos utilizan químicos tóxicos y al ser calentados emanan vapores se recomienda utilizar los siguientes equipos de protección personal.

Para proteger la vista se necesita gafas transparentes de la serie 125 de la marca comercial 3M, las cuales evitaran el contacto de la solución con los ojos.

Para las manos se requiere de guantes de nitrilo resistentes a químicos.

Para la respiración se recomienda utilizar mascarilla para vapores de la serie 4000 de la marca comercial 3M.

Es saludable utilizar una bata de laboratorio o más conocida como mandil para evitar el contacto de los químicos con la ropa o la piel.

Nota: Se recomienda no ingresar al laboratorio de tratamientos superficiales con anillos, relojes, pulseras u otros objetos metálicos para evitar el daño de los mismos.

5.11.2 *Toxicidad de los electrolitos.* Los elementos químicos al ser mezclados en varias concentraciones pueden generar diferentes niveles de toxicidad los cuales vamos a describir a continuación:

Desengrase CT 10.- Puede causar irritación al contacto con la piel y ojos, en caso de ser así lave la parte afectada con abundante agua, no ingerir, si llegara a pasar eso induzca al vomito mediante la ingesta de agua, en caso de tener molestias o reacciones adversas consulte a su médico.

Brillo de níquel ultra bright.- No es tóxico únicamente por ingestión, en algunos casos puede causar irritación en la piel, no es corrosivo.

Aditivo galbrass.- Como toda sustancia química es tóxico por ingestión, irita la piel, las mucosas y los ojos, evitar inhalar directamente ya que puede causas daño a las mucosas nasales.

Sistema de zinc cromatizado B-7 azul.-Las soluciones de cromatizado contiene cromatos y son oxidantes por naturaleza. Evite el contacto con materiales orgánicos y agentes reproductores. Evitar el contacto con los ojos y la piel; en caso de contacto accidental lavar la parte afectada con abundante agua y consulte con el médico.

Brillo de zinc glanzer.- Siendo un proceso a base de cianuros, se recomienda tener mucho cuidado, es corrosivo a la piel e irrita las mucosas nasales. ES VENENOSO.

Ácido sulfúrico 20%.- Es extremadamente irritante, corrosivo y tóxico, puede causar quemaduras al contacto con la piel, ES VENENOSO.

5.11.3 *Protección contra incendios.* Debido a que los materiales de construcción utilizados en la planta (madera y plástico) son inflamables se requiere la implementación de un extintor portátil contra incendios del tipo A, B, C.

Los químicos utilizados en los procesos de electrodeposición no son inflamables-

5.11.4 *Señalética.* Para una mejor visualización se representa en el mapa de riesgos. (ANEXO A)

De acuerdo al código de trabajo, según el Código de Trabajo en su Título V; Protección colectiva. Capítulo VII; Colores de seguridad en su Art .167.

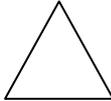
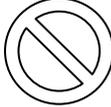
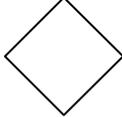
Tabla 25. Código de colores para seguridad

COLOR	SIGNIFICADO	CONTRASTE	INDICACIONES Y PERCEPCIONES
ROJO	Señal de prohibición	Blanco	Comportamientos peligrosos
	Peligro - Alarma		Alto, parada, dispositivos de desconexión, emergencia, evacuación
	Material y equipos de lucha contra incendios		Identificación y localización
AMARILLO	Señal de advertencia	Negro	Atención, precaución, Verificación
AZUL	Señal obligatoria	Blanco	Comportamiento o acción específica Obligatoria de utilizar E.P.P.
VERDE	Señal de salvamento o auxilio	Blanco	Puertas, salidas, pasajes, material, puesto de salvamento socorro, locales
	Situación de seguridad		Vuelta a la normalidad

Fuente: (CONRED, 2013)

5.11.4.1 Formas geométricas utilizadas para la señalización de ambientes y equipos de seguridad. El complemento para manejar un estándar con los colores de seguridad y sus contrastes son las formas geométricas, que facilitan el entendimiento de un color de seguridad, las formas que se utilizan son:

Tabla 26. Formas geométricas para seguridad

OBJETIVO	FORMA GEOMÉTRICA	SEÑAL
Proporcionar información sobre algún objeto, identificación de materiales, o realizar una acción indicada en la figura		Información
Advertir un peligro		Prevención
Prohibir una acción susceptible de provocar un riesgo		Prohibición
Exigir una acción determinada		Obligación
Identificar la presencia de materiales peligrosos en transporte		Materiales peligrosos en transporte

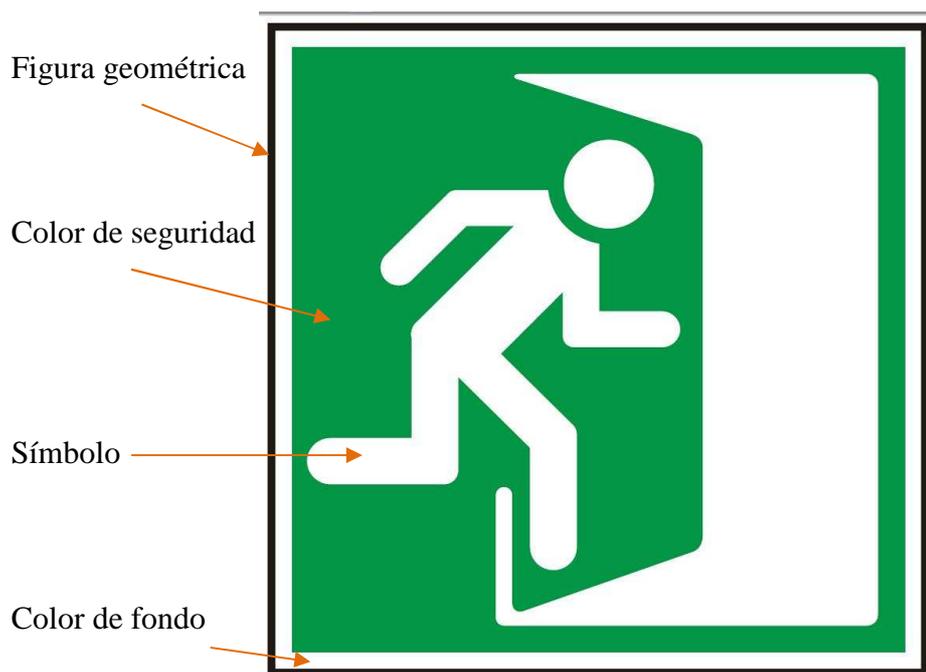
Fuente:(CONRED, 2013)

5.11.4.2 Símbolos a utilizar. Los símbolos a utilizar para la atención de riesgos o emergencias deben ser simples y entendibles para las personas tomando en cuenta las características del ámbito nacional.

Las características de estos no deben llegar a detalles minuciosos, ni enredados, estos deben brindar con lo más simple un criterio amplio sobre lo que se desea dar a conocer.

5.11.4.3 Componentes obligatorios para las señales. Las señales sin depender cual sea su significado, debe llevar los componentes obligatorios mínimos (color, forma y símbolo) que para ello establecen, los cuales sepuedan ampliar sin perder su significado, con textos, ubicaciones, números otros.

Figura 10. Señalética



Fuente: (CONRED, 2013)

5.11.4.4 *Dimensión y ubicación de las señales.* La dimensión de las señales objeto de esta guía debe ser tal, que el área superficial (S) y la distancia máxima de observación (L) cumpla con la siguiente relación:

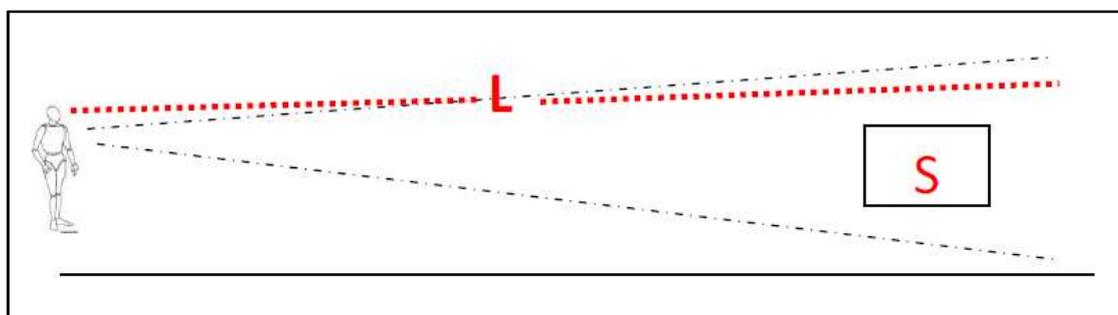
$$S \geq \frac{L^2}{2000} \quad (14)$$

Dónde:

S es la superficie de la señal en metros cuadrados.

L es la distancia máxima de observación en metros.

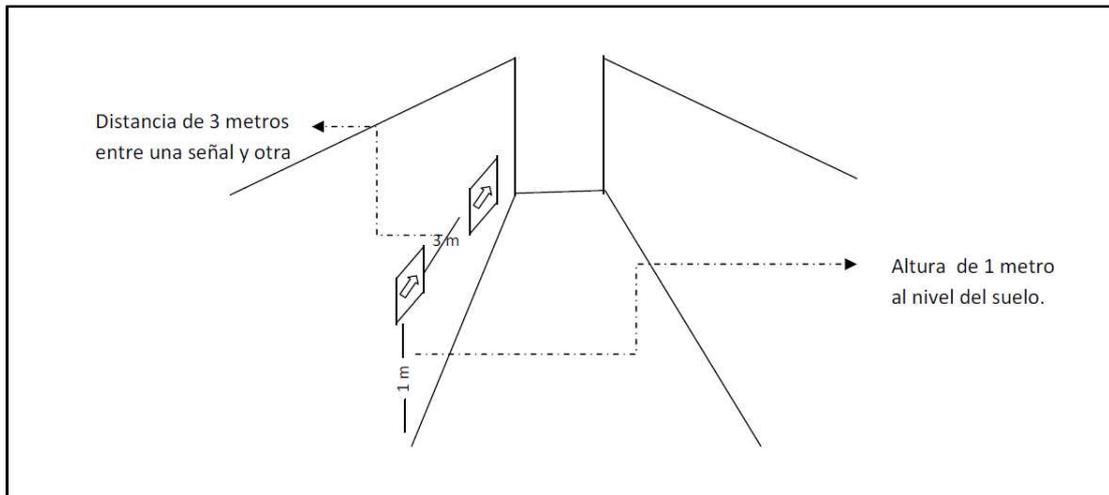
Figura 11. Dimensión y ubicación de las señales



Fuente: (CONRED, 2013)

5.11.4.5 Ubicación de las señales. Para los ambientes cerrados se señalizan los lugares donde las personas circulan con mayor frecuencia, como pasillos, las señales se deben colocar a una altura de 1 metro del suelo en la pared izquierda y una distancia entre ellas de 3 metros entre sí, los ambientes pequeños como oficinas o salones pequeños se señaliza únicamente las salidas que serán utilizadas como de emergencia.

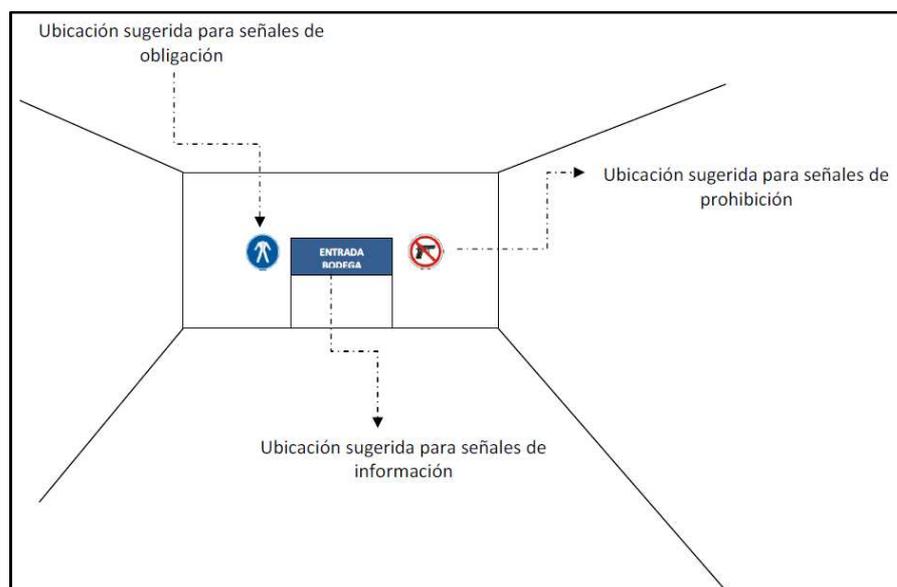
Figura 12. Ubicación de las señales



Fuente: (CONRED, 2013)

Para las señales de obligación, prohibición e información, debe colocarse en el área de inicio donde se requiere la acción, por ejemplo a la entrada de una bodega o al ingreso de un banco, entre otros:

Figura 13. Ubicación de las señales



Fuente: (CONRED, 2013)

Considerando estas normas obtuvimos las siguientes medidas para nuestra señalética:

La distancia de visualización dentro del laboratorio es de 5 m

Por lo cual aplicando la ecuación nos da una superficie mínima de 125 cm^2

Las figuras cuadradas tendrán la medida de 11,2 cm por lado

Las figuras circulares tendrán la medida de 12,6 cm de diámetro

Las figuras triangulares tendrán la medida de 17cm por lado siendo el mismo un triángulo equilátero.

Las figuras rectangulares tendrán la medida de 13,5cm de base y 9,1cm de altura.

Con respecto a los colores tanto de seguridad como de fondo y los símbolos se encuentran especificados en el diagrama de riesgos.

CAPÍTULO VI

6. MODELACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.

6.1 Modelación mediante software.

Para la elaboración de la planta piloto de cobreado, niquelado, cromado, anodizado y galvanizado para el laboratorio de tratamientos superficiales de la Facultad de Mecánica se recopiló información de funcionamiento, condiciones de trabajo, requerimientos, disponibilidad de materiales y espacio, herramientas y más insumos adaptados al conjunto y construcción, con lo cual se analizó y diseñó la planta piloto determinando características y espacios de las diferentes dependencias para realizar trabajos satisfactorios y ordenados.

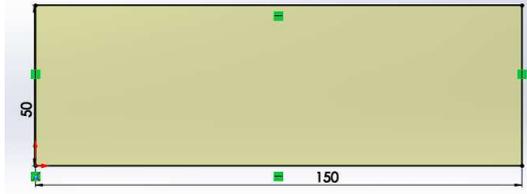
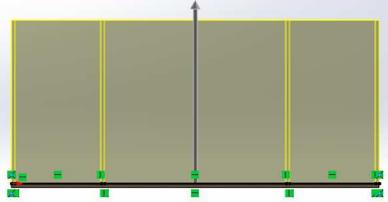
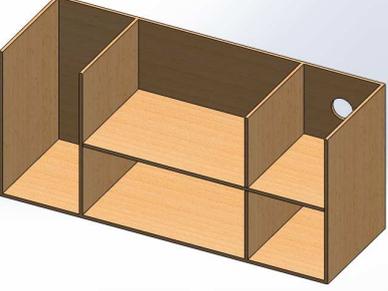
A continuación se realiza un resumen de la modelación de la misma aplicando SOLIDWORKS 2013, el software es utilizado en la Facultad de Mecánica y en la Escuela de Ingeniería Industrial.

6.1.1 *Mesa de trabajo.* Para la mesa de trabajo de la planta piloto de tratamientos superficiales se realizó la medición de espacios en el sitio donde va a instalarse la misma.

Se determinó que existía alrededor de 150cm de ancho por 65cm de fondo, tomando a consideración una altura total hasta el tablero de trabajo de 80cm, con estas condiciones se realizó la modelación de la misma para posteriormente enviar a construir las diferentes partes en centros dedicados a corte construcción y ensamblaje de cada componente.

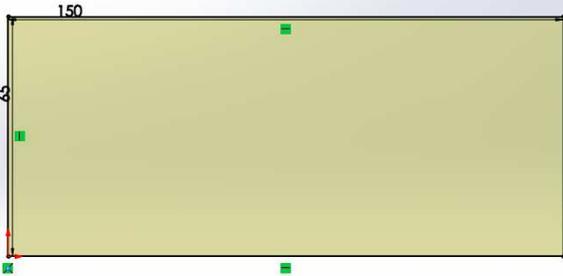
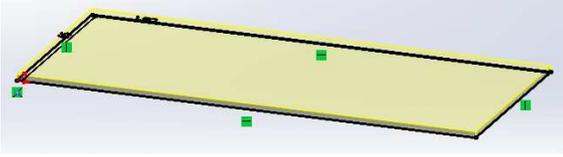
Luego de haber recibido las diferentes partes constitutivas de la planta piloto de tratamientos superficiales se realizó el montaje de cada uno de los elementos en la distribución determinada mediante la planificación y estudio previo.

Tabla 27. Modelación de la mesa de trabajo

 <p>Diagrama de croquis de la mesa de trabajo. Muestra un rectángulo con una altura de 50 unidades y un ancho de 150 unidades. Hay marcadores de alineación en las esquinas y en el centro de los lados.</p>	<p>Croquizado en cm. de las diferentes partes de la mesa o de los diferentes componentes.</p>
 <p>Diagrama de croquis de las demás partes o paredes de la mesa. Muestra un rectángulo con una línea vertical central y dos líneas verticales adicionales que dividen el espacio en tres secciones. Hay marcadores de alineación en las esquinas y en los puntos de división.</p>	<p>Croquis de las demás partes o paredes de la mesa.</p>
 <p>Modelo 3D de la mesa de trabajo. Muestra una estructura de madera con un tablero superior y paredes laterales y traseras. Hay un espacio central y dos secciones laterales. El modelo tiene un aspecto realista con texturas de madera.</p>	<p>Extrusión de las partes croquizadas, y aplicación de material para dar mejor aspecto a la modelación, haciéndolo más real.</p>

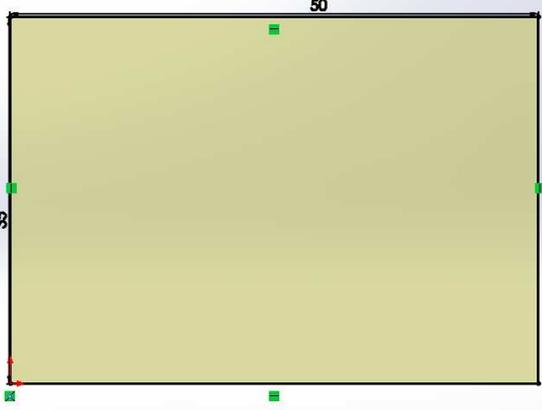
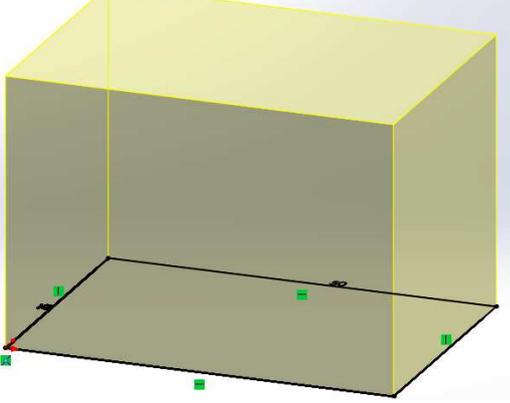
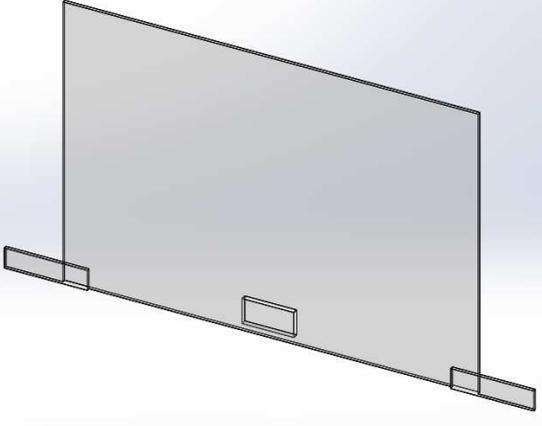
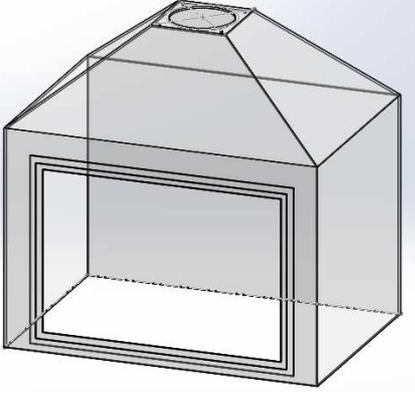
Fuente: Autores.

Tabla 28. Modelado del mesón de granito

 <p>Diagrama de croquis del mesón de granito. Muestra un rectángulo con una longitud de 150 unidades y una anchura de 65 unidades. Hay marcadores de alineación en las esquinas y en el centro de los lados.</p>	<p>Croquis en cm. del mesón de granito.</p>
 <p>Modelo 3D de la extrusión del croquis. Muestra una placa rectangular plana con una textura de granito. Hay marcadores de alineación en las esquinas y en el centro de los lados.</p>	<p>Extrusión del croquis.</p>
 <p>Modelo 3D del mesón de granito con un corte rectangular en el centro. Muestra la textura de granito y el efecto de la luz sobre la superficie.</p>	<p>Corte y aplicación de material y aspectos para visualizar mejor el modelo.</p>

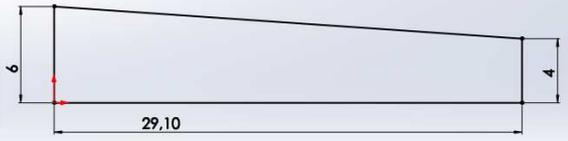
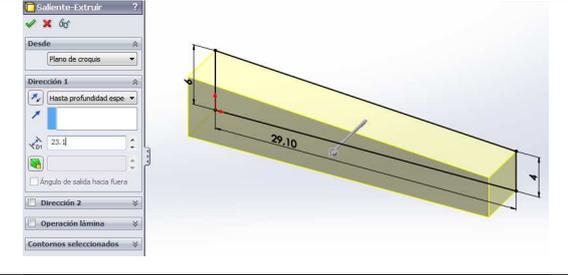
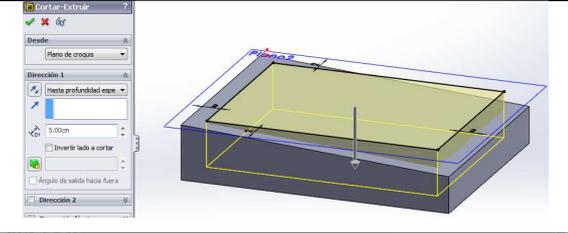
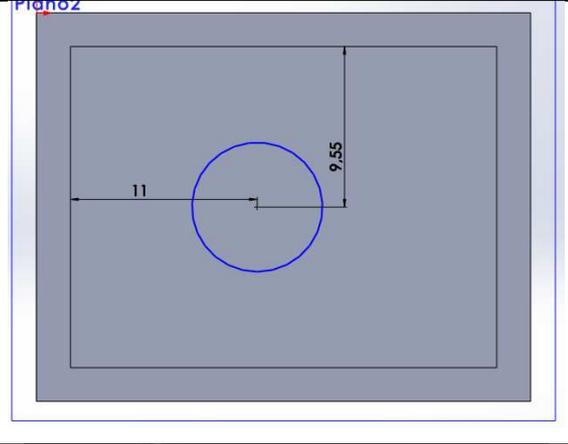
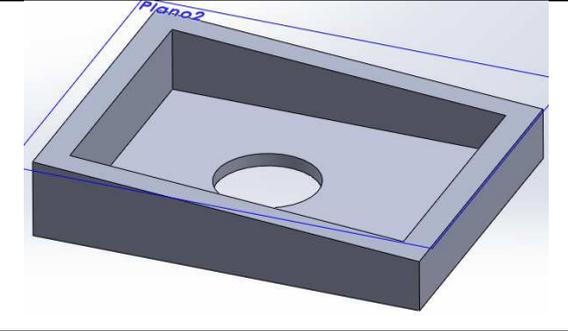
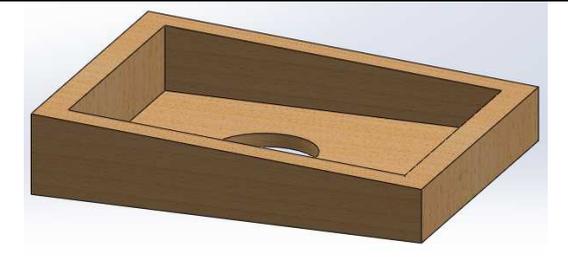
Fuente: Autores.

Tabla 29. Modelado de la cámara extractora de vapores y gases

	<p>Croquis en cm. de las paredes que conforman la cámara extractora de vapores y gases.</p>
	<p>Extrusión del croquis.</p>
	<p>Diseño de la puerta de la cámara extractora de vapores y gases.</p>
	<p>Corte y vaciado de material y determinación de aspectos y material para visualizar mejor el modelo.</p>

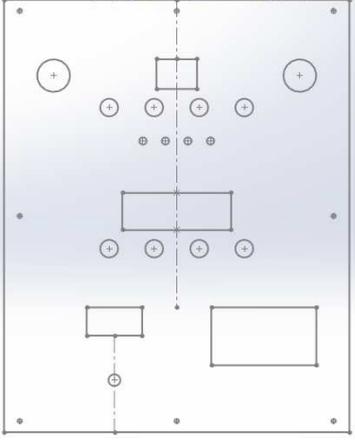
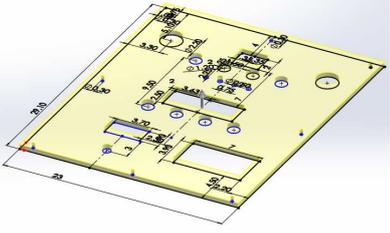
Fuente: Autores.

Tabla 30. Modelado del tablero de control

	<p>Croquis en cm. del tablero de control.</p>
	<p>Extrusión del croquis.</p>
	<p>Cortar extruir para vaciar el modelo.</p>
	<p>Croquis de la circunferencia en la base del tablero de control.</p>
	<p>Extrusión o corte del croquis anterior para por este realizar el paso de cables y más elementos para el tablero de control.</p>
	<p>Aplicación de material para visualizar y dar mejor aspecto.</p>

Fuente: Autores.

Tabla 31. Modelado tapa tablero de control

	<p>Para la tapa del tablero de control se realizó el croquis con los espacios donde se ubicaran los diferentes componentes como pantallas y luces indicadoras, botones de encendido, apagado y/o programación.</p>
	<p>Extrusión del croquis, y aplicación del material.</p>
	<p>Una vez croquizado se realizó el plano del mismo para en un centro de corte de acrílico por láser se proceda a la confección de la placa.</p>
	<p>Para complementar el diseño de la tapa del tablero de control se realizó del diseño del adhesivo con el texto correspondiente de cada una de las partes y funciones que realizan, una vez impreso se cortó y se pegó sobre la placa de acrílico, se cortaron los espacios libres y sobre este adhesivo se pegó una capa extra de adhesivo transparente para protegerlo del ambiente.</p>

	<p>Así una vez concluido los procesos previos obtuvimos el resultado mostrado.</p>
	<p>Como último paso en esta fase se montaron las diferentes partes, elementos y componentes del tablero.</p>

Fuente: Autores.

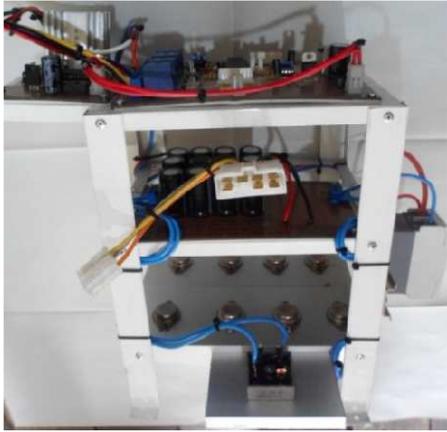
6.1.2 *Control y potencia.* Para la parte eléctrica, de control y potencia se realizó la construcción de los diferentes elementos como la fuente de corriente continua, circuitos de control de temperatura, temporizador.

Antes de la construcción de estos elementos se determinó las condiciones o parámetros a las cuales van a funcionar cada elemento, es decir cada una de las características necesarias para poder cumplir con el recubrimiento deseado de las probetas en el laboratorio de Tratamientos Superficiales.

Tabla 32. Construcción e instalación de circuitos de control y potencia

	<p>Formación de las pistas de la placa de la fuente de corriente continua.</p>
	<p>Limpeza de la placa.</p>
	<p>Vista del diseño previo a la instalación de los diferentes elementos de la placa de la fuente de corriente continua.</p>
	<p>Instalación de los capacitores o acumuladores que forman la fuente de corriente continua.</p>

	<p>Construcción e instalación de la parte de potencia y del puente de diodos rectificadores de corriente.</p>
	<p>Prueba previa de funcionamiento de la fuente de corriente continua.</p>
	<p>Estos elementos son los que controlan el voltaje necesario con el que trabaja el amperímetro.</p>
	<p>Placa del Temporizador, control de sensores de las puertas, control de temperatura, relés de distribución de funcionamiento de elementos.</p>

	<p>Montaje de los diferentes elementos realizado en una base de aluminio remachada, las placas se encuentran aisladas en su base q toma contacto con la torre construida.</p>
	<p>Montaje en la base de la mesa de trabajo, mediante tornillos que la sujetan para evitar el movimiento.</p>
	<p>Instalación de cableado estructurado, fusible, sistema de enfriamiento, transformadores de corriente.</p>
	<p>Montaje y conexión final de los elementos de control y potencia de la planta piloto de tratamientos superficiales.</p>

Fuente: Autores.

6.1.3 *Accesorios.* Los diferentes accesorios usados para la instalación y montaje de la planta piloto de tratamientos se detallan a continuación:

Tabla 33. Accesorios utilizados

	<p>Tubo de aluminio que sirve de conducto para la extracción de gases y vapores.</p>
	<p>Lavandín usado para la limpieza y enjuague de las probetas, cubas, y accesorios usados en los procesos.</p>
	<p>Tanque de agua con bomba sumergible para poder realizar los procesos de limpieza y enjuague de los procesos.</p>



Una vez instalados y realizado el montaje de todos los accesorios se obtuvo el resultado deseado, la mesa de trabajo o planta piloto de tratamientos superficiales.

Fuente: Autores.

6.1.4 *Pruebas de funcionamiento y determinación de parámetros de trabajo.* Para comprobar la funcionabilidad de la planta piloto de tratamientos superficiales se realizó los procesos de cobreado, niquelado, latonado, cromado, galvanizado para probetas de acero y anodizado de probetas de aluminio, estas probetas se normalizaron para optimizar espacios de las cubas y rendimiento de ánodos, electrolitos o sales, considerando las dimensiones de las probetas las consideradas en el ANEXO B.

Para realizar los procesos de recubrimientos necesitamos realizar varios cálculos principalmente el área a recubrir de las probetas, de las cuales obtuvimos los siguientes resultados:

$d = \text{Diámetro menor} = 6\text{mm.} = 0.06\text{dm.}$

$D = \text{Diámetro mayor} = 12\text{mm.} = 0.12\text{dm.}$

$h_i = \text{Altura inferior} = 40\text{mm.} = 0.40\text{dm.}$

$h_s = \text{Altura superior} = 10\text{mm.} = 0.10\text{dm.}$

Cálculo de la superficie de recubrimiento.

$$S = S_l + S_i + S_s$$

Cálculo de la superficie lateral.

$$S_l = \pi * D * h_i$$

$$S_l = \pi * 0.12\text{dm} * 0.40\text{dm}$$

$$S_l = 0.150796\text{dm}^2$$

Cálculo de la superficie inferior.

$$S_i = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$S_i = \frac{\pi * (0.12dm)^2}{4}$$

$$S_i = 0.011309dm^2$$

Cálculo de la superficie superior.

$$S_s = \frac{\pi * D^2}{4} - \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$S_s = \frac{\pi * (0.12dm)^2}{4} - \frac{\pi * (0.06dm)^2}{4}$$

$$S_s = 0.0084823dm^2$$

$$S = (0.150796 + 0.011309 + 0.0084823)dm^2$$

$$S = 0.17058848dm^2$$

Para el control de temperatura de cada baño o electrolito se realizó la tabulación de datos de temperaturas hasta optimizar y controlar la temperatura requerida. Ver ANEXO C.

6.1.4.1 *Preparación de probetas.* Como paso previo a la realización de recubrimientos se deben realizar los siguientes pasos:

Tabla 34. Preparación de probetas

	<p>Una vez lavada, limpia, retirada óxidos, y materia innecesaria en la probeta se procede a engancharla usando un alambre de cobre número AWG10 como mínimo.</p>
---	---

	<p>Ya enganchada la probeta se procede a sumergirla en el desengrase CT-10 para remover óxido, grasa e impurezas del material a tratar.</p>
	<p>Realizado un enjuague previo de la probeta se la sumerge en una solución de ácido sulfúrico al 1%. Con esto realizamos el activado de la probeta.</p>
	<p>Se realiza si es necesario el colgado de las probetas para evitar el movimiento del ánodo y cátodo, con esto evitamos contacto y daños a los equipos, se colocan los lagartos y el sistema de agitación dentro de las cubas con los electrolitos.</p>

Fuente: Autores.

Con la superficie calculada trabajamos todas las probetas con los procesos objetivos de trabajo indicados de los cuales obtuvimos los datos ilustrados en las tablas que a continuación se detallan.

6.1.4.2 Cobreado.

Tabla 35. Pruebas de cobreado

Probeta	Foto	Parámetros
1		<p>Área $S = 0.17058848$ dm^2</p> <p>Voltaje = 3.04V</p> <p>Amperaje = 0.23A</p> <p>Tiempo = 30s</p> <p>Temperatura = 30°C</p> <p>$D = 1.3482$ A/dm²</p>
2		<p>Área $S = 0.17058848$ dm^2</p> <p>Voltaje = 3.10V</p> <p>Amperaje = 0.14A</p> <p>Tiempo = 30s</p> <p>Temperatura = 30°C</p> <p>$D = 0.82068$ A/dm²</p>
3		<p>Área $S = 0.17058848$ dm^2</p> <p>Voltaje = 3.14V</p> <p>Amperaje = 0.19A</p> <p>Tiempo = 30s</p> <p>Temperatura = 30°C</p> <p>$D = 1.113791$ A/dm²</p>
4		<p>Área $S = 0.17058848$ dm^2</p> <p>Voltaje = 3.20V</p> <p>Amperaje = 0.20A</p> <p>Tiempo = 30s</p> <p>Temperatura = 30°C</p> <p>$D = 1.172412$ A/dm²</p>

5		<p>Área $S = 0.17058848$ dm^2</p> <p>Voltaje = 3.25V</p> <p>Amperaje = 0.60A</p> <p>Tiempo = 30s</p> <p>Temperatura = 30°C</p> <p>D = 3.517236 A/dm²</p>
----------	---	--

Fuente: Autores.

Luego de haber realizado estos análisis se comprobó que los parámetros óptimos de funcionamiento y mejor calidad en los recubrimientos electrolíticos.

Voltaje = 3.20V

Tiempo = 30s

Temperatura = 30°C

6.1.4.3 Niquelado.

Tabla 36. Pruebas de Niquelado

Probeta	Foto	Parámetros
1		<p>Área $S = 0.17058848$ dm^2</p> <p>Voltaje = 6.18V</p> <p>Amperaje = 1.55A</p> <p>Tiempo = 22'30''</p> <p>Temperatura = 50°C</p> <p>D = 9.086193 A/dm²</p>

2			<p>Área S = 0.17058848 dm^2 Voltaje = 6.09V Amperaje = 1.81A Tiempo = 22'30'' Temperatura = 50°C <i>D</i> = 10.610329 A/dm^2</p>
3			<p>Área S = 0.17058848 dm^2 Voltaje = 6.14V Amperaje = 1.79A Tiempo = 22'30'' Temperatura = 50°C <i>D</i> = 10.493088 A/dm^2</p>
4			<p>Área S = 0.17058848 dm^2 Voltaje = 6.14V Amperaje = 1.58A Tiempo = 22'30'' Temperatura = 50°C <i>D</i> = 9.262055 A/dm^2</p>
5			<p>Área S = 0.17058848 dm^2 Voltaje = 6.09V Amperaje = 1.50A Tiempo = 22'30'' Temperatura = 50°C <i>D</i> = 8.793090 A/dm^2</p>

Fuente: Autores.

Luego de haber realizado estos análisis se comprobó que los parámetros óptimos de funcionamiento y mejor calidad en los recubrimientos electrolíticos.

Densidad de corriente = $10\text{A}/\text{dm}^2$

Tiempo = 22'30''

Temperatura = 50°C

6.1.4.4 *Latonado.*

Tabla 37. Pruebas de Latonado

Probeta	Parámetros
1	<p>Área S = 0.17058848 dm^2 Voltaje = 3.04V Amperaje = 0.20A Tiempo = 30'' Temperatura = ambiente D = 1.172412 A/dm²</p>
2	<p>Área S = 0.17058848 dm^2 Voltaje = 3.18V Amperaje = 0.18A Tiempo = 30'' Temperatura = ambiente D = 1.055170 A/dm²</p>
3	<p>Área S = 0.17058848 dm^2 Voltaje = 3.28V Amperaje = 0.15A Tiempo = 30'' Temperatura = ambiente D = 0.879309 A/dm²</p>
4	<p>Área S = 0.17058848 dm^2 Voltaje = 3.35V Amperaje = 0.15A Tiempo = 30'' Temperatura = ambiente D = 0.879309 A/dm²</p>
5	<p>Área S = 0.17058848 dm^2 Voltaje = 6.09V Amperaje = 0.20A Tiempo = 30s Temperatura = ambiente D = 1.172412 A/dm²</p>

Fuente: Autores.

Luego de haber realizado estos análisis se comprobó que los parámetros óptimos de funcionamiento y mejor calidad en los recubrimientos electrolíticos.

Densidad de corriente = 1-3 A/dm²

Tiempo = 30'' – 60''

Temperatura = Ambiente

6.1.4.5 Cromado.

Tabla 38. Pruebas de Cromado

Probeta	Foto	Parámetros
1		<p>Área S = 0.17058848 dm²</p> <p>Voltaje = 3.14V</p> <p>Amperaje = 0.33A</p> <p>Tiempo = 3'</p> <p>Temperatura = Ambiente</p> <p>D = 1.934479 A/dm²</p>
2		<p>Área S = 0.17058848 dm²</p> <p>Voltaje = 3.04V</p> <p>Amperaje = 0.29A</p> <p>Tiempo = 3'</p> <p>Temperatura = Ambiente</p> <p>D = 1.699997 A/dm²</p>
3		<p>Área S = 0.17058848 dm²</p> <p>Voltaje = 3.04V</p> <p>Amperaje = 0.45A</p> <p>Tiempo = 3'</p>

		Temperatura = Ambiente D $= 2.637927 \text{ A/dm}^2$
4		Área $S = 0.17058848 \text{ dm}^2$ Voltaje = 3.04V Amperaje = 0.42A Tiempo = 3' Temperatura = Ambiente D $= 2.462065 \text{ A/dm}^2$
5		Área $S = 0.17058848 \text{ dm}^2$ Voltaje = 3.04V Amperaje = 0.38A Tiempo = 3' Temperatura = Ambiente D $= 2.227583 \text{ A/dm}^2$

Fuente: Autores.

Luego de haber realizado estos análisis se comprobó que los parámetros óptimos de funcionamiento y mejor calidad en los recubrimientos electrolíticos.

Voltaje = 3.20V

Tiempo = 3 minutos.

Temperatura = Ambiente.

6.1.4.6 Galvanizado – zincado.

Tabla 39. Pruebas de Zincado

Probeta	Foto	Parámetros
---------	------	------------

<p style="text-align: center;">1</p>		<p> $\text{Área } S = 0.17058848 \text{ dm}^2$ Voltaje = 4.23V Amperaje = 2A Tiempo = 15' Temperatura = Ambiente $D = 11.724121 \text{ A/dm}^2$ </p>
<p style="text-align: center;">2</p>		<p> $\text{Área } S = 0.17058848 \text{ dm}^2$ Voltaje = 3.99V Amperaje = 1.7A Tiempo = 15' Temperatura = Ambiente $D = 9.965502 \text{ A/dm}^2$ </p>
<p style="text-align: center;">3</p>		<p> $\text{Área } S = 0.17058848 \text{ dm}^2$ Voltaje = 3.71V Amperaje = 1.75A Tiempo = 15' Temperatura = Ambiente $D = 10.258606 \text{ A/dm}^2$ </p>

<p style="text-align: center;">4</p>		<p> Área S = 0.17058848 dm^2 Voltaje = 4.47V Amperaje = 2.2A Tiempo = 15' Temperatura = Ambiente D = 12.896533 A/dm² </p>
<p style="text-align: center;">5</p>		<p> Área S = 0.17058848 dm^2 Voltaje = 4.01V Amperaje = 2A Tiempo = 15' Temperatura = Ambiente D = 11.724121 A/dm² </p>

Fuente: Autores.

Luego de haber realizado estos análisis se comprobó que los parámetros óptimos de funcionamiento y mejor calidad en los recubrimientos electrolíticos.

Voltaje = 4.20V

Tiempo = 15 minutos.

Temperatura = Ambiente.

6.1.4.7 Anodizado.

Tabla 40. Preparación de probetas - Anodizado

	<p>Luego de haber limpiado, quitado impurezas del material, se procede a engancharlo o colgarlo, mediante alambre de aluminio o acero inoxidable o cualquier otro material que no sea conductor de corriente como cobre o hierro.</p>
	<p>Se realiza el desengrase en el sistema CT-10, el efecto de este es mordentar el aluminio para que tenga un efecto uniforme.</p>
	<p>Según la calidad del aluminio puede aparecer una mancha negra la que se debe retirar sumergiéndola en una solución de ácido nítrico al 70% hasta que se retire completamente.</p>

Fuente: Autores.

Tabla 41. Pruebas de Anodizado

Probeta	Foto	Parámetros
<p style="text-align: center;">1</p>		<p>Área S = 0.17058848 dm^2 Voltaje = 11.7V Amperaje = 0.4A Tiempo = 25' Temperatura = Ambiente D = 2.344824 A/dm^2</p>
<p style="text-align: center;">2</p>		<p>Área S = 0.17058848 dm^2 Voltaje = 12.2V Amperaje = 0.45A Tiempo = 25' Temperatura = Ambiente D = 2.736927 A/dm^2</p>
<p style="text-align: center;">3</p>		<p>Área S = 0.17058848 dm^2 Voltaje = 12.7V Amperaje = 0.5A Tiempo = 15' Temperatura = Ambiente D = 2.931545 A/dm^2</p>

<p style="text-align: center;">4</p>		<p>Área $S = 0.17058848 \text{ dm}^2$ Voltaje = 12.2V Amperaje = 0.50A Tiempo = 30' Temperatura = Ambiente $D = 2.931030 \text{ A/dm}^2$</p>
<p style="text-align: center;">5</p>		<p>Área $S = 0.17058848 \text{ dm}^2$ Voltaje = 12.2V Amperaje = 0.5A Tiempo = 20' Temperatura = Ambiente $D = 2.931030 \text{ A/dm}^2$</p>

Fuente: Autores.

Luego de haber realizado estos análisis se comprobó que los parámetros óptimos de funcionamiento y mejor calidad en los recubrimientos electrolíticos.

Voltaje = 12.20V

Tiempo = 25 minutos.

Temperatura = Ambiente.

Una prueba para ver si el material se encuentra anodizado es comprobar con el multímetro que no tenga conductividad.

CAPÍTULO VII

7. GUÍAS DE LABORATORIO PARA LOS PROCESOS DE ELECTRODEPOSICIÓN.

Una vez realizadas las pruebas de los procesos de electrodeposición de metales objetivo de la presente investigación se realizaron las guías de laboratorio, las cuales van a servir de instructivos para los estudiantes de cómo se debe realizar un debido manejo y correcto proceso de recubrimiento de metales.

A más de guías de laboratorio son un instructivo y cuenta con recomendaciones las cuales el estudiante mediante investigación complementara conocimientos y sacar sus conclusiones y recomendaciones en base a las experiencias presentadas en el desarrollo de las diferentes prácticas de laboratorio que sirven para potenciar el aprendizaje del estudiante.

Las guías de laboratorio confeccionadas son para los procesos de cobreado, niquelado, latonado, cromado, zincado o galvanizado electrolítico, y anodizado, los cuales contienen en forma general los siguientes requisitos:

- Carátula.
- Título.
- Tema.
- Objetivos.
- Marco Teórico.
- Materiales y equipos.
- Procedimiento.
- Resultados obtenidos.
- Conclusiones y recomendaciones.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRÁCTICA N° 1.

Instructivo para el proceso electrolítico de cobre.

TEMA: Proceso de recubrimiento de cobre alcalino

OBJETIVOS:

- Realizar un recubrimiento de cobre alcalino sobre piezas de acero.
- Identificar diferencias entre los diferentes parámetros aplicados.

MARCO TEÓRICO:

El cobre en especial es un recubrimiento que se aplica más que ningún otro a excepción del níquel.

El cobre es un excelente revestimiento electrolítico primario para depósitos subsecuentes, debido a que es un buen metal para recubrir sustratos defectuosos tales como aquellos que presentan agujeros y/o grietas.

El recubrimiento de cobre es pulido, lo cual es muy fácil de hacer, incluso mejora su habilidad para ser un excelente sustrato. El cobre, y especialmente el cobre pulido, puede proporcionar un sustrato con un alto brillo y nivelación muy fácil de recubrir electrolíticamente con otro metal.

El cobre es en promedio uno de los metales menos costosos y es relativamente estable en cuanto a su suministro.

El cobre tiene una alta eficiencia en su electrodeposición y algunos procesos de cobreado ofrecen buena cobertura y poder de penetración.

El cobre es altamente conductivo y es superado únicamente por la plata, esto lo hace un excelente y económico recubrimiento para productos tales como los tableros de circuitos impreso.

MATERIALES Y EQUIPOS:

- Planta piloto de tratamientos superficiales
- Cubas
- Probetas
- Electrolito (baño de cobre alcalino)
- Ánodo de cobre
- Desengrase CT-10
- Ácido sulfúrico 1% (Activado)
- Secadora
- Agua desmineralizada

PROCEDIMIENTO:

- Preparar el material (limpieza de la superficie y engancharlo).
 - Limpieza del material introduciéndolo en el desengrase CT-10 por un minuto.
 - Lavado fuerte con agua corriente.
 - Activado a inmersión por 30 segundos; en una solución de ácido sulfúrico al 1%.
 - Lavar en agua corriente.
 - Calentar el baño de cobre a una temperatura de 30°C, introducir el sensor de temperatura dentro del baño (observar tabla de temperaturas de la planta en ANEXO C)
 - Colocar el material como cátodo (negativo), el ánodo de cobre (positivo) dentro de la cuba con el baño de cobre alcalino manteniendo una distancia no superior a los 3cm entre ellos evitando el contacto de los mismos, no olvidar introducir el sistema de agitación (revisar que la puerta se encuentre cerrada).
 - Calibrar el equipo con un voltaje de 3.2V y un tiempo estimado en la tabla de resultados.
 - Una vez finalizado el proceso retirar las piezas y lavar con agua corriente.
 - Secar las piezas con aire caliente (secadora).
 - Si es un proceso definitivo colocar una capa de laca para proteger del ambiente.
- Nota: Mantener el extractor de la cámara encendido durante todo el proceso.

RESULTADOS:

- Calcular el área de la pieza que se va a dar el recubrimiento de cobre en dm^2 .
- Realizar el proceso de recubrimiento con los siguientes tiempos de 15, 30, 45, 60 y 75 segundos.
- Observar el amperaje que indica el equipo.
- Calcular la densidad de corriente requerido por el material el cual se expresado en la fórmula:

$$D = \frac{A}{S}$$

Dónde:

D = Densidad de corriente (A/dm^2)

A = Amperaje observado en el equipo (A)

S = Superficie de la pieza (dm^2)

PROBETA	ÁREA S(dm^2)	VOLTAJE (V)	AMPERAJE (A)	TIEMPO (s)	D (A/dm^2)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

BIBLIOGRAFÍA Y LINKOGRAFÍA:



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRÁCTICA N° 2.

Instructivo para el proceso electrolítico de níquel

TEMA: Proceso de recubrimiento de níquel

OBJETIVOS:

- Realizar un recubrimiento de níquel sobre piezas de acero cobreadas anteriormente.
- Identificar diferencias entre los diferentes parámetros aplicados.

MARCO TEÓRICO:

Los depósitos de níquel pueden ser usados con fines decorativos en ingeniería o electroformado debido al amplio control que el operador puede tener sobre el comportamiento del electrólito y de las condiciones de trabajo.

Los niquelados decorativos se logran de un electrólito conteniendo agentes de adición orgánicos de diversos tipos. Los depósitos obtenidos resultan protectores lisos de alta nivelación y con un brillo especular.

Las aplicaciones de ingeniería utilizan electrolitos que depositan níquel puro y las características habitualmente necesarias para este tipo de aplicaciones son:

- Alta resistencia a la corrosión
- Resistencia a la abrasión
- Soldabilidad
- Propiedades magnéticas

Este proceso se lleva a cabo mediante una corriente continua aplicada a los electrodos, lo cual disocia en iones las sales contenidas en la solución produciéndose

un depósito de níquel metálico sobre el cátodo (negativo), y disolución de níquel sobre el ánodo (positivo).

MATERIALES Y EQUIPOS:

- Planta piloto de tratamientos superficiales
- Cubas
- Probetas cobreadas
- Electrolito (baño de níquel)
- Ánodo de níquel
- Desengrase CT-10
- Secadora
- Agua desmineralizada

PROCEDIMIENTO:

- Preparar el material (limpieza de la superficie y enganchado).
 - Limpieza del material introduciéndolo en el desengrase CT-10 por un minuto.
 - Lavado fuerte con agua corriente.
 - Calentar el baño de níquel a una temperatura de 50°C, introducir el sensor de temperatura dentro del baño (observar tabla de temperaturas de la planta en ANEXO C)
 - Colocar el material como cátodo (negativo), el ánodo de níquel (positivo) dentro de la cuba con el baño de níquel manteniendo una distancia no superior a los 3cm entre ellos evitando el contacto de los mismos, no olvidar introducir el sistema de agitación y regularlo al mínimo (revisar que la puerta se encuentre cerrada).
 - Calibrar el equipo con un tiempo de 20 minutos y los parámetros siguientes son ingresados mediante cálculos con los datos que se da a continuación.
 - Una vez finalizado el proceso retirar las piezas y lavar con agua corriente.
 - Secar las piezas con aire caliente (secadora).
 - Si es un proceso definitivo colocar una capa de laca para proteger del ambiente.
- Nota: Mantener el extractor de la cámara encendido durante todo el proceso.

RESULTADOS:

- Calcular el área de la pieza que se va a dar el recubrimiento de cobre en dm^2 .
- Con la densidad de corriente de 4, 6, 8, 10, 12 A/dm^2 calcular el amperaje requerido con la siguiente fórmula:

$$A = D \times S$$

Dónde:

D = Densidad de corriente (A/dm^2)

A = Amperaje observado en el equipo (A)

S = Superficie de la pieza (dm^2)

Una vez puesto en marcha el equipo ajustamos el amperaje de la fuente de poder al calculado anteriormente variando el voltaje (se recomienda iniciar con un voltaje de 6V)

PROBETA	ÁREA S(dm^2)	VOLTAJE (V)	AMPERAJE (A)	TIEMPO (s)	D(A/ dm^2)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

BIBLIOGRAFÍA Y LINKOGRAFÍA:

7.1 Ficha técnica para los baños y tratamientos de níquel.(GALVANO, 2013)

BRILLO DE NÍQUEL ULTRA BRIGHT

El nuevo proceso de níquel brillante ULTRA BRIGHT ha sido desarrollado para satisfacer las necesidades de obtener depósitos de níquel más brillante y de alta velación, no afectando la dureza del recubrimiento de níquel.

Entre las principales ventajas del ULTRA BRIGHT podemos destacar las siguientes.

- Rápida velación y brillo
- Excelente poder de penetración
- Buena receptiva de los depósitos posteriores (baja pasivación)

COMPOSICIÓN DE LA SOLUCIÓN DE NÍQUEL

Sulfato de níquel	300 gr/l
Cloruro de níquel	60 gr/l
Ácido bórico	45 gr/l
Solución base carrier	16 – 20 ml/l
Ultra Bright	2 – 4 ml/l

RENDIMIENTO PROMEDIO

Brillo de níquel Ultra Bright	1 litro por cada 7.000 amp/h
Solución Base Carrier	1 litro por cada 10.000 amp/h
Níquel Glanzer Antipit 230	1 litro por cada 25.000 amp/h

El consumo del abrillantador depende también del manejo de los baños, condiciones de trabajo y necesidad de cada planta.

CONTROL Y MANTENIMIENTO

ADITIVOS Y ABRILLANTADORES

La concentración de ULTRA BRIGHT puede variar de 1 – 4 ml/l en baño nuevo según la necesidad. Y para mantenimiento las adiciones son bajas.

La solución base carrier 16 – 20 ml/l para baño nuevo y para mantenimiento el consumo es menor.

TEMPERATURA Y AGITACIÓN

Es recomendable 50 – 55°C. La agitación deberá ser vigorosa.

FILTRACIÓN

En lo posible emplear filtración continua de esta forma se mantiene libre de impurezas sólidas.

PH

Deberá mantenerse entre 4.2 – 4.8

MANTENIMIENTO DE LOS ADITIVOS

Adiciones de 1- 2 ml/l de Antipit 230 en caso de agitación o por educción.

Se recomienda adicionar 1 ml/l de Nipur periódicamente para evitar contaminaciones.

TOXICOLOGÍA

Son productos tóxicos únicamente por ingestión, no es corrosivo, no es inflamable y no es tóxico.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRÁCTICA N° 3.

Instructivo para el proceso electrolítico de latón

TEMA: Proceso de recubrimiento de cobre latón.

OBJETIVOS:

- Realizar un recubrimiento de latón sobre piezas de acero niqueladas anteriormente.
- Identificar diferencias entre los diferentes parámetros aplicados.

MARCO TEÓRICO:

El proceso de latonado consiste en la electrodeposición de latón metálico sobre una superficie metálica, los depósitos de latón constituyen los más importantes recubrimientos formados por una aleación de dos metales. Estos depósitos se han usado, no sólo como cubridores de hierro y cinc con fines decorativos, sino como base fundamental para favorecer la adherencia del caucho sobre el acero y como depósito intermedio para otros recubrimientos.

El latón tiene un color amarillo brillante, con gran parecido al oro y por eso se utiliza mucho en joyería conocida como bisutería, y elementos decorativos. Otras aplicaciones de los latones abarcan los campos más diversos, desde el armamento, calderería, soldadura, fabricación de alambres, tubos de condensador y terminales eléctricas. Como no es atacado por el agua salada, se usa también en las construcciones de barcos, en equipos pesqueros y marinos, y en la fabricación de muchos instrumentos musicales de aliento y en lengüetas sonoras para armonios, acordeones y registros de lengüetería para órganos musicales.

MATERIALES Y EQUIPOS:

- Planta piloto de tratamientos superficiales
- Cubas
- Probetas niqueladas
- Electrolito (baño de latón)
- Ánodo de latón
- Desengrase CT-10
- Secadora
- Agua desmineralizada

PROCEDIMIENTO:

- Preparar el material (limpieza de la superficie y enganchado).
 - Limpieza del material introduciéndolo en el desengrase CT-10 por un minuto.
 - Lavado fuerte con agua corriente.
 - El latonado se realiza a temperatura ambiente por lo que no es necesario utilizar el sistema de calentamiento.
 - Colocar el material como cátodo (negativo), el ánodo de latón (positivo) dentro de la cuba con el baño de latón manteniendo una distancia no superior a los 3cm entre ellos evitando el contacto de los mismos, no olvidar introducir el sistema de agitación (revisar que la puerta se encuentre cerrada).
 - Calibrar el equipo con un tiempo de 45 segundos y los parámetros siguientes son ingresados mediante cálculos con los datos que se da a continuación.
 - Una vez finalizado el proceso retirar las piezas y lavar con agua corriente.
 - Secar las piezas con aire caliente (secadora).
 - Si es un proceso definitivo colocar una capa de laca para proteger del ambiente.
- Nota: Mantener el extractor de la cámara encendido durante todo el proceso.

RESULTADOS:

- Calcular el área de la pieza que se va a dar el recubrimiento de cobre en dm².
- Con la densidad de corriente de 1, 2, 3, 4, 5 A/dm² calcular el amperaje requerido con la siguiente fórmula:

$$A = D \times S$$

Dónde:

D = Densidad de corriente (A/dm²)

A = Amperaje observado en el equipo (A)

S = Superficie de la pieza (dm²)

Una vez puesto en marcha el equipo ajustamos el amperaje de la fuente de poder al calculado anteriormente variando el voltaje (se recomienda iniciar con un voltaje de 3V)

PROBETA	ÁREA S(dm ²)	VOLTAJE (V)	AMPERAJE (A)	TIEMPO (s)	D (A/ dm ²)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:**BIBLIOGRAFÍA Y LINKOGRAFÍA:**

7.2 Ficha técnica para los baños y tratamientos de zinc.(GALVANO, 2013)

ADITIVO GALBRASS

Este producto para baños de latón fuerte o flash nos produce una estabilidad en el color y un brillo del depósito de latón, evitando además el desprendimiento de gases tóxicos por la producción de una pequeña película de espuma.

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL BAÑO

Sales de latón fuerte	257 g/l
Temperatura	35 – 40 °C
Densidad de corriente	1 - 3 Amp/dm ²
Voltaje	1 – 3 voltios (estático) 5 – 10 voltios (tambor)

CONCENTRACIÓN DEL BAÑO

Cianuro de cobre	75 g/l
Cianuro de zinc	30 g/l
Cianuro de sodio	150 g/l
Cianuro de amonio	2 g/l
Galbrass	1 – 2 ml/l

BENEFICIOS

Un litro de aditivo GALBRASS por cada 10.000 Amp/h.

El aditivo GALBRASS mejora el brillo de los recubrimientos de latón, aumentado, además el poder penetrante del baño y produciendo recubrimiento más uniforme, así como también nivela el color.

TOXICOLOGÍA

Como toda sustancia química es tóxica por ingestión, irrita la piel, las mucosas y los ojos, evitar en lo posible inhalar directamente ya que puede causar daño a las mucosas nasales.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRÁCTICA N° 4.

Instructivo para el proceso electrolítico de cromo

TEMA:Proceso de recubrimiento de cromo

OBJETIVOS:

- Realizar un recubrimiento de cromo sobre piezas de acero niquelado o latonado anteriormente.
- Identificar diferencias entre los diferentes parámetros aplicados.

MARCO TEÓRICO:

Generalmente las soluciones de ácido crómico se utilizan para fines decorativos y para trabajos de ingeniería en los cuales son necesarios espesores y dureza apreciables. El depósito es altamente reflejante y se mantiene en servicio debido a que es muy resistente a las manchas, a la corrosión, a la abrasión y a las rayaduras.

El cromo es un recubrimiento casi exclusivo para electrodepositos de níquel el cual puede ser fácilmente aplicado sobre sustratos tales como plásticos, acero, aluminio, aleaciones de cobre y zinc.

El níquel tiene esta preferencia ya que protege al sustrato de la corrosión, y ayuda al depósito de cromo a tener un color blanco. El acero inoxidable es el único sustrato que es directamente recubierto con cromo.

En los baños de cromo duro, usados en las aplicaciones de ingeniería, se pueden obtener depósitos hasta de varios milímetros de espesor. Con este tipo de soluciones se obtienen excelentes resultados para ambos usos.

Para fines decorativos, se aplica el cromo sobre una base de níquel perfectamente activada, para la opción de espesor, se buscan electrolitos de alta velocidad de depósito.

MATERIALES Y EQUIPOS:

- Planta piloto de tratamientos superficiales
- Cubas
- Probetas niqueladas (de preferencia latonadas)
- Electrolito (baño de cromo)
- Ánodo de plomo
- Desengrase CT-10
- Secadora
- Agua desmineralizada

PROCEDIMIENTO:

- Preparar el material (limpieza de la superficie y engancharlo).
- Limpieza del material introduciéndolo en el desengrase CT-10 por un minuto.
- Lavado fuerte con agua corriente.
- El baño de cromo se lo realiza a temperatura ambiente por lo que no es necesario utilizar el sistema de calentamiento.
- Colocar el material como cátodo (negativo), el ánodo de plomo (positivo) dentro de la cuba con el baño de cromo manteniendo una distancia no superior a los 3cm entre ellos evitando el contacto de los mismos, no olvidar introducir el sistema de agitación (revisar que la puerta se encuentre cerrada).
- Calibrar el equipo con un voltaje de 3.2V y un tiempo estimado en la tabla de resultados.
- Una vez finalizado el proceso retirar las piezas y lavar con agua corriente.
- Secar las piezas con aire caliente (secadora).
- Colocar una capa de laca para proteger del ambiente.

Nota: Mantener el extractor de la cámara encendido durante todo el proceso.

RESULTADOS:

- Calcular el área de la pieza que se va a dar el recubrimiento de cromo en dm^2 .
- Realizar el proceso de recubrimiento con los siguientes tiempos de 30 segundos, 1, 2, 3, 4 minutos.
- Observar el amperaje que indica el equipo.

- Calcular la densidad de corriente requerido por el material el cual se expresado en la fórmula:

$$D = \frac{A}{S}$$

Dónde:

D = Densidad de corriente (A/dm²)

A = Amperaje observado en el equipo (A)

S = Superficie de la pieza (dm²)

PROBETA	ÁREA S(dm ²)	VOLTAJE (V)	AMPERAJE (A)	TIEMPO (s)	D (A/ dm ²)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

BIBLIOGRAFÍA Y LINKOGRAFÍA:



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRÁCTICA N° 5.

Instructivo para el proceso electrolítico de zinc

TEMA: Proceso de recubrimiento de zinc.

OBJETIVOS:

- Realizar un recubrimiento de zinc sobre piezas de acero.
- Identificar diferencias entre los diferentes parámetros aplicados.

MARCO TEÓRICO:

Durante más de 100 años, el zinc y sus aleaciones se ha utilizado como capa decorativa y de protección sobre una variedad de metales, principalmente del acero.

Durante el paso de los años se han desarrollado varios procesos para la aplicación de capas de zinc y están en función del sustrato, los requerimientos del depósito y el costo. De éstos, la electrodeposición de zinc (más conocido como galvanizado electrolítico) es el más usual para las aplicaciones funcionales y decorativas. Cuando se elige un proceso de zincado, es importante conocer que procesos está disponibles y cuáles son sus ventajas y desventajas particulares

La selección del baño a utilizar se debe hacer en función del tipo de trabajo que se va a realizar, del metal base a recubrir y de la producción en cantidad de las piezas que se deberán obtener del mismo por unidad de tiempo. Es importante, además, definir el método a utilizar para la producción, si se va a llevar a cabo en barril o colgado, ya que de ello dependen las variaciones ligeras a realizarse sobre la composición de los baños.

MATERIALES Y EQUIPOS:

- Planta piloto de tratamientos superficiales
- Cubas
- Probetas
- Electrolito (baño zinc)
- Ánodo de zinc
- Desengrase CT-10
- Cromatizado B7
- Secadora
- Agua desmineralizada

PROCEDIMIENTO:

- Preparar el material (limpieza de la superficie y engancharlo).
 - Limpieza del material introduciéndolo en el desengrase CT-10 por un minuto.
 - Lavado fuerte con agua corriente.
 - El baño de zinc se lo realiza a temperatura ambiente por lo cual no es necesario utilizar el sistema de calentamiento.
 - Colocar el material como cátodo (negativo), el ánodo de zinc (positivo) dentro de la cuba con el baño zinc manteniendo una distancia no superior a los 3cm entre ellos evitando el contacto de los mismos, no olvidar introducir el sistema de agitación (revisar que la puerta se encuentre cerrada).
 - Calibrar el equipo con un voltaje de 4.2V y un tiempo estimado en la tabla de resultados.
 - Una vez finalizado el proceso retirar las piezas y lavar con agua corriente.
 - Luego se le da una pequeña inmersión en el cromatizado B7 por 20 segundos.
 - Lavar con agua corriente.
 - Secar las piezas con aire caliente (secadora).
 - Si es un proceso definitivo colocar una capa de laca para proteger del ambiente.
- Nota: Mantener el extractor de la cámara encendido durante todo el proceso.

RESULTADOS:

- Calcular el área de la pieza que se va a dar el recubrimiento de zinc en dm².
- Realizar el proceso de recubrimiento con los siguientes tiempos de 13, 14, 15, 16, 17 minutos.
- Observar el amperaje que indica el equipo.
- Calcular la densidad de corriente requerido por el material el cual se expresado en la fórmula:

$$D = \frac{A}{S}$$

Dónde:

D = Densidad de corriente (A/dm²)

A = Amperaje observado en el equipo (A)

S = Superficie de la pieza (dm²)

PROBETA	ÁREA S(dm ²)	VOLTAJE (V)	AMPERAJE (A)	TIEMPO (s)	D (A/ dm ²)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

BIBLIOGRAFÍA Y LINKOGRAFÍA:

7.3 Ficha técnica para los baños y tratamientos de zinc.(GALVANO, 2013)

BRILLO DE ZINC GLANZER

El abrillantador para baños de zinc alcalino-cianurados ZINC GLAZER fue elaborado para suplir las necesidades en acabados de buena calidad, protección y brillo., logrando un mayor rendimiento con relación a cualquier otro similar que exista en el mercado, y se puede utilizar en piezas colgadas como a tambor.

Además posee un excelente poder de penetración y una buena adherencia aceptando fácilmente cualquier tipo de tratamiento cromatizante.

Para baños que estén funcionando con otro tipo de abrillantadores se puede agregar el brillo ZINC GLANZER sin ningún tratamiento previo del baño ni ajustes en formulación.

FORMULACIÓN RECOMENDADA PARA BAÑOS NUEVOS CON CIANURO DE ZINC

Cianuro de zinc	33.5 g/l
Cianuro de sodio	44.5 g/l
Hidróxido de sodio	80 g/l
Relación Cianuro de sodio / Zinc Metal	2.3 - 2.4
Zinc Glazer	4 – 6 ml/l

FORMULACIÓN RECOMENDADA PARA BAÑOS NUEVOS CON OXIDO DE ZINC

Óxido de zinc	32 g/l
Cianuro de sodio	56 g/l
Hidróxido de sodio	80 g/l
Relación Cianuro de Sodio / Zinc Metal	2.0 – 2.1
Zinc Glazer	4 – 6 ml/l

Para baños ya en funcionamiento basta añadir 3 ml/l de brillo de ZINC GLAZER cuidando de que el purificador se encuentre en su concentración normal.

Se recomienda una vez logrado el nivel de brillo deseado, y para mantenerlo, hacer pequeñas adiciones de ZINC GLAZER durante el día. Su rendimiento es de aproximadamente 1.5 – 2.0 litros por cada 10.000 amp/h.

TOXICOLOGÍA

Siendo un proceso a base de cianuros, se recomienda tener mucho cuidado. Usar guantes de caucho, mascarilla y lentes de protección. Lavarse muy bien las manos luego de su manipulación. Es corrosivo a la piel e irrita a las mucosas nasales. ES VENENOSO.

SISTEMA DE ZINC CROMATIZADO B – 7 AZUL

El cromatizado B – 7 es un producto concentrado, presentado en forma de polvo que produce una película convertidora de cromato azul claro sobre piezas galvanizadas electrolíticamente.

Este proceso de cromato tiene una protección a la corrosión que puede ir de 30 – 100 horas de resistencia a la prueba de chorro sal neutro. Además forma una base excelente para pintura y tiene una apariencia agradable para muchas aplicaciones decorativas.

PREPARACIÓN Y CONDICIONES DE TRABAJO

Cromatizado B – 7	5-10 g/l	óptimo	7 g/l
Ácido nítrico	10 a 5 ml/l	óptimo	12 ml/l
Temperatura	ambiente		
Tiempo de inmersión	5 a 60 segundos agitando		

CONDICIONES DE OPERACIÓN

La concentración es controlada con adiciones regulares de Cromatizado B – 7 y ácido nítrico.

Estos materiales son adicionales al baño en misma proporción de la fórmula inicial, pero en cantidades menores según las necesidades. Este procedimiento no debe efectuarse más de dos veces en la misma solución de cromatizado, luego aconsejamos cambiarlo. De todas maneras se determina según el análisis indicado posteriormente.

DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN B – 7

- 1.- Colocar en una pipeta 50 ml de la solución, llevar a un vaso y diluir aproximadamente a 250 ml.
- 2.- Adicionar con cuidado y con agitación 10 ml de ácido clorhídrico concentrado, peso específico 1.18.
- 3.- Adicionar 5 ml de solución de yoduro de potasio (100g/l)

- 4.- Titular con solución de tiosulfato estandarizado frente a bicromato de potasio
- 5.- Adicionar de 1 a 3 ml de solución de almidón (10 g/l de almidón soluble)
- 6.- Continuar adicionando solución de tiosulfato gota a gota con agitación constante hasta que desaparezca el color azul que se produce por la adición del almidón.
- 7.- Por cada ml de solución de tiosulfato 0.1 normal después de 16 ml, adicional ¼ de libra de cromatizado B – 7 y 450 ml de ácido nítrico concentrado por cada 100 galones de baño.

DETERMINACIÓN DE ÁCIDO NÍTRICO

- 1.- Tomar en una pipeta 5 ml de la solución de cromatizado B – 7 y llevar a un vaso de 250ml.
- 2.- Diluir a 10 ml con agua destilada.
- 3.- Titular con hidróxido de sodio 0.1 N usando 5 gotas de fenolftaleína como indicador.
- 4.- Titular a un color rojizo persistente y que se mantenga durante un segundo de agitación fuerte.

Una solución recién preparada de CROMATIZADO B – 7 requerirá de 18 a 24 ml de hidróxido de sodio, si es menos de 18 ml requerirá de la adición de ácido nítrico.

TOXICOLOGÍA

Las soluciones de cromatizado contienen cromatos y son oxidantes por naturaleza. Evite el contacto con materiales orgánicos y agentes reproductores. Evite el contacto con los ojos y la piel, en caso de contacto accidental, lavar abundantemente con agua y consultar con el médico.

TRATAMIENTO DE EFLUENTES

Las aguas de enjuagues y desechos deben ser recogidas y tratadas en planta de neutralización. Por tener un alto contenido de cromo hexavalente y ser ácidas, el pH de la solución debe ser ajustado entre 6 – 8 para su tratamiento posterior siguiendo las normas exigidas en cada país.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRÁCTICA N° 6.

Instructivo para el proceso de anodizado

TEMA:Proceso de anódico

OBJETIVOS:

- Realizar un recubrimiento anódico en piezas de aluminio.
- Identificar diferencias entre los diferentes parámetros aplicados.

MARCO TEÓRICO:

Se denomina anodizado al proceso electrolítico de pasivación utilizado para incrementar el espesor de la capa natural de óxido en la superficie de piezas metálicas. Esta técnica suele emplearse sobre el aluminio para generar una capa de protección artificial mediante el óxido protector del aluminio, conocido como alúmina. La capa se consigue por medio de procedimientos electroquímicos, y proporciona una mayor resistencia y durabilidad del aluminio. La protección dependerá en gran medida del espesor de esta capa (en micras).

El nombre del proceso deriva del hecho que la pieza a tratar con este material hace de ánodo en el circuito eléctrico de este proceso electrolítico.

La anodización es usada frecuentemente para proteger el aluminio y el titanio de la abrasión y la corrosión, y permite su tinte en una amplia variedad de colores.

Las técnicas de anodizado han evolucionado mucho con el paso del tiempo y la competencia en los mercados, por lo cual actualmente encontramos desde una capa de óxido de aluminio con el color gris propio de este óxido hasta coloraciones posteriores a la formación de la capa con colores tales como oro, bronce, negro y rojo. Las últimas técnicas basadas en procesos de interferencia óptica pueden proporcionar acabados tales como azul, gris perla y verde.

Hay distintos métodos de coloración de las capas de óxido formadas: coloración por sales y coloración por tintes, siendo la primera opción la más habitual y la que más calidad en acabado y durabilidad garantiza.

Como técnica reciente se está desarrollando los acabados por interferencia (azul, gris y verde) basados en modificaciones posteriores del poro del óxido de aluminio formado en la etapa propia de anodizado. Esta modificación microscópica del poro se consigue mediante la reproducción de condiciones de temperatura, concentraciones del electrolito, voltajes, superficie de carga afectada y características de la aleación. El control de estas variables y la reproducibilidad de las condiciones del proceso son las que determinan el acabado azul, gris o verde.

MATERIALES Y EQUIPOS:

- Planta piloto de tratamientos superficiales
- Cubas
- Probetas de aluminio
- Solución de anodizado
- Cátodo de plomo
- Desengrase CT-10
- Ácido nítrico al 70%
- Secadora
- Agua desmineralizada

PROCEDIMIENTO:

- Preparar el material (limpieza de la superficie y engancharlo con alambre de aluminio o acero inoxidable).
- Limpieza del material introduciéndolo en el desengrase CT-10 por 5 a 10 minutos.
- Lavado fuerte con agua corriente.
- De acuerdo a la calidad del aluminio existe la posibilidad de observar manchas negras, las cuales se las retira introduciendo el material en una solución de ácido nítrico al 70%, de no ser este el caso se puede obviar este paso.
- Lavar en agua corriente.

- Este proceso se lo realiza a temperatura ambiente por lo que no se utilizará el sistema de calentamiento.
- Colocar el material como ánodo (positivo), el plomo como cátodo (negativo) dentro de la cuba con el baño de cobre anodizado manteniendo una distancia no superior a los 3cm entre ellos evitando el contacto de los mismos, no olvidar introducir el sistema de agitación (revisar que la puerta se encuentre cerrada).
- Calibrar el equipo con un voltaje de 12.2V y un tiempo estimado en la tabla de resultados.
- Una vez finalizado el proceso retirar las piezas y lavar con agua corriente.
- Realizar el sellado introduciendo el material en agua desmineralizada a 80°C (utilizar el sistema de calentamiento del equipo luego de realizar el proceso de anodizado) a 15 minutos.
- Secar las piezas con aire caliente (secadora).

Nota: Mantener el extractor de la cámara encendido durante todo el proceso.

RESULTADOS:

- Calcular el área de la pieza que se va a dar el recubrimiento anódico en dm².
- Realizar el proceso de recubrimiento con los siguientes tiempos de 15, 20, 25, 30, 35 minutos.
- Observar el amperaje que indica el equipo.
- Calcular la densidad de corriente requerido por el material el cual se expresado en la fórmula:

$$D = \frac{A}{S}$$

Dónde:

D = Densidad de corriente (A/dm²)

A = Amperaje observado en el equipo (A)

S = Superficie de la pieza (dm²)

PROBETA	ÁREA S(dm²)	VOLTAJE (V)	AMPERAJE (A)	TIEMPO (s)	D (A/ dm²)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

BIBLIOGRAFÍA Y LINKOGRAFÍA:

7.4 Ficha técnica para sistema de desengrase ct-10.(GALVANO, 2013)

SISTEMA DESENGRASE CT – 10

El desengrase es preparado principalmente para piezas de hierro, bronce o cobre. Trabaja catódicamente, es decir la cuba trabaja de ánodos (positivo) mas, el material hace de cátodo (negativo) menos y ayuda a activar el depósito.

Desengrase muy efectivo para remover suciedades como: aceites, grasas, compuestos abrasivos y demás ya que está compuesto de sustancias humectantes, secuestrantes y saponificantes las cuales atrapan todo compuesto extraño y lo precipitan al fondo de la cuba.

CONDICIONES DE OPERACIÓN

Desengrase CT – 10	100 g/l
Temperatura	50 – 60 °C
Voltaje	5 – 9 voltios
Tiempo	1 – 3 minutos

EQUIPO

Tanques fabricados en tol negro o acero.

APLICACIONES

- 1.- Se recomienda el desengrase electrolítico catódico para procesos de piezas de hierro, bronce, cobre y como buen activador de níquel.
- 2.- Elimina grasas, aceites o cualquier elemento grasoso adherido al material.

MANTENIMIENTO

El tiempo de vida de este desengrase, varía notablemente por el uso, dependiendo del estado en que entren las piezas al proceso. También por el tipo de corriente utilizada (catódica), es susceptible a contaminaciones metálicas, que de producirse causan problemas de adherencia.

TOXICOLOGÍA

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

CAPÍTULO VIII

8. ANÁLISIS FINANCIERO.

8.1 Costos

8.1.1 *Costo directo.* Proyecto: Construcción, implementación y pruebas de una planta piloto de cobreado, niquelado, cromado, galvanizado, anodizado don sus respectivas guías para el laboratorio de tratamientos superficiales de la Facultad de Mecánica.

Fecha: 1 de Diciembre del 2012

Tabla 42. Costos directos - Mesa de trabajo

MESA DE TRABAJO (Mezón, Placa de Granito y Lavandín)			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
Mezón de melamínico	1	240,00	240,00
Placa de granito	1	105,00	105,00
lavandín	1	21,60	21,60
Válvula	1	11,50	11,50
Recipiente plástico 5 Gl	1	9,15	9,15
Sensor de nivel	1	4,80	4,80
Bomba de agua	1	34,00	34,00
Subtotal			426,05

Fuente: Autores

Tabla 43. Costos directos - Cámara y extractor de gases

CÁMARA Y EXTRACTOR DE GASES			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
Construcción cámara	1	75,00	75,00
Ventilador	1	11,00	11,00
Tubo flexible	1	22,30	22,30
Subtotal			108,30

Fuente: Autores

Tabla 44. Costos directos - Electrolíticos, ánodos, ácidos y cubas

ELECTROLITOS, ÁNODOS, ÁCIDOS Y CUBAS			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
Baños electrolíticos	1	173,35	173,35
Ánodos	1	146,16	146,16
Ácidos	1	28,70	28,70
Cubas	1	72,56	72,56
Subtotal			420,77

Fuente: Autores

Tabla 45. Costos Directos - Control y potencia

CONTROL Y POTENCIA			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
Fuente de poder	1	340,00	340,00
Transformador	1	304,17	304,17
Temporizador	1	100,00	100,00
Control de temperatura	1	75,00	75,00
Control de extractor	1	35,00	35,00
ventilador	1	11,00	11,00
Bomba de aire	1	10,00	10,00
Contactador 2 Hp	1	12,64	12,64
Contactador 2 polos	1	11,65	11,65
Cable (varios calibres)	1	20,00	20,00
Porta fusible	1	2,75	2,75
Boton paro de emergencia	1	4,20	4,20
Lampara indicadora	1	2,10	2,10
Adaptador 5V	1	6,50	6,50
Tablero de control	1	63,00	63,00
Pulsadores	8	0,98	7,84
Subtotal			1005,85

Fuente: Autores

Tabla 46. Costos Directos – Materiales, equipos y herramientas

MATERIALES Y HERRAMIENTAS			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
Herramientas	1	40,00	40,00
Tornilleria	1	20,00	20,00
Perfiles de aluminio	1	16,29	16,29
Canaletas	3	3,00	9,00
Tubo y rejilla	1	11,30	11,30
Accesorios eléctricos	1	28,51	28,51
Cable 14 x 3	1	25,00	25,00
Accesorios hidraulicos	1	38,00	38,00
Pintura	1	31,79	31,79
Seguridad industrial	1	72,00	72,00
Albañil	1	20,00	20,00
Transporte	1	261,50	261,50
Subtotal			573,39

Fuente: Autores

TOTAL COSTO DIRECTO (USD) = 426.05 + 108.30 + 420.77 + 1005.85 + 573.39

TOTAL COSTO DIRECTO (USD) = 2534.36

8.1.2 Costos indirectos

Tabla 47. Costos indirectos - Gastos administrativos

GASTOS ADMINISTRATIVOS			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
Costo ingenieril 5%	1	126,72	126,72
Imprevistos 5%	1	126,72	126,72
Utilidad 0%	1	0,00	0,00
Subtotal			253,44

Fuente: Autores

COSTO TOTAL (USD) = COSTO DIRECTO + COSTO INDIRECTO

COSTO TOTAL (USD) = 2534.36 + 253.44

COSTO TOTAL (USD) = 2787,80

CAPÍTULO IX

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

9.1 Conclusiones.

Se modeló y creó planos de las partes de acuerdo a las necesidades requeridas para luego proceder a la construcción de la planta piloto de tratamientos superficiales.

Se construyó e implementó la planta piloto de tratamientos superficiales con materiales de acorde al ambiente de trabajo y al modelado realizado por el software utilizado.

Se probó la planta piloto realizando los procesos de cobreado, niquelado, cromado, galvanizado y anodizado obteniendo buenos resultados de funcionamiento del equipo para los procesos anteriormente mencionados.

Se determinó parámetros de funcionamiento del equipo con respecto a las condiciones de trabajo que requieren los procesos.

En base a la investigación y a las pruebas realizadas se elaboró las guías de laboratorio de cada proceso para que el estudiante pueda complementar el conocimiento adquirido en el aula.

Se comprobó que al momento de realizar el anodizado no puede ingresar al compuesto químico otro elemento que el aluminio y el ánodo de plomo ya que si existe contacto directo de las pinzas de corriente se genera un cortocircuito.

Se observó que para ciertos procesos es necesario regular la agitación al mínimo ya que de acuerdo a la composición de las sales estas generan espuma y puede afectar el acabado como es el caso de la sal de níquel.

De igual manera se comprobó que al momento de realizar los procesos de cobreado, niquelado, latonado, cromado y cincado el mejor elemento para sujeción de las piezas es el cable de cobre por su alta conductividad eléctrica, además por el material que está formado no interfiere en la reacciones electroquímicas.

Se constató que para realizar estos procesos se necesitan parámetros específicos ya que la variación de uno de ellos afecta de diferente forma el terminado o las propiedades que se le desea aplicar a las piezas.

Al momento de realizar los enjuagues finales de las piezas se observó que en la superficie de las mismas aparecen unas manchas de color blanco lo cual se da por los minerales que contiene el agua utilizada para el enjuague.

9.2 Recomendaciones.

Seguir el instructivo y las guías de laboratorio para obtener un buen funcionamiento del equipo y evitar daños en el mismo como cortocircuitos, incendios, etc.

Utilizar el equipo de protección personal recomendado y apegarse a las normas de seguridad con las que cuenta el laboratorio para evitar perjuicios como quemaduras.

Mantener el aseo del equipo, ya que al trabajar con químicos corrosivos producen daños en los componentes que interactúan con los mismos, se pide mantener sin agua el tanque de agua interno cuando no se encuentre en uso para evitar que la misma dañe la bomba.

Tener muchísimo cuidado al momento de manipular los ácidos como el nítrico que por su composición química es volátil y puede causar quemaduras graves tanto internas por inhalación como externas por contacto.

Poner mucha atención para el anodizado al momento de polarizar el ánodo y cátodo ya que si se la realiza de forma inversa puede generar daños en la fuente de poder por cortocircuito.

No ingresar las pinzas de los cables de la fuente de poder en la sal ya que esta es buena conductora de corriente y se genera un cortocircuito en la fuente de poder causando daños en la misma, por eso la sujeción de la pieza se la realiza con alambre únicamente de aluminio, esta unión debe quedar fuera de la sal en todo el proceso debido a que si el alambre ingresa en el proceso resultaría afectado y perdería su capacidad de conductividad quedando incompleto el proceso.

Realizar la sujeción de la pieza con alambre de cobre para el resto de procesos y no hay inconveniente de que este ingrese a la sal durante el proceso.

Realizar la limpieza y secado de los ánodos ya que esto previene la degradación por oxidación luego de haber finalizado los procesos.

Tener mucho cuidado en el manejo o elaboración de las probetas o piezas a recubrir electrolíticamente, es decir seguir estrictamente recomendaciones de limpieza, desengrase, y más modos de preparación del material para con esto dar más vida útil a los electrolitos o sales que entran en el proceso, con esto se obtendrá un mejor rendimiento; además aprovechar y limitar capacidades de la fuente de corriente continua, sin sobrepasar los límites descritos ni desaprovechar la potencia de la misma, todo esto se obtendrá mediante cálculos de espacios y capacidades de corriente y voltaje, disposición de los elementos dentro de las cubas, y más factores a tomar en cuenta.

Complementar el laboratorio de tratamientos superficiales con un medidor de espesores y un manual de calidad para dar continuidad a este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- ALMENDÁRIZ, Marco. 2009.***Procesos Industriales*. Riobamba : ESPOCH, 2009.
- CONRED. 2013.** Señalización de Ambientes y Equipos de Seguridad. <http://www.conred.gob.gt/www/#581>. [En línea] 2013. [Citado el: 15 de 05 de 2013.]
- 2001.** Diccionario de la Lengua Española. <http://rae.es/>. [En línea] 2001. [Citado el: 10 de 01 de 2013.]
- ESPOCH. 2013.** Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://www.espoch.edu.ec/index.php?action=antecedentes>. [En línea] 2013. [Citado el: 20 de 04 de 2013.]
- GALVANO, Industria metalquímica. 2013.***Fichas técnicas*. Quito, Ecuador : Laboratorio, 2013.
- GALVANOLYTE. 2010.***Manual de Procesos Electrolíticos*. México D.F. : Laboratorio, 2010.
- NAVARRETE, Elías. 2012.** Química. <http://www.slideshare.net/ELIASNAVARRETE/celda-galvnica>. [En línea] 27 de 06 de 2012. [Citado el: 10 de 01 de 2013.]
- PALLASCO, Marco. 2008.***Construcción de un equipo para ensayos del anodizado del aluminio TESIS*. Quito : EPN, 2008.
- STORK.** <http://storkfoodsystems.com/es/equipos/matanza-y-desplume/escaldadora-de-agitacion/>. [En línea] [Citado el: 18 de 01 de 2013.]