

**DESARROLLO DE UN PROCEDIMIENTO PRÁCTICO ESTÁNDAR CON  
CALIDAD INDUSTRIAL PARA EL NIQUELADO DE SUPERFICIES METÁLICAS**

**FACULTAD DE INGIENERIAS  
PROGRAMA DE ING. MECANICA**

**DAGER AGUSTIN AMAYA BRITO  
FABIAN ENRRIQUE LEON ARQUEZ**



**Universidad  
Tecnológica de Bolívar**

**CARTAGENA DE INDIAS**

**Mayo 28 del 2004**

**DESARROLLO DE UN PROCEDIMIENTO PRÁCTICO ESTÁNDAR CON  
CALIDAD INDUSTRIAL PARA EL NIQUELADO DE SUPERFICIES METÁLICAS**

**FACULTAD DE INGIENERIAS  
PROGRAMA DE ING. MECANICA**

**DAGER AGUSTIN AMAYA BRITO  
FABIAN ENRRIQUE LEON ARQUEZ**

**ING. BENJAMIN ARANGO Z**

**DIRECTOR:**

**Monografía Presentada Para Optar El Titulo De Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA  
MINORS EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL  
CARTAGENA D.T.Y C – BOLIVAR**

**2004.**

**ARTICULO 107 DEL REGLAMENTO ACADÈMICO DE LA UNIVERSIDAD  
TECNOLÒGICA DE BOLIVAR.**

La universidad se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados, los cuales no pueden ser explotados comercialmente sin su autorización.

**Cartagena de Indias D.T. y C., Mayo 28 de 2004**

Señores:

**Universidad Tecnológica De Bolívar**

Programa de Ingeniería Mecánica

La ciudad

Respetados señores:

Mediante la presente, autorizamos la utilización en las bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar y la publicación en la Internet con fines exclusivamente académicos la monografía **“DESARROLLO DE UN PROCEDIMIENTO PRÁCTICO ESTÁNDAR CON CALIDAD INDUSTRIAL PARA EL NIQUELADO DE SUPERFICIES METÁLICAS”**, realizada por Dager Amaya y Fabián León, como requisito parcial para optar el título de Ingenieros Mecánicos. Para mayor constancia se firma y autentica este documento.

Cordialmente;

---

Dager Amaya Brito  
CC.77190269 Valledupar -cesar

---

Fabián León Arquez  
CC.19705947 Bosconia –Cesar.

*Una vez en mi vida tuve un propósito. En algún momento intenté alcanzarlo pero desdichadamente sucedieron cosas que no sé si sucedieron por que tenían que pasar o simplemente porque dejé que pasaran. Lo cierto es que estos acontecimientos interrumpieron la realización de mi sueño pero sin llegar a acabar con la ilusión de algún día poder convertirlo en realidad.*

*Ser profesional era mi anhelo. Médico, abogado, arquitecto, en mi caso ingeniero significaba el éxito, él hecho era que alcanzarlo representaría un cambio radical en mi presente y futuro y además se relacionaría con todo lo que gira a mí alrededor; mi familia que es lo más importante y que siempre ha creído en mí.*

*Finalmente me decidí y hoy después de todo continúo incesantemente buscando la realización de ese sueño, con la más firme esperanza y certeza de poder lograrlo. Puedo decir entonces, que durante todo lo sucedido, aprendí que alcanzar una meta significa una nueva oportunidad y que ser derrotado podría significar lo mismo.*

*Aprendí que las oportunidades se presentan no solo una vez, sino que pueden repetirse; la diferencia radica en que cada una de ellas es distinta y una vez que llega lo hace llena de más complicidad.*

*Ser derrotado significa la oportunidad de mejorar para seguir adelante, levantarse para seguir caminando, es la oportunidad de ser más fuertes donde se pone a prueba nuestra voluntad de llegar a donde queremos llegar.*

*Alcanzar una meta significa seguir con la superación que implica la oportunidad que te da la vida al triunfar, mejorar ante todo por el mérito alcanzado para mantenernos, o aun mejor ir mas allá de donde creemos somos capaces de llegar.*

*Aunque parezca contradictorio, las derrotas y los triunfos no existen, las verdaderamente existentes son las oportunidades que son buenas o malas según nuestra fortaleza y aun más grandes según el deseo de triunfar.*

*Hoy gracias a Dios, quien ha permitido la realización de este trabajo el cual dedico con gran orgullo a mi padre Q.E.P.D, a mi hijo, a mis hermanos, a mis familiares, a todos aquellos amigos que me han impulsado a través de sus elogios a seguir adelante, y en especial a Carmen, mi madre, una persona comprensiva, luchadora y digna de mi total admiración.*

**DAGER**

*Cumplir una meta es el logro maspreciado y maravilloso que se alcanza, cuando se ha luchado con grandes esfuerzos para conseguirlo*

*Lo más importante es que esta meta abre camino y puertas en mi vida profesional, que es la recompensa a los tropiezos, ya que nada en la vida es fácil.*

*Detrás de cada triunfo hay personas incondicionales que sufren cuando nos va mal, que ríen con nuestras alegrías y este es el mejor momento para agradecerles ese esfuerzo y esa dedicación desinteresada.*

*Antes que nada quiero agradecerle a mi Dios por darme vida, paciencia y sobre todo iluminarme en los momentos difíciles de este camino.*

*Quiero dedicar este triunfo a la persona mas especial de mi vida, que siempre ha estado allí, luchando, atravesando por miles de dificultades pero no doblega su brazo, es mi amiga, confidente, padre y madre a la vez, ella es Elvina mi madre, a la cual debo la realización de mis sueños.*

*Existen otras piezas fundamentales en este camino de lucha, a las cuales quiero reconocer sus consejos y apoyo emocional, ellas son mis tías y mi abuelita Roque; pero dentro de todo esto esta la que me impulsa cada día a salir adelante, a llegar mas lejos, es mi motor en miniatura, mi hija Valeria Isabel, pero con ella esta la mujer que me ha estado apoyando incondicionalmente, en las buenas y en las malas, siempre ha estado allí, mi esposa Vicky y con ella mi suegra a quien también le dedico este triunfo.*

*Solo le pido a mi Dios que me de fuerzas y aliento para seguir adelante y no defraudar a estas personas, ya que ellas son mi núcleo familiar.*

**FABIAN**

## **AGRADECIMIENTO**

*Realizar un trabajo de grado es un esfuerzo largo e intenso, que exige responsabilidad, un compromiso constante y una laboriosa dedicación. Por fortuna, en el desarrollo del nuestro, contamos con varias personas que nos alentaron y animaron a seguir adelante en todo momento. Con su cálida atención y colaboración, nos inspiraron el sentido del sacrificio por las cosas que valen realmente la pena y nos llevaron a la culminación exitosa de este proyecto.*

*A todos ellos agradecemos su disposición agradable y servicial*

**Alina Paola López**  
**Carmen Rosario Caicedo**  
**Rafael zapata**  
**Néstor Iván Benjumea**  
**Remberto Hernández**  
**Ing. Roger García**

**Cartagena de Indias D.T. y C., Mayo 28 de 2004**

Señores:

Comité de Evaluación de Proyectos  
**Universidad Tecnológica De Bolívar**  
Programa de Ingeniería Mecánica  
La ciudad

Respetados señores:

Por medio de la presente me permito ratificar la accesoria, y presentarles como director, la monografía **“DESARROLLO DE UN PROCEDIMIENTO PRÁCTICO ESTÁNDAR CON CALIDAD INDUSTRIAL PARA EL NIQUELADO DE SUPERFICIES METÁLICAS”**, elaborada por los alumnos Dager Agustín Amaya Brito y Fabián Enrique León Arquez, como requisito para aprobar el “Minors de Mantenimiento Industrial” y optar el título de Ingeniero Mecánico

Cordialmente,

---

Benjamín Arango  
Ingeniero Metalúrgico  
Director



**Cartagena de Indias D.T. y C., Mayo 28 de 2004**

Señores:

Comité de Evaluación de Proyectos

**Universidad Tecnológica De Bolívar**

Programa de Ingeniería Mecánica

La ciudad

Respetados señores:

Muy atentamente nos dirigimos a ustedes para presentarles a su consideración, estudio y aprobación, el proyecto de monografía titulado “**DESARROLLO DE UN PROCEDIMIENTO PRÁCTICO ESTÁNDAR CON CALIDAD INDUSTRIAL PARA EL NIQUELADO DE SUPERFICIES METÁLICAS**”, como requisito parcial para optar el título de ingenieros mecánicos

Agradeciendo de antemano la atención prestada de su sabia decisión

**Cordialmente sus autores,**

---

Dager Amaya Brito  
CC.77190269 Valledupar -cesar

---

Fabián León Arquez  
CC.19705947 Bosconia –Cesar.

**NOTA DE ACPTACION**

---

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Fecha,** \_\_\_\_\_

**Universidad Tecnológica de Bolívar**

**Cartagena D.T. y C, junio del 2004**

## RESUMEN

En este manual se hace una recopilación importante sobre la metodología de todos los procesos que son necesarios para realizar el niquelado electrolítico de superficies metálicas. A manera de introducción, en el primer capítulo se trata la descripción del problema de la corrosión de una manera muy superficial, pero que de todas formas suministra un enfoque claro sobre este inconveniente que le provoca a muchas empresas millones de pérdidas anuales.

Seguidamente, se describe el arte de la galvanoplastia como una propuesta de solución, utilizando el recubrimiento electrolítico del níquel como protector, aprovechando todas sus bondades contra el flagelo corrosivo sustentado en su amplia gama de utilización en diferentes aleaciones de aplicaciones industriales y el aspecto ornamental que le presta a cada una de las piezas.

Luego, en los siguientes cuatro capítulos se describen detalladamente todos los aspectos relevantes en la realización del proceso de niquelado como lo son; el fundamento teórico de la electrodeposición del níquel, la preparación de los baños electrolíticos, la preparación de las superficies a recubrir, la evaluación del tiempo óptimo para llevar a cabo el proceso y todas aquellas cosas que son necesarias tener en cuenta.

Posteriormente, se resumen algunos de los defectos que pueden aparecer en el niquelado de superficies metálicas como también varios de los ensayos que son utilizados para evaluar piezas electrodepositadas de níquel y cromo, que trabajan en condiciones distintas de corrosión. Se describen propiedades que se pueden obtener al recubrir piezas con níquel y que determinan muchas de sus aplicaciones en la industria.

Finalmente, se hace una breve referencia del aspecto medio ambiental con la intención de que se pueda inducir a posteriores investigaciones, y se concluye con una experiencia de laboratorio que sirve para realizar una diferencia entre toda la teoría plasmada en este manual y la práctica, para poder alcanzar así a algunas recomendaciones.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	26
OBJETIVOS	29
1. LA CORROSIÓN	31
1.2 CORROSIÓN DE METALES Y ALEACIONES	31
1.3 EL PROCESO DE CORROSIÓN	31
1.4 PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN	32
2. LA GALVANOPLASTIA	37
3. FUNDAMENTOS BÁSICOS DEL EMPLEO DEL NÍQUEL COMO PROTECTOR PARA LA CORROSIÓN	40
3.1 EL NÍQUEL	40
3.1.1. El Níquel Comercialmente Puro	40
3.2. CORROSIÓN ATMOSFÉRICA DEL NÍQUEL EN DIFERENTES CONDICIONES AMBIENTALES	42
3.3. ALEACIONES DE NÍQUEL	43
3.3.1. Cupro – Níquel	43
3.3.2. Metal Monel	44
3.4. SUPER ALEACIONES	44
3.4.1. Aleaciones De Ni – Cr – Fe	44
3.4.2. Aceros Al Níquel	45
3.4.3. Hierro Al Níquel	45
3.4.4. Mumetal	46

3.4.5. Radiometal	46
3.4.6. Permaloy	46
3.5. ALEACIONES CON PORCENTAJE ELEVADO DE NÍQUEL, CROMO Y HIERRO	46
3.5.1. Aleación Ni – Mo	48
3.5.2. Aleación Ni – Cr – Mo	48
4. FUNDAMENTOS DEL NIQUELADO ELECTROLÍTICO DE SUPERFICIES METÁLICAS	49
4.1. ELECTRODEPOSICIÓN	50
4.2. DESCRIPCION DEL PROCESO DE ELECTRONIQUELADO	52
4.3. EQUIPO BÁSICO	53
4.3.1. Fuente de Corriente	53
4.3.2. Conexiones	55
4.3.3. Tanques de Electroniquelado	57
4.3.4. Fuentes de Calor	58
4.3.5. Agitación	60
4.3.6. Filtración	61
4.3.7. Lavado	63
4.3.8. Ventilación	64
4.3.9. Ánodos	64
5. PREPARACIÓN DE LOS BAÑOS DEL NÍQUELADO	69
5.1. BAÑOS DE NÍQUEL MATE	69
5.2. BAÑO DE NÍQUEL DE WATTS	74

5.3. PREPARACIÓN DE LOS BAÑOS WATTS	77
5.3.1. Temperatura	78
5.3.2. El Cálculo Y La Medición	79
5.3.3. Medición	80
5.4. PRECAUCIÓN CON LAS SUSTANCIAS QUIMICAS	80
6. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES	84
6.1. TIPOS DE IMPUREZAS	85
6.1.1. Impurezas De Tipo Orgánico	85
6.1. 2. Impurezas Inorgánicas	85
6.2. EL PULIDO	85
6.2.1. Mecánico	85
6.2.2. Electrolíticos	87
6.2.3. El Pulido Del Acero	88
6.2.4. Pulido Electrolítico Del Níquel	89
6.2.5. Pulido Electrolítico Del Cobre Y Sus Aleaciones	90
6.2.6. Pulido Electrolítico De La Plata	90
6.3. PULIDO QUÍMICO	90
6.3.1. Pulido Químico Del Aluminio	91
6.3.2. Pulido Del Magnesio	92
6.3.3. Pulido Químico Del Hierro Y El Acero	93
6.3.4. Pulido Químico Del Cobre, Níquel Y Sus Aleaciones	93
6.4. DESENGRASADO	95
6.4.1. Pirogenación	95

6.4.1.1. Llama Directa Sobre La Superficie	95
6.4.1.2. Inmersión Directa En Un Baño De Metal Fundido	95
6.4.1.3. Proceso Sendzimir	96
6.4.2. Disolventes Orgánicos	96
6.4.2.1. Fase Vapor	97
6.4.2.2. Fase Líquida	97
6.4.2.3. Fase Mixta	98
6.4.2.4. Proyección	98
6.4.3. Medios Alcalinos	98
6.5. ERRORES QUE PUEDEN COMETERSE DURANTE LA ETAPA DE DESENGRASE Y RECOMENDACIONES	102
6.6. LIMPIEZA MEDIANTE ULTRASONIDOS	105
6.7. EL DECAPADO	107
6.7.1. Decapado Químico	108
6.7.1.1. Disolución Acuosa	108
6.7.2. Modo Y Aplicaciones Del Decapado Químico	111
6.7.3. Medio Básico	118
6.8. DECAPADO ELECTROQUÍMICO	119
6.9. DECAPADO ANÓDICO	119
6.10. DECAPADO CATÓDICO	120
6.11. SALES FUNDIDAS	121
6.11.1. Procedimiento Oxidante	121
6.11.2. Procedimiento Reductor	122



6.11.3. Procedimiento Electroquímico	123
6.11.4. Atmósfera Reductora	123
6.12. DECAPADO MECANICO	123
6.12.1. El Arenado (O Chorreado Con Arena)	124
6.12.1.1 Sistema De Presión	125
6.12.1.2. Sistema De Absorción	126
6.12.1.3. Sistema Gravitatorio	126
6.12.2. Restregado O Limpieza En Tambor	127
6.12.3. Granallado	128
6.13. TRATAMIENTO SUPERFICIAL DE METALES NO FÉRREOS POR EL PROCEDIMIENTO TROWAL	130
6.14. PREPARACIÓN DE LAS SUPERFICIES A NIQUELAR BAJO CIERTAS NORMAS PARA MATERIALES MÁS USADOS	133
6.14.1. Acero Bajo Contenido En Carbono (AISI 4130, 4140, 4340)	133
6.14.2. Aceros Con Tensiones	134
6.14.3. Fundiciones	135
6.14.4. Aceros Con Alto Contenido En Carbono	136
6.14.5. Acero Inoxidable	136
6.14.6. Aluminio	137
7. TIEMPO ÓPTIMO DE INMERSION ELECTROLÍTICA	139
7.1. EQUIVALENTE ELECTROQUÍMICO	140
8. DEFECTOS QUE APARECEN DURANTE EL NIQUELADO	143

8.1. DEFECTO EN SUPERFICIES NIQUELADAS Y SUS CORRECCIONES	147
8.2. NIQUELADO DE RECIPIENTES CON REBORDES	149
8.3. ELIMINACIÓN DE RECUBRIMIENTOS DE NÍQUEL DEFECTUOSO	150
9. ENSAYOS ESPECIFICOS DE CORROSION PARA LOS REVESTIMIENTOS ELECTRODEPOSITADOS DE NIQUEL Y CROMO	154
9.1. B.S. 1224 – 1959.	154
9.1.1. Prueba De Humedad / Dióxido De Azufre	154
9.1.2. Prueba De Rociado Salino	155
9.1.3. ASTM – B117-61: Pulverización (Niebla) Salina	155
9.1.4. Prueba De Rociado Salino Ácido	155
9.2. ASTM-B 287-61: PUEBA CON PULVERIZACIÓN SALINA – ACIDO ACETICO	157
9.3. PRUEBA CORRODKOTE7	157
9.3.1. Prueba Cass ASTM – B368 – 61T7	158
9.4. PRUEBA ELECTROLÍTICA	158
9.5. ALEACIONES DE NÍQUEL	159
9.6. NORMAS ISO SOBRE CORROSIÓN EN PIEZAS CON RECUBRIMIENTO METÁLICOS	160
9.6.1. ISO 4540	160
9.6.2. ISO 6988	160
9.7. COMPARACIÓN DE PRUEBAS	160

9.8. CLASIFICACIÓN DE LA CORROSIÓN SEGÚN LAS PRUEBAS	162
10. PROPIEDADES OBTENIDAS POR PIEZAS SOMETIDAS AL NÍQUELADO ELECTROLÍTICO	166
10.1. UNIFORMIDAD	166
10.2. RESISTENCIA AL DESGASTE	167
10.3. RESISTENCIA A LA EROSIÓN	169
10.4. DUREZA	170
10.5. TEMPERATURA DE FUSIÓN	171
10.6. TENSIONES INTERNAS	172
10.7. RESISTENCIA A LA CORROSIÓN	173
10.8. PROPIEDADES ESPECIALES DEL NÍQUEL PARA LA INDUSTRIA ELECTRÓNICA	173
10.9. ESPESORES NORMALES DE UTILIZACIÓN DE NÍQUEL ELECTROLÍTICO SEGÚN LAS CONDICIONES DE SERVICIO	174
10.9.1. Notas Adicionales: Desgaste, Abrasión, Erosión	176
10.9.2. Notas Adicionales Para El Uso De Níquel En Aplicaciones Anticorrosivos	178
11. APLICACIONES TÍPICAS DEL NÍQUELADO	180
11.1. NIQUELADO DE INSTRUMENTOS QUIRÚRGICOS	180
11.2. NIQUELADO DE PATINES DE HIELO, CUCHILLERÍA Y SIMILARES	180
11.3. NIQUELADOS DE MANIPULADO DE ALAMBRE DE TODOS LOS TIPOS	181

12. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES	183
12.1. DESECHOS GENERADOS POR LA GALVANOPLASTIA.	183
12.1.1. Desechos Concentrados	183
12.1.2. Desechos Diluidos	183
12.2. EFECTOS DE LAS AGUAS RESIDUALES GALVANICAS	184
12.2.1. Cianuros	184
12.2.2. Níquel	185
13. PRACTICA DE LABORATORIO SOBRE EL NIQUELADO DE SUPERFICIES METALICAS	187
13.1. OBJETIVO GENERAL	187
13.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	187
13.3. DESCRIPCION DEL EQUIPO BÁSICO	187
13.3.1. Listado de Insumos y Utensilios:	187
13.3.2. Descripción del Circuito	188
13.3.3. Cálculos Correspondientes	189
13.4. Diagrama de Ejecución de Procesos del Laboratorio	190
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	192
BIBLIOGRAFIA	196
ANEXOS	197

## LISTA DE CONTENIDO DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Características De Algunos Tipos De Níquel Comercial	41
Tabla 2. Resistencia De Las Aleaciones Ni, Cr, Fe Para So <sub>2</sub>	47
Tabla 3. Relación De Ni, Cr, Fe Con H <sub>2</sub> S A 480°	47
Tabla 4. Características De Algunos Tipos De Níquel Comercial	51
Tabla 5. Dimensiones De La Granalla De Alambre Troceado	
Según Norma SAE 3111	130
Tabla 6. Perdida en Peso del Aluminio.	138
Tabla 7. Clasificación De La Corrosión.	163
Tabla 8. Símbolos Para Describir La Corrosión De Los Revestimientos	
Electrodepositados	164
Tabla 9.a. Resistencia a la Abrasión / Erosión	174
Tabla 9.b. Resistencia a la Corrosión	174
Tabla 9. c. Decoración	174
Tabla 9.d. Desgaste	175
Tabla 10. Recomendaciones Desacuerdo Con Las Condiciones	
De Servicio	176
Tabla 11. Selección De La Capa De Níquel Para Aplicaciones	
De Resistencia A La Corrosión.	177
Tabla 12. Notas Adicionales Para El Uso De Níquel En	
Aplicaciones Anticorrosivos	179

## LISTA DE CONTENIDO DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Protección mediante recubrimiento sacrificable	34
Figura 2. Protección mediante un recubrimiento puramente mecánico	35
Figura 3. Esquematación Del Circuito Para Galvanoplastia	38
Figura 4. Desengrase Vía Alcalina	99
Figura 5. Decapado Ácido	108
Figura 6. Esquema del Decapado Anódico.	120
Figura 7. Esquema del Decapado Catódico.	120
Figura 8. Aspectos de los perdigones.	129
Figura 9. Tanto por Ciento de Níquel a Diferentes Densidades de Corriente	139
Figuras 10. Depósitos De Níquel	166
Figuras 11. Comparación De La Uniformidad Del Depósito Del Níquel Y Cromo	166
Figura 12. Apantallamientos Efectuados Con Cromo Duro	167
Figura 13. Crossed Cylinder Test	168
Figura 14. Método de Taber para Comprobar el Desgaste del Níquel	169
Figura 15. Resistencia a la Erosión de Diferentes Capas de Níquel	169
Figura 16. Dureza del Níquel en Función del Tratamiento Térmico	170
Figura 17. Valores de Dureza Para Algunos Depósitos de Níquel y Cromo Duro, Con Tratamiento Térmico y sin el	171

Figura 18. Temperatura De Fusión De Diferentes Depósitos	172
Figura 19. Tensiones Internas De Los Depósitos De Níquel En Función De La Edad Del Baño, La Velocidad De Deposición, La Temperatura Y El Ph.	173
Figura 20. Diagrama del Circuito	188

## LISTA DE CONTENIDO DE FOTOS

	<b>Pág.</b>
Foto 1. Ilustración Electro Deposición.	50
Foto 2. Ilustración Equipo Básico.	53
Foto 3. Fuente	54
Foto 4. Conexiones	56
Foto 5. Cubas	58
Foto 6. Calentador	59
Foto 7. Ilustración del Filtrado del Electrolito	62
Foto 8. Ánodos	65
Foto 9. Preparación del Electrolito	75
Foto 10. Ilustración de la Colocación de Ánodos de Níquel	75
Foto 11. Medición de Temperatura	79
Foto 12. Ilustración del Equipo de Protección.	81
Foto 13. Pulido Mecánico y Abrasivos	86
Foto 14. Pulido Electrolítico	88
Foto 15. Pulido Químico	91
Foto 16. Reactivos	111



## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Cuadro Organizacional De Los Recubrimientos De Los Metales

Anexo B. Serie Electroquímica

Anexo C. Temperaturas Máximas Para La Utilización En Medio Cl O Hcl

Anexo D. Aumento De Peso En Mg/Dm<sup>2</sup> Día Para Las Aleaciones Ni, Cr, Fe En Presencia Se Oxígeno, De Agua Y De Ácido Carbónico

Anexo E. Influencia De La Composición Ácida En Los Resultados Obtenidos

Anexo F. Selección De Abrasivos Metálicos Según El Metal A Granallar

Anexo G. Comparación De Las Pruebas Aceleradas Para Acabados Decorativos

Anexo H. Clasificación Del Área Corroída

Anexo I. Otras Aplicaciones Típicas Del Niquelado

Anexo J. Fotos del laboratorio

## INTRODUCCION

La evolución del hombre a través del tiempo ha sido enmarcada en el desarrollo de actividades y en la gestión de ideas que le ayuden a suplir muchas de sus necesidades. Durante toda la historia se han desarrollado proyectos que gracias a las bondades que brinda la naturaleza y en conjunto con la habilidad e ingenio del hombre han hecho posible la creación y adaptación de piezas al mundo, mejorando con ello nuestra calidad de vida.

Como materia prima para la elaboración de estas herramientas, y en fin cantidad de artículos, se utilizan diversidad de materiales de los cuales podemos destacar a los metales y sus aleaciones, los mismos que en desventaja presentan una gran susceptibilidad ante el fenómeno de la corrosión, proceso natural que busca recuperar de los objetos creados por el hombre todos esos componentes que en su momento fueron extraídos del medio original.

A consecuencia de este fenómeno las empresas pierden millones por el deterioro de sus maquinas y lo que es peor, la corrosión también puede hacer prevalecer condiciones peligrosas para el ser humano, al debilitar los miembros de estructura y provocar fallas repentinas. Aun cuando un material pueda ser normalmente resistente a la corrosión puede fallar en determinado medio.

Por todas estas razones la selección de los materiales es de primordial importancia y es aquí donde juegan un papel importante todos los métodos que ayuden a prevenir o retardar la corrosión.

la corrosión y protección de los metales es un reto que tiene toda la humanidad, a fin de evitar graves costos ya sean económicos o humanos que se producen debido al fracaso en la protección de metales.

Es obligación de todo ingeniero o técnico al involucrarse con la industria, conocer e idear las formas que den soluciones a los problemas que en ella se encuentran y al hablar de la corrosión y protección, estar al tanto de todos los sistemas que existen para evitar estos desastres.

Así mismo, es de imperiosa necesidad que cada uno de estos sistemas de soluciones sea planteado y practicados de acuerdo a ciertos estándares que definan la buena y eficiente práctica.

Consientes de la importancia de implementar un método efectivo para el control de la corrosión, este trabajo presenta un estudio generalizado sobre el recubrimiento metálico de piezas, específicamente el niquelado, como un área de trabajo promisorio para el profesional de la ingeniería mecánica y metalúrgica, orientándolo para que el proceso se realice en la mejor forma posible, siguiendo normas técnicas adecuadas y de esta forma dar el surgimiento al desarrollo de

nuevos y verdaderos especialistas en la materia que expresen su talento en la industria, observando que tanto en la fase de diseño, como en la fase de ejecución es por su formación el más indicado.

La importancia de esta monografía se manifiesta en la calidad de las operaciones que a partir de nuestras sugerencias se efectúen, sólido argumento de utilidad, confiabilidad e inmerso factor de ahorro en gastos de mantenimiento y reposición de equipo.

Ante la importancia de optimizar las formulaciones del procedimiento de electro deposición de níquel y de obtener otros nuevos que mejoren las características de estos recubrimientos, solventando los problemas de erosión, dureza, resistencia al desgaste, espesor de película y sobre todo la corrosión, hacemos la descripción del proceso, donde se expresan los lineamiento que pueden estandarizar la deposición electrolítica del níquel de tal forma que se proporcione un acabado de gran resistencia con resultados satisfactorios.

## **OBJETIVO GENERAL**

Proponer un procedimiento estándar de recubrimiento metálico, para el niquelado electrolítico, que permita minimizar los efectos corrosivos y proporcione una apariencia ornamental a las superficies metálicas que se le practiquen.

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Enunciar los fundamentos teóricos de la galvanoplastia sobre el proceso electrolítico.
- Analizar y evaluar la utilización del níquel como protector en la corrosión de piezas.
- Diseñar un circuito eléctrico y determinar los insumos necesarios para la realización del recubrimiento electrolítico.
- Formular un modelo de preparación para las superficies a niquelar.
- Evaluar el tiempo óptimo de inmersión electrolítica que garantice un espesor adecuado para la pieza sometida.

- Enunciar las propiedades obtenidas por las piezas niqueladas.
- Identificar algunas de las aplicaciones típicas del niquelado.
- Realizar una practica de laboratorio con base a un procedimiento descrito.
- Elaborar un listado de recomendaciones a partir de la evaluación de la experiencia que se realice.

## **1. LA CORROSIÓN**

El fenómeno de la corrosión se define como la destrucción o deterioro químico o electroquímico de un material, preferentemente metálico, por la reacción con el medio que lo rodea.

El ataque del material se inicia en la superficie y los productos de esta reacción pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos. El metal que se corroe tiende a formar una combinación química. Es importante el conocimiento de la naturaleza física y química de estos productos, ya que suelen influir en la velocidad de la reacción posterior.

### **1.2 CORROSIÓN DE METALES Y ALEACIONES**

Para comprender cómo el niquelado protege al acero de la corrosión, es importante entender primero lo que es este fenómeno. La corrosión en metales se define generalmente como el deterioro indeseable en metales o aleaciones, es decir, una interacción del metal con su medio ambiente que afecta en forma adversa las propiedades del metal.

### **1.3 EL PROCESO DE CORROSIÓN**

Los metales escasamente son encontrados en su estado puro. Casi siempre se los encuentra en combinación química con uno o más elementos no metálicos. El mineral es generalmente una forma oxidada de metal. Por tanto se debe aplicar

una cantidad significativa de energía para transformar el mineral en metal puro. Esta energía puede aplicarse por vías metalúrgicas o químicas. También debe aplicarse energía adicional bajo la forma de trabajo en frío, o procesos de fundición necesarios para transformar el metal puro en una pieza de trabajo. Se puede entender la corrosión como la tendencia de un metal, producido y formado gracias a un input sustancial de energía, de volver a su estado natural de menor energía. Desde una perspectiva termodinámica, la tendencia a disminuir en el nivel de energía es la fuerza principal que induce a la corrosión de los metales.

La corrosión de los metales es un proceso electroquímico. Esto es, las reacciones corrosivas del metal normalmente involucran reacciones químicas y el flujo de electrones. Una reacción electroquímica básica que provoca la corrosión de los metales, es la corrosión galvánica. En una celda galvánica, la corriente es generada intermitentemente por reacciones físicas y químicas que ocurren entre los componentes de la celda.

#### **1.4 PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN**

Aún cuando un material puede ser normalmente resistente a la corrosión puede fallar en determinado medio o si se acopla con un metal más catódico. Los métodos para prevenir o retardar la corrosión se aplican mucho al hierro y al acero, ya que la mayor parte de los metales comunes no ferrosos y sus aleaciones forman sus propios revestimientos protectores al verse expuestos a la atmósfera.



Para protección a corto plazo resulta adecuado el aceitado o engrasado de un componente. Sin embargo, a largo plazo no resulta satisfactorio, por las siguientes razones.

- a. La película protectora se secará y dejará de sellar la superficie contra el ambiente corrosivo.
- b. Los aceites y las grasas absorben humedad de la atmósfera, pudiendo así tener lugar la corrosión por debajo de la película de aceite o de grasa.
- c. Los aceites y grasas baratos contienen con frecuencia azufre activo e impurezas ácidas que atacan y corroen la propia superficie metálica que se supone están llamados a proteger.

Todas estas razones hacen de los recubrimientos un uso muy generalizados para prevenir la corrosión de forma más permanente. De igual forma debe tenerse mucho cuidado al revestir un metal con otro, ya que cuando dos metales distintos se suponen en contacto en un ambiente húmedo o corrosivo húmedo (contaminado), actúan como una celda eléctrica simple. Las corrientes que allí se generan dan lugar a la corrosión. **Ver anexo A.** Cuadro Organizacional De Recubrimientos en Los Metales

Los metales se ordenan de una forma especial denominada serie electroquímica. En esta serie deberá observarse que el hidrógeno se comporta como un metal. Si dos metales cualesquiera de esta tabla se colocan en contacto en ambientes

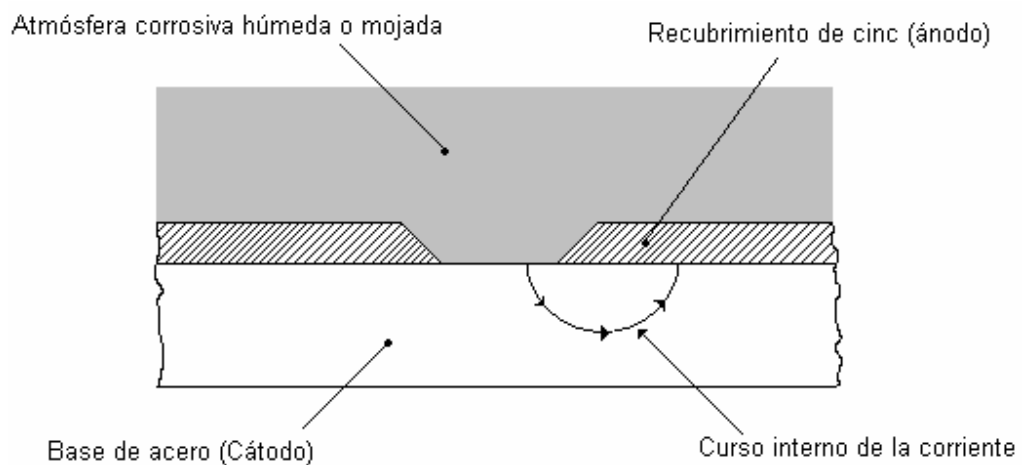
húmedos, el más negativo de ellos se corroerá de forma más rápida. **Ver anexo B.**

### Serie Electroquímica

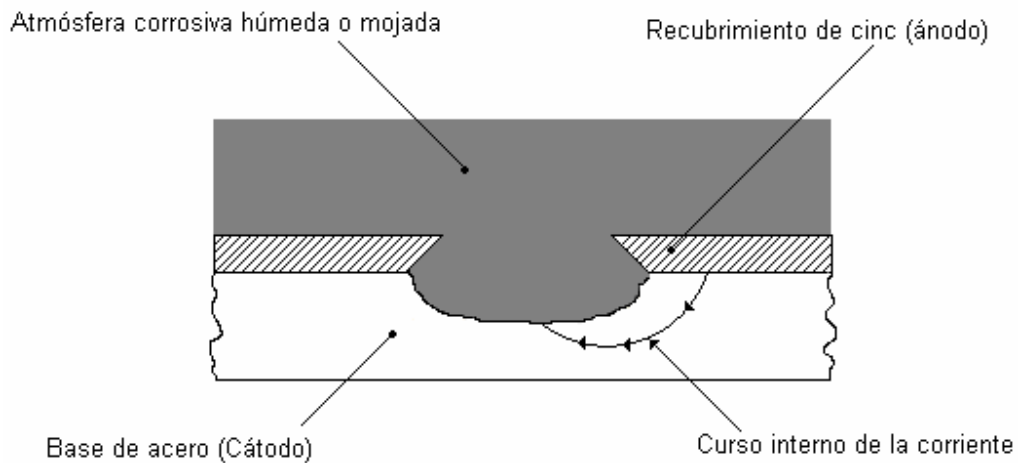
Un ejemplo de esta teoría es el siguiente:

- a. En el hierro galvanizado (acero recubierto con Zinc) el Zinc se corroe, mientras protege el acero. Este Zinc se dice que es de sacrificio.
- b. En la placa estañada, el acero suave se corroe, si el recubrimiento suave es estaño se rompe en cualquier punto. Por este motivo los rebordes del corte deberán quedar siempre sellados mediante soldadura suave, o pintura colocada adecuadamente, debiendo hacerse marcas con lápiz suave y no con puntero.

**Figura 1. Protección mediante recubrimiento sacrificable**



**Figura 2. Protección mediante un recubrimiento puramente mecánico**



La química y la electroquímica se intensifican cuando el metal se encuentra sometido a esfuerzo. Los esfuerzos implícitos son normalmente esfuerzos internos, ocasionados por algún tratamiento mecánico previo, tal como el trabajo en frío (conformado). El ataque corrosivo se produce habitualmente a lo largo de los límites del cristal y esto debilita considerablemente el metal en mucha mayor medida que la corrosión superficial simple. El aliviar los esfuerzos mediante un tratamiento térmico después de la manufactura suele evitar esa forma de corrosión.

Los puntos que se presentan a continuación habrán de ser observados durante la etapa de diseño de un componente o conjunto, para reducir al mínimo la corrosión.

1. Evítense las grietas y las trampas donde se deposite la humedad.

2. Selecciónese un material adecuado que sea inherentemente resistente a la corrosión, o aplicar estrictamente las especificaciones de un proceso anticorrosivo para el material seleccionado.
3. Séllese las uniones, si no están soldadas de forma continua.
4. Contar con la adecuada ventilación y drenaje.
5. Mantener al mínimo el contacto con sustancias corrosivas.
6. Facilitar el lavado y la limpieza.

## 2. LA GALVANOPLASTIA

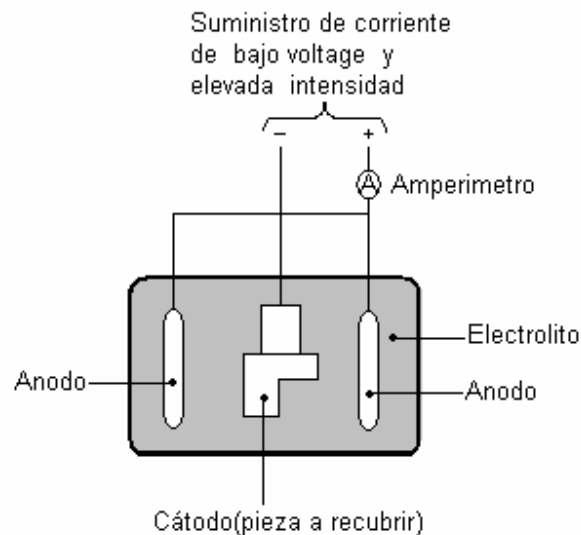
Es el arte de recubrir piezas o componentes con algún tipo de material. La expresión recubrimientos de los metales, se refiere normalmente, a una capa de material, relativamente delgada, que recubre a un metal o aleación de sección relativamente elevada. Los recubrimientos de los metales se aplican para conseguir alguna propiedad superficial deseada que no tiene el metal base. En general, las propiedades del conjunto, vienen determinadas por las del metal protegido y las del material protector. El recubrimiento solo tiene marcada influencia sobre las propiedades ligadas a la superficie: resistencia a la corrosión, reflectividad, color, soldabilidad, resistencia eléctrica por contacto, resistencia a la abrasión, coeficiente de rozamiento, etc.

Como se muestra en el esquema que representa los recubrimientos de los metales resistentes a la corrosión, estos pueden hacerse de forma química y electrolítica. En nuestro caso estudiaremos profundamente el niquelado en forma electrolítica.

La galvanoplastia, practicada de forma electrolítica constituye un proceso de acabado mediante tratamiento en solución denominada electrolito. Los componentes a recubrir forman el cátodo. Es decir, se le conecta al polo negativo

de una fuente de corriente directa de elevada intensidad y bajo voltaje, en la forma que indica la figura. Para cerrar el circuito, los ánodos se sumergen en la solución y se conectan al polo positivo de la fuente.

**Figura 3. Esquematación Del Circuito Para Galvanoplastia**



El electrolito suministra los iones metálicos que se depositan sobre la superficie del cátodo (los componentes que se recubren). Los ánodos pueden ser solubles, pueden ser del mismo metal que se deposita, por ejemplo el níquel, cobre o zinc. En forma alternativa, pueden ser insolubles, como el recubrimiento con cromo, en cuyo caso se limita a completar el circuito. Los ánodos solubles mantienen la fuerza y estabilidad del electrolito, en tanto que la fuerza de este disminuye en forma continua cuando se utilizan ánodos insolubles. La velocidad del depósito se gobierna mediante las leyes de Faraday a cerca de la electrolisis. Estas leyes se resumen como siguen:

1. La masa del metal depositada es directamente proporcional a la magnitud de la corriente y al tiempo mediante el cual ésta circula.
2. Para cualquier cantidad dada de electricidad, la masa del metal liberada del electrolito es proporcional al equivalente químico del metal.

La masa del metal depositada es solamente igual a la masa liberada en una planta que tenga una eficiencia del 100%. Esto no ocurre nunca en la práctica, ya que se rechaza una parte del metal, y se deposita en el fondo del baño como un sedimento.

La masa del metal liberado se calcula utilizando el **equivalente electroquímico** (este se deriva del punto 2 anterior, y es la masa de metal liberado por un coulombio de electricidad que pasa por la celda).

**$m = I \times t$** , donde **m** es la masa del metal liberado en gramos, **x** es el equivalente electroquímico, **I** corriente en amperios, **t** es el tiempo en segundos

### **3. FUNDAMENTOS BÁSICOS DEL EMPLEO DEL NÍQUEL COMO PROTECTOR PARA LA CORROSION**

#### **3.1 EL NÍQUEL**

Es un elemento químico, de símbolo Ni; número atómico 28; peso atómico 58.69; peso específico 8.8; funde a 1470 °C y tiene un equivalente electroquímico de 0.304.

Es un metal blanco, maleable, dúctil, tenaz, magnético, resistente al aire . Apenas se altera con los álcalis, con la humedad ambiental y con los ácidos, excepto con el nítrico, que lo ataca. Se usa como protector del hierro y latón, en aleaciones con acero y como catalizador.

##### **3.1.1. El Níquel Comercialmente Puro**

Los elementos químicos que con mayor intensidad modifican la resistencia a la corrosión del níquel comercialmente puro son el azufre y el carbono. El níquel comercialmente puro suele contener un 99.99% de este metal. El azufre lo fragiliza considerablemente, por esta razón el níquel para hechar en caliente suele contener manganeso, para que se forme el sulfuro del manganeso, que



permanece como inclusión en la matriz del níquel.

En contacto con gases que contengan azufre, éste penetra a lo largo de los límites de los granos de níquel o sus aleaciones y los hace frágiles en cuanto alcanza la temperatura de 600°C, la presencia de cromo, de manganeso y de hierro se opone a esta acción.

El carbono contenido en el níquel es susceptible de fragilizarse, lo cual disminuye la ductilidad y la resistencia a la corrosión de este metal. Por este motivo si bien el incremento de porcentaje en el carbono del níquel aumenta su dureza, también disminuye su resistencia a la corrosión.

**Tabla 1. Características De Algunos Tipos De Níquel Comercial**

Material	Composición, %	Condición	Resistencia a tracción kg/mm <sup>2</sup>	Límite de elastic. práctico, 0,2 % kg/mm <sup>2</sup>	Alarga- de deformación, %	Dureza BHN
Níquel (puro)	Ni 99,99	Recocido	59,5	32,2	30	100
Níquel A (para forjado)	99,40 Ni, 0,06 C, 0,25 Mn, 0,15 Fe, 0,05 Si, 0,05 Cu, 0,005 S	Recocido	49,0	14,0	40	110
		Laminado, en caliente	52,5	17,5	40	170
		Estirado en frío	66,5	49,0	25	210
Níquel 200	99,5 Ni	Laminado en frío	73,5	66,5	5	75
		Recocido	45,7	15,5	47	230
Níquel D	95,00 Ni, 0,10 C, 4,75 Mn, 0,05 Fe, 0,05 Si, 0,02 Cu, 0,005 S,	Laminado en frío	84,4	64,7	8	140
		Recocido	52,5	24,5	40	140
		Laminado en caliente	63,0	35,0	35	150
Níquel (para mold.)	95,6 Ni, 0,5 Cu, 0,05 Fe, 0,8 Mn, 1,5 Si, 0,8 C	Colada	39,9	17,5	22	110
Níquel 210	95 Ni, 0,8 C	Colada	38,6	17,6	22	100

El níquel comercialmente puro experimenta corrosión bajo tensiones al estar expuesto en álcalis cáusticos concentrados, como la lejía de sosa del 90%, a temperaturas comprendidas entre 300 y 400 °C. En estas condiciones también son

susceptibles de corroerse las aleaciones del níquel cobre.

### **3.2. CORROSIÓN ATMOSFÉRICA DEL NÍQUEL EN DIFERENTES CONDICIONES AMBIENTALES**

Los estudios llevados a cabo hasta la fecha sobre el comportamiento del níquel frente a la corrosión atmosférica son escasos, a pesar de su amplio uso en aplicaciones exteriores que exigen buenas propiedades anticorrosivas. Se ha determinado que, en ambientes húmedos, el níquel se recubre de una fina capa denominada pátina que le otorga su carácter protector y que está formada por óxidos e hidróxidos de níquel.

Por el contrario en atmósferas contaminadas los productos de corrosión generados, en forma de picaduras, están compuestos por los correspondientes sulfatos, cloruros y nitratos del metal.

El problema radica en que la comprensión de la totalidad de los procesos de corrosión en el níquel exige un conocimiento de los parámetros atmosféricos de la zona elegida, además de la composición de las capas de corrosión formadas y posteriormente disueltas o desgastadas sobre la superficie. En este sentido, las últimas investigaciones, centradas en la resistencia a la corrosión de probetas de níquel expuestas a diferentes condiciones atmosféricas, han demostrado que su comportamiento empeora drásticamente en ambientes industriales, así como su

influencia en el proceso combinado de formación y disolución de los productos de corrosión.

El níquel es un material maleable, resistente a la corrosión, con usos amplios en la industria tanto en su forma pura como en aleaciones. En el aire resiste a la corrosión en temperaturas superiores a 300°C y no llega a ser frágil o deteriorado en ninguna forma. Es un elemento importante de todas las aleaciones de resistencia, y en la mayoría de los materiales para imanes permanentes y no permanentes.

### **3.3. ALEACIONES DE NÍQUEL**

Las aleaciones comerciales de níquel se caracterizan por su elevada resistencia a la corrosión, propiedad asociada, en parte, al hecho de que estas aleaciones tienen estructuras formadas prácticamente por una sola fase. Los reactivos metalúrgicos más empleados con las aleaciones de níquel son: el ácido nítrico concentrado (en microscopía) y una solución acuosa con 10% de cianuro de sodio y 10% de persulfato de amonio (en microscopía).

**3.3.1. Cupro – Níquel:** el níquel y el cobre forman un sistema binario de aleaciones de solubilidad total. Las aleaciones correspondientes, llamadas cupro – níqueles, tienen, a temperatura ambiente, el mismo tipo de estructura (de una sola fase), cualquiera que sea el metal que predomine en la aleación. Cuanto mayor es

el contenido del níquel, mayor es la resistencia mecánica y a la corrosión de este sistema de aleaciones.

**3.3.2. Metal Monel:** aleación monofásica níquel – cobre. Tiene mayor tenacidad y dureza, modificables por tratamiento térmico (reconocido), que el níquel comercial. Su resistencia a la corrosión es verdaderamente elevada frente a los ácidos sulfúricos y fluorhídricos y frente a la sal; Por éste motivo se utiliza para fabricar recipientes para sales fundidas y en piezas que están en contacto con ambientes marinos.

#### **3.4. SUPER ALEACIONES**

Las llamadas súper aleaciones son materiales de un alto contenido de níquel, las más usadas son las llamadas Inconel. Las súper aleaciones contienen como principal elemento adicional al cromo. Para los contenidos de níquel las súper aleaciones, el sistema está formado, a temperatura ambiente, por una sola fase, con el agregado de otros elementos, estos materiales pueden mejorar sus características mecánicas, aún a elevadas temperaturas, mediante tratamientos de solución y precipitación.

**3.4.1. Aleaciones De Ni – Cr – Fe:** *el Inconel 600 y el Incoloy 800* se utiliza por su elevada resistencia a la corrosión y por su tenacidad a elevadas temperaturas. A temperatura ambiente se caracterizan por su gran resistencia a la corrosión bajo

tensiones en medio de cloruros. *El Incoloy* se utiliza para fabricar elementos calefactores de hornos eléctricos.

**3.4.2. Aceros Al Níquel:** son ampliamente usados para aplicaciones especiales: el acero al 3% de níquel se usa para rotores de alta velocidad y estructuras; el acero al 22% de níquel como sustituto del níquel en bujías; el acero al 25% de níquel es no magnético. El acero al 38% de níquel revestido con cobre, se usa como sustituto para filamentos de platino o níquel en lámparas. La aleación de níquel - platino, se usa también para los mismos fines.

**3.4.3. Hierro Al Níquel:** muchos hierros al níquel se usan en la manufactura de instrumentos y equipos de telecomunicaciones. Son materiales magnéticos no permanentes, teniendo alta permeabilidad y características de bajas pérdidas. Las aleaciones de hierro al níquel se usan normalmente en condición de recocido suave, y usualmente se efectúa calentando a cerca de 900°C, enfriándolo en aire, recalentándolo y enfriándolo en aire nuevamente. El tratamiento térmico debe siempre estar de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

El hierro al níquel que contiene 30% de níquel es no magnético. Aumentando el contenido de níquel de 35% a 80%, se obtienen materiales que son, magnéticamente, los más suaves. Estos son igualmente puestos al mercado bajo nombres tales como radiometal, permalloy.

**3.4.4. Mumetal:** es una aleación hierro níquel al 77% conteniendo pequeñas cantidades de cobre y manganeso: se usa para hacer los núcleos de pequeños transformadores que operan en niveles de baja energía. También, es un material útil para reguladores, vibradores y tubos de rayos catódicos, y se usa extensamente en equipos miniaturizados.

**3.4.5. Radiometal:** es una aleación de hierro níquel al 50% usada para núcleos de transformadores cuando la densidad del flujo operante es más alta que para el mumetal. Se pueden producir núcleos más pequeños que los hierro al silicio y materiales similares para núcleos.

**3.4.6. Permaloy:** es una aleación de hierro níquel al 78% con un mínimo de silicio y carbono, el cual se usa para núcleos de transformadores, que operan a muy bajas corrientes. Esta aleación es particularmente útil en un equipo de comunicación cuando sólo se tiene pequeñas corrientes.

### **3.5. ALEACIONES CON PORCENTAJE ELEVADO DE NÍQUEL, CROMO Y HIERRO**

En estas aleaciones predomina, el porcentaje de níquel. Se utilizan a altas temperaturas para los depósitos de cementación a 900 –930°, para la construcción de elementos de horno, de 975 a 1150°, para construir recipientes que deban contener sales, cianuro y plomo fundido.

El níquel puede alcanzar un porcentaje muy elevado: 55 a 80%; el cromo se mantiene entre 12 y 20%. Estos porcentajes más elevados en Cr – Ni sirven para la industria eléctrica. Informes interesantes que debemos conocer para estas aleaciones son los siguientes.

Resistencia a la oxidación por O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> en el aire: **ver anexo C**.  
 Temperaturas Máximas Para La Utilización En Medio Cl O Hcl y **anexo D**.  
 Aumento De Peso En Mg/Dm<sup>2</sup> Día Para Las Aleaciones Ni, Cr, Fe En Presencia Se Oxigeno, De Agua Y De Ácido Carbónico

1. Resistencia al aire.
2. Resistencia al SO<sub>2</sub>:

**Tabla 2. Resistencia De Las Aleaciones Ni, Cr, Fe Para So<sub>2</sub>**

Aleación	Aumento de peso en mg/dm <sup>2</sup> por día		
	800°	900°	1000°
16Cr, 35Ni	41	42	790
12Cr, 60Ni	500	5500	9100

3. Resistencia al H<sub>2</sub>S:

**Tabla 3. Relación De Ni, Cr, Fe Con H<sub>2</sub>s A 480°**

Aleación	Aumento de peso en mg/dm <sup>2</sup> por día
14.7Cr, 35Ni	2400
13.8 62	2900
18 75	5800

#### 4. Las aleaciones para resistencias eléctricas.

No existe pues posibilidad de empleo de estas aleaciones en el medio  $H_2S$ ; su acción es más peligrosa que una oxidación. En la práctica, la aleación 80 Ni, 20 Cr es la más utilizada como material básico para realizar resistencias eléctricas, de hecho, el Ni es ligeramente inferior a 80. Estas aleaciones contienen también 1,2 Si, 0,8 Mn, 0,45 C; la cuestión está en franca controversia en cuanto al papel benéfico de Mn y del C.

**3.5.1. Aleación Ni – Mo:** las aleaciones Corronel B – 2 es una aleación níquel – molibdeno con bajo contenido de carbono, especialmente adecuada para servicios en contacto con ácido clorhídrico caliente, ácido sulfúrico concentrado caliente u otros medios no oxidantes severos. Es muy resistente al agrietamiento por corrosión bajo tensiones en contado con soluciones calientes de cloruros y alcalinas.

**3.5.2. Aleación Ni – Cr – Mo:** la aleación coronel B- 4 (Ni – Cr – Mo) presenta una excepcional resistencia a una extensa gama de medios corrosivos severos, incluidos ácidos calientes y medios oxidantes que contengan cloruros y cloro.



#### **4. FUNDAMENTOS DEL NIQUELADO ELECTROLÍTICO DE SUPERFICIES METÁLICAS**

Al igual que el hierro o el acero, también se pueden cubrir de una finísima capa de metal el plástico, la madera, el cuero, las telas, el yeso, etc. El electroniquelado es una técnica muy importante en la industria del terminado del metal. Se hace tanto en las grandes industrias como en los pequeños talleres, pues los procesos fundamentales de la industria se adaptan perfectamente a la pequeña escala de un taller tipo artesanal.

Para montar un taller pequeño de electroniquelado se necesitaría poco capital, con una buena inversión en productos químicos y una fuente de energía eléctrica serían los insumos necesarios para comenzar; sin embargo, lo más importante no es la inversión sino seguir y respetar las reglas de seguridad en el manejo y la mezcla de productos químicos que son peligrosos, si no se tratan con el cuidado que exigen.

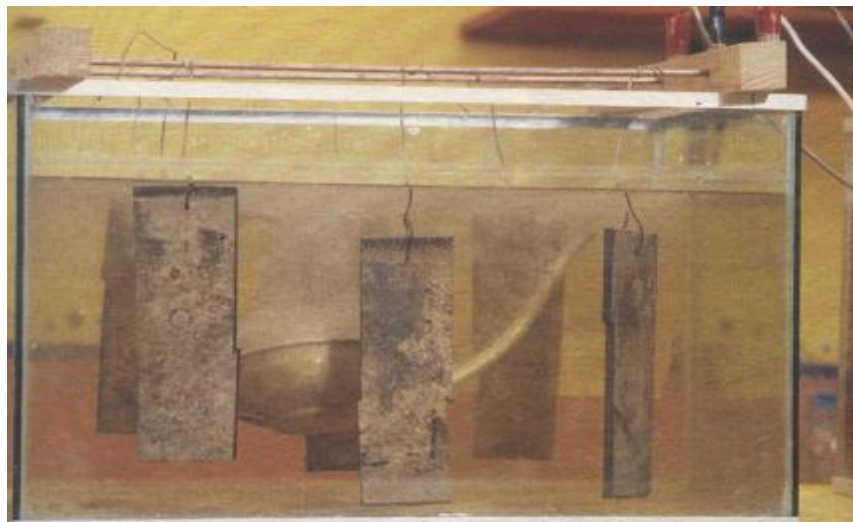
Para aquellos que no tienen un conocimiento de química o de electricidad hay poco escrito en castellano sobre la galvanoplastia; sin embargo, como se verá en este manual, se trata de un oficio relativamente sencillo, en el que basta conectar bien los circuitos eléctricos, mezclar bien los productos químicos y seguir al pie de la letra las normas de seguridad.

#### 4.1. ELECTRODEPOSICIÓN

En el electroplateado se usa la corriente eléctrica para mover pequeñas partículas o moléculas de metal con una carga eléctrica positiva, llamadas iones, a través de una solución química, para depositarlas en un objeto o matriz que tiene carga eléctrica negativa.

El electroplateado se logra colocando dentro de un baño de sustancias químicas (electrolitos) una placa de metal (ánodo), con la que se quiere niquelar y el objeto (cátodo) que se quiere niquelar. El objeto que se quiere niquelar se conecta con un alambre, al polo negativo de una fuente de corriente eléctrica directa, como la de una batería. Mientras que el metal con el que se quiere niquelar se fija al polo positivo de la misma batería.

**Foto1. Ilustración de la electro Deposición.**



Al pasar la corriente a través de la solución química (electrolito) los iones salen de la placa de metal, corren hacia el objeto y se depositan en su superficie. Los iones corren del polo de corriente positivo llamado ánodo al polo de corriente negativo llamado cátodo, a través de la solución química llamada electrolito.

El ánodo con corriente positiva, es la fuente de donde salen los iones del metal para depositarse en el cátodo. Sin embargo, algunas veces el ánodo es insoluble, es decir, que no suelta iones. Entonces, el mismo electrolito o baño químico, que tiene sales del metal con que se quiere niquelar, es el que sirve como fuente de iones, como es el caso de muchos de los baños de oro y plata. En dicho caso, algunas de las sustancias químicas del baño deben ser renovadas de tiempo en tiempo. Mientras más tiempo pasa, el objeto o matriz dentro del baño, con los iones o la corriente, pasando del ánodo al cátodo, más gruesa es la capa de metal que se forma.

**Tabla 4. Características De Algunos Tipos De Níquel Comercial**

Material	Composición, %	Condición	Resistencia a tracción kg/mm <sup>2</sup>	Límite de elastic práctico, 0,2 % de deformación, kg/mm <sup>2</sup>	Alarga- miento, %	Dureza BHN
Níquel (puro)	Ni 99,99	Recocido	59,5	32,2	30	100
Níquel A (para forjado)	99,40 Ni, 0,06 C, 0,25 Mn, 0,15 Fe, 0,05 Si, 0,05 Cu, 0,005 S	Recocido	49,0	14,0	40	110
		Laminado, en caliente	52,5	17,5	40	170
Níquel 200	99,5 Ni	Estirado en frío	66,5	49,0	25	210
		Laminado en frío	73,5	66,5	5	75
Níquel D	95,00 Ni, 0,10 C, 4,75 Mn, 0,05 Fe 0,05 Si, 0,02 Cu, 0,005 S,	Recocido	45,7	15,5	47	230
		Laminado en frío	84,4	64,7	8	140
		Estirado en frío	70,0	56,0	25	190
Níquel (para mold.)	95,6 Ni, 0,5 Cu, 0,05 Fe, 0,8 Mn, 1,5 Si, 0,8 C	Colada	39,9	17,5	22	110
Níquel 210	95 Ni, 0,8 C	Colada	38,6	17,6	22	100

## 4.2. DESCRIPCION DEL PROCESO DE ELECTRONIQUELADO

El proceso para electroniquelar en pequeña escala es relativamente simple; se necesita una pila grande, una batería de auto, o mejor aún, un pequeño rectificador que transforma la corriente alterna de la casa o taller, en corriente directa. A nivel industrial, es importante tener en cuenta el tamaño de la pieza a niquelar, ya que dependiendo de éste el proceso se puede complicar un poco debido a que se necesita una fuente de mayor capacidad y también los recipientes en los que se realiza este proceso de los cuales hablaremos más adelante.

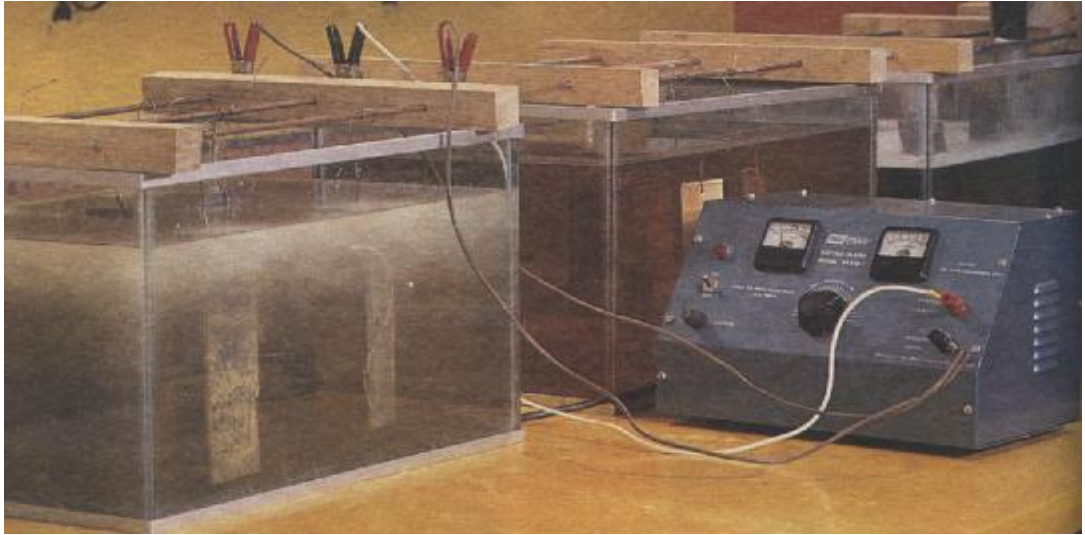
Al polo positivo de corriente directa se conecta un cable o un par de cables. Esos cables se conectan a un par de barras conductoras, mediante unas pinzas de presión comúnmente llamadas caimanes. De esas barras con corrientes positivas, colgarán los ánodos del metal con que se quiere cubrir la pieza a electroniquelar.

Otro cable se conecta al polo negativo de la fuente de corriente. Al otro extremo del cable, con corriente negativa se conecta una tercera barra conductora de la cual va a colgar el objeto que se quiere electroniquelar.

Tanto la barra del metal como el objeto se colocan en un recipiente con agua y los productos químicos. Luego se hace pasar corriente y entonces el metal de la barra comienza a depositar molécula por molécula sobre la superficie del objeto, hasta que lo cubre completamente.

### 4.3. EQUIPO BÁSICO

Foto 2. Ilustración Equipo Básico.



**4.3.1. Fuente de Corriente:** se necesita una fuente de corriente eléctrica directa de poca fuerza o bajo voltaje, es decir, que produzca 6 voltios hasta 12 voltios o máximo 16 voltios si es que se desea hacer una deposición electrolítica sobre aluminio. En cambio se requiere de un amperaje o cantidad de corriente relativamente alta; cuando menos 10 amperios, preferiblemente 50 a 100 amperios.

Al hacer el electroniquelado, el control de la calidad de corriente es crítico; por tanto, además de la fuente de corriente se necesita un aparato que regule la cantidad de corriente o amperaje que pase. Ese aparato se llama **reóstato**; para que este regule precisamente la cantidad de corriente que se necesita, es

importante que halla un **amperímetro** para medirla. Menos crítico resulta medir el voltaje porque será proporcional a la corriente que halla en la solución, si es que todas las conexiones están correctas.

**Foto 3. Fuente**



Para niquelar un objeto pequeño, se puede comenzar con una pila seca, con una batería de 6 voltios. Sin embargo, resultan mucho más efectivas las baterías de automóvil, las cuales pueden recargarse periódicamente. Para medir la cantidad de corriente, el amperímetro se alambra a la terminal negativa. En cambio el reóstato se instala en la terminal positiva, para permitir un control fino de la cantidad de corriente que entra al sistema de niquelado, ya que controlando la cantidad de corriente podemos aumentar o disminuir el tiempo de deposición.

Si se va ha hacer niquelado de manera constante es mejor invertir en un **aparato rectificador** que se conecta a la corriente alterna de 110 voltios ya sea en la industria o en el taller; una corriente de 110 voltios es una fuerza excesiva e inútil

para el niquelado. Por tanto lo que se hace es separarla por un **transformador** que baja su fuerza (voltaje) y la convierte de 1 a 12 voltios. Luego mediante un rectificador se transforma de alterna a directa.

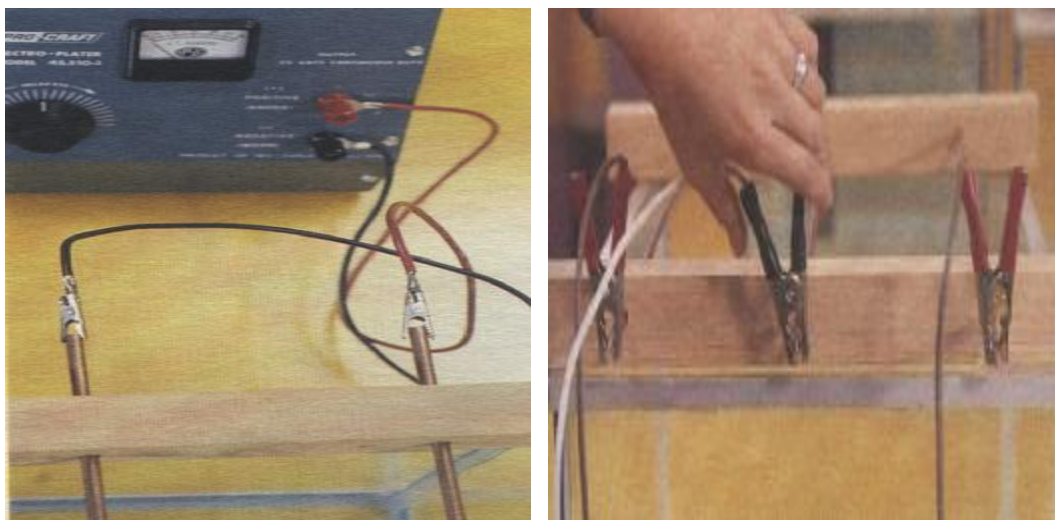
Hay unidades rectificadoras completas específicas para galvanoplastia o en nuestro caso para niquelados de diversos tamaños, que producen 6 a 12 voltios y 10, 25, 50, 100, 200, 300 o más amperios. Estas unidades vienen con voltímetros, amperímetros o reóstatos.

**4.3.2. Conexiones:** la corriente directa que sale de la terminal positiva de la pila o rectificador, se lleva hacia el baño a través de un alambre de cobre que se acopla a una barra conectora que cuelga del tanque.

La corriente directa se regresa a la terminal negativa de la pila o rectificador, por medio de otro alambre de cobre que sale de otra barra conectora que cuelga del tanque. Desde la barra conectora otros alambres de cobre sostienen y suspenden el ánodo de metal con que se va a niquelar y sostienen también el objeto o cátodo que se va a niquelar.

Las barras conectoras son varillas de cobre rígido con un diámetro entre 6 y 12 mm, suficientemente largas para poder suspenderse a lo largo del tanque. Las barras conectoras se sostienen sobre el tanque mediante una parrilla de madera que las mantiene separadas del tanque por lo menos 8 cm.

**Foto 4. Conexiones**



El arreglo típico de un tanque de electroplado es con tres barras conectoras. Dos a los lados, las cuales van conectadas a la terminal positiva y sirven para sostener los ánodos de metal. Una barra central conectada a la terminal negativa, de la que se suspende el objeto a niquelar el cual funciona como cátodo. De las barras conectadas a la terminal positiva generalmente cuelgan cuatro caimanes de metal que sirven como ánodos. Esos ánodos se cuelgan de la barra y se meten en el electrolito sostenidas por un **alambre de cobre de calibre 18 o 20** y este se conecta a la lámina (ánodo).

El objeto que va a ser niquelado también se suspende dentro del electrolito mediante alambre de cobre que cuelga o enrolla a la barra catódica. La conexión del alambre de cobre al objeto es un poco más difícil. Unas veces el objeto que se va a electroplatar va soldado al alambre de cobre del que cuelga. Otras veces el



objeto va simplemente colgado del alambre, o bien sostenido dentro de una pequeña parrilla o canasta hecha con alambre de cobre.

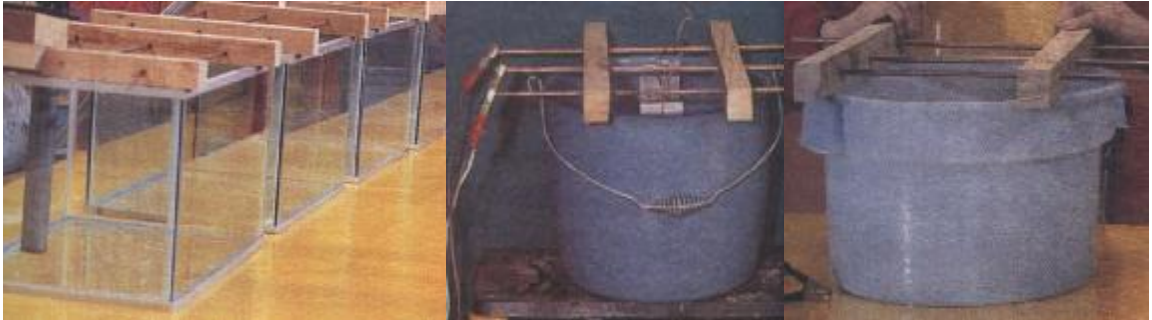
El alambre del que se sostienen y cuelgan las piezas que se van a electroniquelar, generalmente se fijan en aquellas partes de la pieza donde los pequeños defectos del electroniquelado no se notarán.

**4.3.3. Tanques de Electroniquelado:** el tanque para electroniquelado puede ser casi cualquier recipiente que no sea metálico con excepción del acero inoxidable. El tamaño del recipiente depende del tamaño de las piezas que se quieran electroniquelar y de la cantidad de trabajo que se quiera realizar. Las piezas grandes necesitan recipientes grandes para poder sumergirlas totalmente en el electrolito, en cambio las piezas pequeñas se pueden trabajar en recipientes pequeños porque entonces se ahorra mucho gasto en material.

Al escoger el material del tanque de electroniquelado se deben tener en cuenta que en muchos de los baños trabajan mejor calientes, a temperaturas elevadas; por eso, las ollas de peltre funcionan muy bien porque resisten las sustancias químicas, a la vez que pueden calentarse muy bien en la estufa, también resultan excelentes los recipientes de vidrio refractarios, resistentes al calor, que se usan para hornear; aunque no pueden colocarse directamente sobre el fuego y deben calentarse en baño de maría.

Se pueden utilizar tanques de vidrio de 6 mm de espesor, pero se corre el riesgo de que se rompa el vidrio si se calienta mucho el electrolito. Por tanto, no es recomendable a altas temperaturas.

**Foto 5. Cubas**



Pueden usarse recipientes de plástico, pero no en baños de altas temperaturas porque se reblandecen y deforman, y por supuesto jamás deben ponerse directamente sobre el fuego porque se funden y pueden quemarse muy rápidamente. La ventaja de los recipientes plásticos es su bajo precio, comparado con los precios de los recipientes de otros materiales.

Los tanques de fierro que tengan una cubierta de hule o neopreno resultan excelentes siempre que la temperatura del baño no pase de 85 °C.

**4.3.4. Fuentes de Calor:** muchas de las soluciones químicas para el niquelado trabajan óptimamente por encima de la temperatura ambiente. Es decir, que conviene calentar el baño químico; sin embargo, no es indispensable calentarlo. Se puede electrolizar a la temperatura ambiente, solo que el proceso resulta

poco más lento, pues el calor acelera y facilita el movimiento de los iones de metal desde el ánodo hasta el cátodo.

Los tanques de metal se colocan en una parrilla de gas o en una estufa eléctrica para proporcionar calor directo. Los recipientes de vidrio refractarios se colocan sobre parrillas, pero dentro de otro recipiente con agua, en lo que se conoce como baño de maría, lo más común es utilizar calentadores eléctricos de inmersión. Es decir, un calentador que se mete directamente al electrolito.

**Foto 6. Calentador**



Los calentadores de inmersión deben ser especiales para electrolitización, pues deben tener protegido el elemento que calienta, para que no lo corra las sustancias químicas del baño y para que tampoco el material del calentador contamine el baño, se utilizan cubiertos de titanio para los baños de níquel y los baños ácidos.

Para controlar la temperatura del baño, se utiliza un termómetro de laboratorio que puede ir dentro de la solución o suspendido en el electrolito mediante un corcho. En instalaciones industriales, la temperatura se controla con un termostato que enciende y apaga el calentador automáticamente, según se necesite.

**4.3.5. Agitación:** al igual que el calor, el movimiento o agitación de las sustancias químicas del baño hace que el metal se deposite más aprisa en el objeto que se niquela. El movimiento del líquido del baño se logra de muy diversas maneras. Una de ellas es echando un poco de aire en el fondo del tanque, utilizando un tubo de plástico y un compresor de aire de baja presión, semejante a los que se usan en las peceras.

Otra manera de agitar el baño es un pequeño motor suspendido sobre el tanque, que haga girar una hélice o propela metida en la solución. La propela debe girar despacio a unas 500 rpm y desde luego, no debe ser corroída y de preferencia no metálica.

También se puede hacer que el líquido circule con una bomba. En un taller pequeño se pueden utilizar bombas de peceras con excelentes resultados. Finalmente en lugar de agitar el líquido, lo que se puede mover es la pieza misma que se está niquelando, la que a su vez agitará el líquido del tanque.

En un taller pequeño, el movimiento del cátodo puede hacerse a mano, simplemente moviendo con la mano la barra catódica o el alambre del que cuelga la pieza, hay que tener cuidado de no mover o agitar el agua demasiado, porque entonces puede suceder que se favorezca la granulación de la capa de metal que se deposita en la pieza que se electrodeposita.

**4.3.6. Filtración:** en los talleres de electroniquelado pequeños no se necesita estar filtrando constantemente los electrolitos, pero si es necesario quitarles periódicamente algunas impurezas. Algunas partículas metálicas sueltas, lodos, aceites y polvo acumulado con el tiempo en los electrolitos, pueden hacer que el metal no se adhiera o pegue uniformemente sobre el objeto que se electroniquela o puede suceder que si el electrolito está sucio el electroniquelado resulte opaco o granuloso.

Una manera de filtrar es pasando el electrolito del tanque por un embudo con un filtro de papel. En vez de filtro de papel se puede utilizar una bolsa de carbón activado, una manera práctica de filtrar periódicamente es un recipiente grande colocado en el suelo en cuya boca se pone un embudo.

**Foto 7. Ilustración del Filtrado del Electrolito**



Finalmente uno puede improvisar un filtro para el electrolito utilizando un filtro de pecera. Sobre el embudo se coloca una coladera de plástico, no de fierro. Sobre la coladera se coloca un filtro de papel que puede ser de una cafetera, enseguida con un trozo de manguera se prepara un sifón. Para ello se llena el trozo de manguera con agua. Para que el agua de la manguera se quede dentro, se tapan las puntas con el dedo pulgar; o bien, se tapa solamente una punta y la otra se levanta solamente unos pocos centímetros mas arriba.

Enseguida una de las puntas se mete en el electrolito, en tanto que la otra punta se coloca, todavía tapada con el dedo, sobre el embudo con el filtro. Al quitar el dedo de la punta de la manguera comenzara a pasar el agua del tanque de electroniquelado hacia el recipiente grande. En el filtro quedaran atrapadas las impurezas que había en el electrolito; una vez que ha salido todo el electrolito se puede enjuagar el tanque; aunque en trabajos a pequeña escala no sea necesaria

una filtración.

Para llenar nuevamente las tinajas de electrolitadas se sigue el mismo procedimiento. Solo que el recipiente grande debe colocarse un poco más arriba que el tanque de electrolitadas, luego se llena con agua con una manguera corta, se mete una punta de la manguera en el recipiente grande, mientras la otra manguera se mantiene tapada, luego la otra parte se mete en el tanque de electrolitadas y se destapa con lo que comienza a pasar electrolito del recipiente al tanque.

Si es igualmente importante que el electrolito esté limpio, libre de impurezas; de allí la importancia del filtrado periódicamente. Los electrolitos se pueden guardar en recipientes grandes con tapa, mientras no se usen.

**4.3.7. Lavado:** inmediatamente que un objeto ha sido electrolitado debe lavarse con agua corriente en abundancia, para quitar de la superficie del objeto hasta el último rastro de las sustancias químicas. Si no se lava bien y quedan restos de los productos químicos del baño, puede resultar que el objeto se decobre después, se vuelva opaco e inclusive que se oxide.

De allí que, inmediatamente después del tanque de electrolitadas deba haber un tanque de lavado con agua corriente constante. El recipiente para el lavado puede ser de cualquier material, pues básicamente contendrá solo agua. Si tiene

una tarja y una pequeña regadera vale la pena que se utilice como el primer paso en el proceso de lavado.

Además del lavado final, los objetos que se electro niquelan deben enjuagarse entre cada etapa del proceso. Los enjuagues o lavados intermedios pueden ser igualmente importantes que el lavado final, especialmente cuando después de un metal se aplica otro; por ejemplo, un baño de níquel seguido de un baño de cromo. Allí un buen lavado es indispensable. Lo mejor es que después de cada baño de electroniquelado halla una tina de lavado distinta, por que no se debe usar la misma agua de enjuague para piezas que provienen de baños diferentes.

**4.3.8. Ventilación:** lo mejor es que el taller de electroniquelado este en un lugar techado, pero sin paredes para que halla una buena ventilación permanente. Si se trabaja en lugar cerrado, abra las ventanas y las puertas tengan cerca del área de trabajo un extractor de aire o un ventilador que mueva y saque el aire.

Todas estas precauciones son indispensables para la mayoría de los baños de electroniquelado pues de ellos salen pequeñas emanaciones de gases tóxicos. Si se trabaja en un lugar cerrado sin ventilación constante, esas emanaciones son muy peligrosas. Si hay una buena ventilación no se corre mayor riesgo.

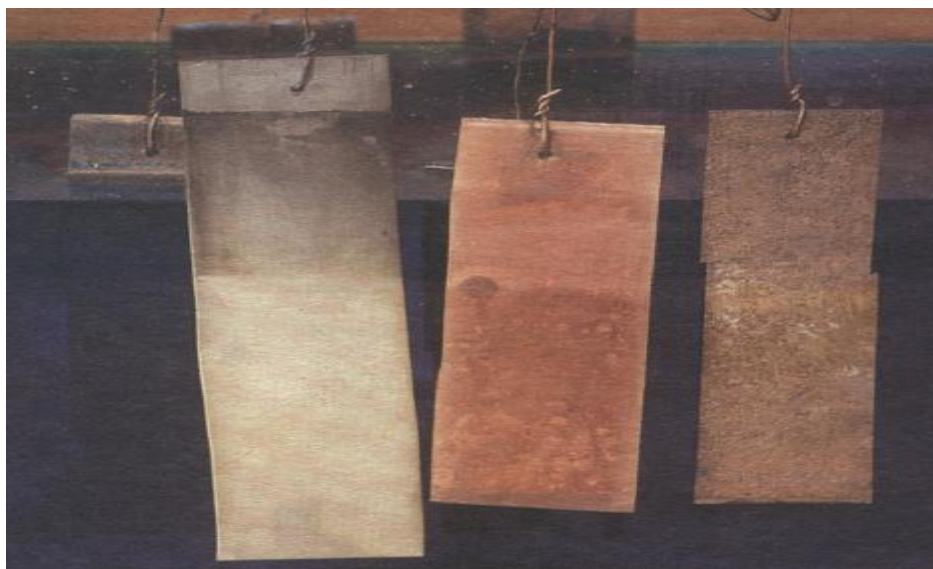
**4.3.9. Ánodos:** los ánodos, hechos siempre de metales que son buenos conductores eléctricos se dividen en dos tipos: ánodos solubles y ánodos inertes.



Al pasar una corriente por los ánodos solubles se produce una oxidación y se desprenden iones del metal del que están hechos. Esos iones se depositan después sobre el cátodo. En cambio al pasar una corriente por los ánodos inertes se produce oxidación, pero no se desprenden iones sino solamente gas oxígeno, proporcionan corriente eléctrica, pero no iones metálicos para el electroplataje.

Los ánodos inertes están hechos generalmente, de acero inoxidable. Cuando se usan ánodos inertes, todos los iones metálicos provienen de las sales de metal que hay en la solución de productos químicos del baño.

**Foto 8. Ánodos**



Estos baños necesitan renovarse periódicamente, porque el metal de las soluciones se agota y hay que agregar más sustancias químicas. Los baños con

ánodos inertes generalmente se usan cuando resulta muy costosa la inversión de los ánodos de metal puro, como es el caso del oro y la plata.

Los electrodos insolubles tambien son usados como ánodos y como cátodos en la electro limpieza y en el electro removido. Sin embargo, la mayoría de los ánodos que se usan son de tipo soluble, deben ser de metal muy puro para que sean altamente eficientes.

Si el metal no es puro se producen impurezas. Las impurezas contaminan el baño y afectan la calidad del acabado. Los ánodos más puros son los ánodos electrolíticos en placas obtenidas por electrodeposición. Son tambien ánodos de grano mas fino, generalmente se consiguen en espesores de  $\frac{1}{4}$  de pulgada, las placas deben ser cortadas en tiras o barras más pequeñas.

La superficie del ánodo debe ser proporcional a la superficie del cátodo u objeto que se va a electroniquelar. Si el objeto que se va a cubrir es muy pequeño con una superficie chica; el ánodo tambien debe ser pequeño. Para cada objeto que ve a electroniquelar hay que hacer algunos cálculos simples de la superficie que tiene y de la superficie del ánodo que necesita. Ese cálculo debe ser tomado muy seriamente.

Las proporciones de la superficie del ánodo en relación con la superficie del cátodo se indican al hablar de cada uno de los baños de electroniquelado. Es muy

importante que la eficiencia del ánodo sea igual a la eficiencia del cátodo, para que se mantenga una concentración de iones correcta. La cantidad de iones que se desprende del ánodo debe ser igual a la cantidad de iones que se depositan en el cátodo.

Si los ánodos sueltan iones mas aprisa de lo que el objeto los recoge, se dice que los ánodos tienen una eficiencia demasiado alta, para nivelar la eficiencia se cambian algunos ánodos solubles por otros insolubles y se reduce un poco la eficiencia de los ánodos.

Los ánodos deben colocarse dentro del tanque, espaciados uniformemente alrededor del objeto que se va a electrolizar; la distribución de los ánodos dentro del tanque es muy importante para que los iones de metal se depositen de manera uniforme sobre el objeto que se electroliza.

Los objetos que se electrolizan deben estar rodeados por los ánodos, de tal manera que los iones de metal fluyan igualmente de todas direcciones. Pero si quiere niquelar principalmente un solo lado del objeto, entonces se debe poner mayor cantidad de ánodos en ese lado del tanque. Los ánodos de níquel no vienen en barra, sino en pequeñas piezas redondeadas o rondelas. Estas rondelas se colocan dentro de canastas de titanio.

Para ayudar a filtrar las impurezas que salen de los ánodos, las canastas con las rondelas de níquel se meten en unas bolsas de tela; las bolsas que cubren a los ánodos ayudan a que estos no se vuelvan insolubles y pasivos.

Además, algunos ánodos, particularmente los de níquel y los de cobre, cambian la composición química de la superficie después de estar un tiempo en la solución, entonces, se vuelven insolubles y ya no desprenden iones.

La tela usada en las bolsas debe tener una maya suficientemente fina para detener las partículas de lado que se desprenden de los ánodos, a la vez que también debe permitir la circulación del electrolito alrededor de los ánodos. La limpieza regular de las bolsas para quitarle los lados ayuda a que la solución se mantenga limpia.

## 5. PREPARACIÓN DE LOS BAÑOS DEL NÍQUELADO

### 5.1. BAÑOS DE NÍQUEL MATE

De todos los precipitados galvánicos, los de níquel son los más conocidos y extendidos. El modo más sencillo de niquelar es partiendo de la sal doble de sulfato de níquel y amonio, con una tensión aproximadamente de 3 V y 0,3 A/dm<sup>2</sup>.

Los baños cítricos se distinguen por dar deposiciones de níquel de elevada compacidad y tenacidad, fácilmente pulimentables, de muy fuerte adherencia y casi totalmente exentas de hidrógeno. Se emplean preferentemente para el niquelado de piezas con aristas vivas, puntas, filos, etc., como patines de hielo, instrumentos de cirugía, monturas de lentes, tijeras, instrumentos ópticos y similares. También se aplican para el niquelado del aluminio, previa preparación del metal. Los baños con acidez cítrica tienen cualquiera de las dos siguientes composiciones:

1 Litro de agua

10 gr/lit de sulfato de níquel

22 gr/lit de citrato sódico

5 gr/lit de ácido bórico

1 Litro de agua

50 gr/lit de sulfato de níquel

30 gr/lit de citrato sódico

12 gr/lit de sulfato sódico calcinado

La tensión a utilizar en baños con citratos puede ser elegida de valores más altos que en baños amoniacales. Alcanza valores de 2,5 a 3,2 V cuando conjuntamente con el baño amoniacal de níquel se utiliza cloruro sódico. Los baños cítricos de níquel poseen una gran fuerza de dispersión. Sus precipitados son tenaces y en solución caliente, blandos. Permiten, sin peligro alguno, deposiciones en gruesas capas. La densidad de corriente alcanza aproximadamente  $1,2 \text{ A/dm}^2$ . Los baños bóricos, estos con un contenido exagerado de ácido bórico, dan precipitados extremadamente blandos pero que, cuando se trata de capas algo gruesas, se desprenden con facilidad en forma de rizos. De lo antedicho se deduce que estos baños resultan únicamente interesantes para niquelados suaves y blandos de piezas de latón y artículos de hierro en grandes masas.

Eleva la temperatura para toda clase de baños, aumentar considerablemente la densidad de corriente, pero es de advertir que un incremento de temperatura implica la obtención de precipitados más oscuros si el valor del pH es excesivamente bajo. Cuanto más altas sean la tensión y la temperatura, tanto más favorable será la densidad de corriente. En los baños en reposo, esta densidad está limitada a  $5 \text{ A/dm}^2$ , pero es susceptible de elevarse hasta el doble con el baño de agitación. La tensión se elige siempre de modo que los cantos vivos y aristas no sean quemados.

Si hay que producir recubrimientos de gran espesor, en especial para el cromado

posterior, se empleará un baño caliente que permita elevadas densidades de corriente. Por otro lado, el material que requiera un niquelado ligero pero plateado-blanco, puede tratarse en un baño cítrico a la temperatura ambiente.

Baños de níquel apropiados para un cromado ulterior, son, por ejemplo cualquiera de los dos siguientes:

	1 Litro de agua
1 Litro de agua	200 gr/lt de sulfato de níquel
150 gr/lt de sulfato de níquel	50 gr/lt de sulfato de magnesio
14 gr/lt de cloruro amónico	12 gr/lt de cloruro sódico
35 gr/lt de ácido bórico	25 gr/lt de ácido bórico
	35 gr/lt de sulfato sódico

Los baños para niquelados intensos y rápidos pueden componerse del siguiente modo:

1 Litro de agua
150 gr/lt de sulfato de níquel
10 gr/lt de cloruro amónico
32 gr/lt de ácido bórico
40 gr/lt de sulfato de magnesio

Para 3,5 V la densidad de corriente es de  $2 \text{ A/dm}^2$  para una temperatura de  $35^\circ\text{C}$  en el baño

1 Litro de agua

170 gr/lit de sulfato de níquel

50 gr/lit de ácido bórico

40 gr/lit de sulfato sódico

Para 2,5 V, la densidad es de  $2 \text{ A/dm}^2$  a  $35^\circ\text{C}$ .

1 Litro de agua

200 gr/lit de sulfato de níquel

80 gr/lit de sulfato de sodio

30 gr/lit de ácido bórico

30 gr/lit de cloruro sódico

La densidad de corriente crece, a 1,5 V, hasta  $2,5 \text{ A/dm}^2$  si la temperatura del baño se eleva hasta  $60^\circ\text{C}$ , a 3,9 V llega hasta  $10 \text{ A/dm}^2$ . Disminuyendo el contenido de sales conductoras, con igual o incluso menor contenido metálico, se logra alcanzar densidades de corriente más considerables si se eleva la temperatura. A 3,5 V y el baño a  $45^\circ\text{C}$  se alcanzan  $4 \text{ A/dm}^2$  si el electrolito tiene las dos siguientes composiciones:



1 Litro de agua  
180 gr/lt de sulfato de níquel  
30 gr/lt de cloruro sódico  
17 gr/lt de ácido bórico  
18 gr/lt de sulfato sódico

1 Litro de agua  
200 gr/lt de sulfato de níquel  
10 gr/lt de sulfato magnésico  
40 gr/lt de sulfato sódico  
30 gr/lt de ácido bórico  
5 gr/lt de cloruro sódico

Con la composición siguiente son permisibles densidades de corriente hasta 8 A/dm<sup>2</sup>:

1 Litro de agua  
200 gr/lt de sulfato de níquel  
30 gr/lt de sulfato magnésico  
30 gr/lt de sulfato sódico  
20 gr/lt de ácido bórico  
35 gr/lt de cloruro sódico  
0,5 gr/lt de fluorsilicato de sodio

Para todas las deposiciones es de advertir que son tanto más permeables cuanto más alto es el contenido en cloruro. Con ello crece también el tamaño de los granos. La deposición de estructura cristalina fina se logra con la adición de

sulfato magnésico y citrato sódico. Todas las sales sódicas favorecen el poder de penetración de las disoluciones. Los cloruros permiten emplear densidades de corriente altas por activación de los ánodos. El ácido bórico debe ser utilizado muy limitadamente, lo mismo que los fluoboratos. Los silicatos facilitan la obtención de deposiciones lisas, pero, al igual que las otras sales, tienen un reducido campo de aplicación.

## **5.2. BAÑO DE NÍQUEL DE WATTS**

Es uno de los más antiguos y populares de los cuales también hay muchas variaciones. Para este baño haremos una descripción más profunda ya que hemos visto que es el más completo a la hora de realizar el niquelado, la formula de este baño es la siguiente:

300 gr/lit de sulfato de níquel

50 gr/lit de cloruro de níquel

35 gr/lit de ácido bórico.

Se llena el tanque con las 2/3 partes de agua y se calienta hasta 60°C, mientras el agua se calienta prepare el sulfato de níquel, el cual es un compuesto de cristales verdes; pese a la cantidad necesaria de este, para el volumen del agua que vaya a emplear en el baño, después de que el agua esté caliente vierta el sulfato de níquel y menea para que se disuelva completamente.

**Foto 9. Preparación del Electrolito**



Pese el ácido bórico que necesite, disuélvalo en una pequeña cantidad de agua, viértalo en la tina sobre la solución de sulfato de níquel. Ahora pese el recipiente en el que va a verter el cloruro de níquel, pese la cantidad de cloruro de níquel que vaya a necesitar según la cantidad de agua de su tanque y sume el peso del recipiente. Añada el cloruro de níquel a la tina, menea; luego llene el tanque con el resto del agua, deje reposar la solución unas horas antes de iniciar el proceso con el níquel.

**Foto 10. Ilustración de la Colocación de Ánodos de Níquel**



Los ánodos de níquel vienen en rónделas de 99,5% de pureza, estas rónделas tienen una gran eficiencia. Los ánodos de níquel deben colocarse dentro de una canasta de titanio, a su vez las canastas se deben meter en una bolsa de tela de polipropileno, luego estas se meten al electrolito, para que halla contacto electrolítico las asas de las canastas de cuelgan de la barra conductora de los ánodos. El rango de temperatura para este baño es entre 40 y 70 °C; la densidad de corriente debe ser entre 1 y 5 Amperios por decímetro cuadrado de superficie del cátodo.

La pieza ya pulida, lavada, desengrasada, electrolíticamente desoxidada y vuelta a lavar, se coloca en el electrolito. La agitación del electrolito es indispensable en el proceso de níquelado, lo mejor es mover la varilla o barra del cátodo; el tiempo que se mantenga la pieza en el baño depende la densidad de corriente. Un buen depósito se tiene entre los 5 y 15 minutos, aunque pueden hacerse depósitos gruesos de varias horas, esto depende más que todo de las características que queremos tener al finalizar el proceso.

Algo a tener en cuenta, son los defectos con los que puede salir la pieza después del proceso de níquelado. Cuando el depósito resulta rayado, como arrugado, se debe a falta de agitación, he aquí la importancia de este.

Los depósitos rugosos se deben a impurezas en el electrolito, es por esto que se debe filtrar el electrolito. Los depósitos con picaduras se presentan por utilizar una

corriente excesiva y un depósito con adhesión pobre, en el que el níquel se pela como cáscara, se debe a interrupciones en la corriente o a falta de limpieza de la pieza a niquelar.

### **5.3. PREPARACIÓN DE LOS BAÑOS WATTS**

Para la preparación de los baños, siempre mezcle los químicos en recipientes limpios de vidrio o vidriados. Las impurezas siempre traen problemas, hay que usar siempre los químicos específicos que se indiquen, no los cambie por otro ni los use en combinaciones distintas, utilice productos químicos de calidad ya que los de mala calidad siempre traen impurezas.

Todos los productos químicos deben ser manejados, lo sean o no, como venenosos y tóxicos; la manera mecánica para mezclar los productos químicos es muy simple, sólo hay que seguir las instrucciones cuidadosamente. Es de vital importancia tener precauciones, tales como hacer todas las mezclas lejos de flamas (llamas), calor y humedad, a menos que se indique lo contrario, el agua específica para los baños es agua destilada fría, o en vez de agua destilada use agua desmineralizada, pero es mucho mejor la destilada. Es muy importante no utilizar agua de la llave excepto en el tanque de lavado y enjuague.

Todos los químicos que se deben mezclar, se indican en gr/lt de agua destilada, el litro de agua sólo es una manera de medir, ya que el número de litros que se

deben preparar depende del tamaño del tanque de electroquímico. El tanque debe ser lo suficientemente profundo para que quepa en él completamente el objeto que se va a niquelar. Una vez sumergido completamente la pieza, es preferible que el objeto tenga libre hacia abajo de 5 a 8 cm y la misma distancia hacia la superficie.

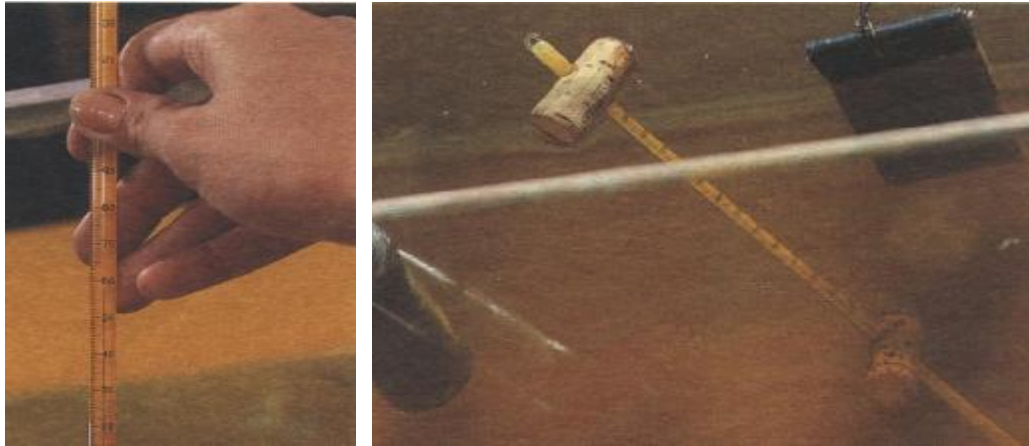
Para preparar los productos químicos de cada baño, se debe ver primero la capacidad del tanque en litros de agua, luego se realiza el cálculo de los productos químicos, por ejemplo: si el tanque le caben 9 litros de agua y se dice que la sustancia requiere de 300 gr / litro de sulfato de níquel, simplemente se multiplican los 300 gr por 9 litros, lo que es igual a 2700 gr de sulfato de níquel, que sería lo que habría de diluirse en el agua.

La mayor parte de las soluciones pueden prepararse directamente en el tanque, otras veces, parte de la solución se prepara en un recipiente separado, con una cantidad menor de agua y luego esa mezcla se agrega al tanque. Muchas soluciones trabajan mejor cuando se dejan asentar o envejecer uno o dos días antes de que se haga el baño del metal.

**5.3.1. Temperatura:** Cuando se recomienda una temperatura específica para el baño, quiere decir que trabaja mejor, óptimamente en esa temperatura y siempre que se pueda procure trabajar el baño en esa temperatura. Por si no es posible,

trabaje el baño a una temperatura ambiente o a una menor a la estipulada y se espera un poco más a que se deposite el metal.

**Foto 11. Medición de Temperatura**



La mayoría de los productos químicos en este proceso se consiguen en las grandes droguerías y en las empresas que venden productos químicos para la galvanoplastia.

**5.3.2. El Cálculo Y La Medición:** Esta parte del proceso hay que hacerla con mucha cautela ya que es parte importante de los buenos resultados en el niquelado. Hay que calcular la superficie de cada objeto que se desee niquelar. La superficie también se usa para determinar la cantidad de corriente que debe pasar a través del electrolito llamado también densidad de corriente; la medición de la superficie también se utiliza para determinar la superficie que deberán tener los ánodos para que estén a la proporción correcta con la superficie del cátodo.

Para calcular la superficie se toma el objeto en sus rasgos generales, haciéndolos semejantes a algunas figuras geométricas conocidas. Como por ejemplo para calcular la superficie de un cilindro sólido, se multiplica 3,14 por el diámetro, el resultado multiplíquelo después por la altura; además, se calcula el área de la base, que es igual a 3,14 por la mitad del diámetro al cuadrado.

**5.3.3. Medición:** Las indicaciones de la cantidad de corriente que debe pasar por el electrolito se dan en Amperios por decímetro cuadrado. Para saber la cantidad de decímetros cuadrados de superficie que tiene el objeto, simplemente divida entre 10 el resultado en centímetros cuadrados; o simplemente suprima la primera cifra a la izquierda del punto. Suponiendo que en un baño se indica que en la densidad de corriente debe ser de  $2 \text{ A/dm}^2$ , quiere decir que por cada decímetro cuadrado de superficie del objeto debe enviar al electrolito dos Amperios de corriente.

#### **5.4. PRECAUCIÓN CON LAS SUSTANCIAS QUIMICAS**

Todas las sustancias químicas utilizadas en los electros deposiciones deben tratarse con mucho cuidado. Muchas son tóxicas o venenosas y otras altamente corrosivas, es decir que roen o muerden aquello que tocan. Por esto es muy peligroso tocarlas, comerlas o respirarlas.



Aunque hay algunas que se pueden considerar inofensivas o casi inofensivas, de todas maneras deben tratarse con el mismo cuidado que como si fueran las mas peligrosas.

**Foto 12. Ilustración del Equipo de Protección.**



A continuación enunciamos algunos de los cuidados que deben tenerse muy en cuenta para el manejo de las sustancias químicas.

- § Al mezclar las sustancias químicas nunca debemos apresurarnos, debe hacerse con mucha calma, con mucho cuidado y sin distraernos.
- § El orden es de imperiosa necesidad. Deben colocarse etiquetas claras a todos los frascos con productos químicos y sus soluciones.
- § Los vasos y frascos en que se mezclen los productos químicos deben estar perfectamente lavados, secos y sin manchas.

- § Siempre que se mezcle un ácido con agua, hay que agregar el ácido lentamente al agua. Nunca debe agregarse agua al ácido porque puede salpicar con violencia.
- § Cuando se este trabajando con los productos químicos ya sea en su mezcla o en los procesos de electro deposición, siempre se deben usar guantes para proteger las manos del contacto de ellos. Tambien se debe usar un delantal de tela ahulada o de plástico para proteger la ropa de cualquier contacto con las sustancias.
- § Es necesario que se trabaje en un área especial, con zapatos de cuero que protejan bien sus píese de cualquier sustancia que pudiera caer accidentalmente.
- § Siempre que se mezclen los productos químicos de deben proteger los ojos con el uso de gafas de seguridad, lo mismo que cuando se metan o se saquen las piezas de los baños galvánicos.
- § Los cianuros, ya sean, de potasio o de sodio, son las sustancias mas toxicas o venenosas que se manejaran. Es muy importante que se sepa la manera correcta de manejarlas y almacenarlas.
- § Cuando los cianuros se ponen en contacto con los ácidos se produce un gas muy toxico, conocido como hidrocianuro. Por tanto, nunca deben guardarse los cianuros cerca de los ácidos, ni mucho menos en el mismo mueble. Deben guardarse los ácidos y los cianuros siempre bien tapados y lejos unos de los otros.

- § Si se sospecha de la presencia de hidrocianuros, salga inmediatamente del lugar y no regrese hasta estar seguro de su dispersión, hay que trabajar siempre con la ventilación adecuada.
- § Debe usarse protección en las manos, utilizando guantes y además tapabocas para evitar respirar los polvos que se producen.
- § Una recomendación especial es la de tener a la mano, polvo para hornear y bicarbonato de sodio para neutralizar los ácidos. Si se llegase a quemar con ácido, se deben lavar de inmediato las partes afectadas con agua corriente y buscar inmediatamente atención médica.
- § Siempre que se mezclen los álcalis, igual que los ácidos, agregue esos productos químicos poco a poco en pequeñas cantidades cada vez, meneando constantemente hasta que se disuelva.

## 6. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES

Un factor esencial, y el más importante en cualquier tratamiento anticorrosivo, es el de la preparación de la superficie, por muy cuidadosamente que se halla escogido el proceso de protección, no cumplirá su objeto si se le aplica sobre una superficie mal preparada. Las superficies sucias, grasientas, corroídas o escamosas, son inadecuadas para la aplicación directa de cualquier tratamiento anticorrosivo.

Teniendo en cuenta que los recubrimientos de los metales se basan en la adherencia con el sustrato, sea por unión física, sea por una reacción superficial, se comprende fácilmente que cualquier material presente en la superficie del metal a recubrir tendrá influencia en el proceso. La existencia de materiales extraños dimensionados sobre la superficie ocasionará defectos en el recubrimiento, no sólo en lo tocante a la adherencia, resistencia a la corrosión o continuidad del recubrimiento, sino también en los efectos de acabado estético.

Las impurezas sólidas pueden provenir de etapas anteriores a las de recubrimiento: fabricación, almacenado, empleo, etc. En cualquier caso la elección del procedimiento más adecuado para su eliminación se basará en el conocimiento de las impurezas que puedan presentarse.

## 6.1. TIPOS DE IMPUREZAS

Teniendo en cuenta la composición química, las impurezas pueden clasificarse en orgánicas e inorgánicas. También se incluyen las de tipo metálico, tales como residuos de operaciones anteriores como trefilado, laminado, mecanizado, etc.

**6.1.1. Impurezas De Tipo Orgánico:** pueden aparecer como residuos de los lubricantes empleados en las operaciones de conformado y tratamiento térmico, humectantes, pinturas, barnices, etc.

**6.1.2. Impurezas Inorgánicas:** estarán formadas por óxidos, hidróxidos, y carburos formados en los tratamientos mecánicos y térmicos. También los procesos de corrosión contribuirán a producirlos.

## 6.2. EL PULIDO

**6.2.1. Mecánico:** más bien forma parte de la elaboración misma del objeto, que de su preparación para la electrodeposición. Sin embargo, es frecuente que deba hacerse un pulido adicional, porque la superficie que va a ser niquelada debe tener una superficie exactamente igual a la superficie de la forma final.

El pulido metálico puede incluir varias fases, como son el esmerilado, el lijado y el pulido. El esmerilado se usa para quitar rápidamente material sobrante. Por lo

general se emplea para quitar rebordes que son resultados del proceso de fundido o soldado de la pieza.

El lijado tiene el propósito de borrar la huella dejada por el esmeril y preparar la superficie para un terminado cada vez más terso. Para ello se comienza a lijar con una lija áspera y después con lijas cada vez más finas, hasta que la textura de la superficie es prácticamente la textura final que se quiere, pero sin el brillo final, el cual se logra con el pulido.

**Foto 13. Pulido Mecánico y Abrasivos**



El pulido se hace con pastas abrasivas. Estas pastas vienen en diversos grados de abrasión, igual que las lijas. Estas pastas se aplican sobre unas ruedas de mantas cocidas y pegadas entre sí, que se colocan en los ejes de unas pulidoras o de una esmeriladora, en vez de la piedra esmeril.

Es importante tener en cuenta que lo que pule es las pastas y que la manta es solamente el medio por el que se aplica y frota contra el objeto. Si se trabajan las mantas sin pasta, en lugar de pulir pueden rayar el objeto.

Además de pulir la pieza antes del baño de níquel, muchas veces es necesario pulirla al final, al salir del baño, ya lavada, para darle al metal el lustre correcto. También es conveniente pulir entre un baño y otro de electrodeposición, para quitar la rugosidad que pudiera tener el objeto al salir de un baño de metal.

**6.2.2. Electrolíticos:** todos los procedimientos tendientes a proporcionar piezas con alto grado de brillo han despertado vivo interés en el campo técnico, para disminuir costos y aumentar las características de brillo.

Muchas observaciones y comprobaciones durante el pulido mecánico han dado por resultado el descubrir, a causa del inevitable calentamiento durante el mismo, la formación de una capa superficial amorfa (capa de Beilby) conducente a que toda superficie metálica fluya uniformemente. La llamada capa de Beilby se elimina totalmente, sin dejar rastro, por tratamiento con determinadas mezclas ácidas, sin que ello afecte el brillo; al contrario este resulta muy superior al obtenido por procedimientos mecánicos.

**Foto 14. Pulido Electrolytico**



Cuando en un mismo baño, durante un pulido electrolítico los resultados obtenidos son dispares, ello es debido sin duda alguna a la diferente composición del material.

**6.2.3. El Pulido Del Acero:** hay que emplear una solución de 30 volúmenes de ácido ortofosfórico, 30 volúmenes de ácido sulfúrico y 40 de agua. Se pule a 40 – 70 °C, con una densidad de corriente de 8 – 45 amp/dsm<sup>2</sup>. Han sido patentados productos para añadir en pequeña escala, de sesquióxido de cromo, ácido crómico, glicerina, arsénico y otros.

Una patente suiza propone, para el pulido electrolítico de acero, un electrolito compuesto por un litro de ácido y fosfórico con 300 gramos de trióxido de cromo. El trabajo en él, a temperatura elevada (70 °C), precisa una densidad de corriente que oscila entre los 100 y 200 A/dm<sup>2</sup>.



La gran densidad de corriente exige una fuerte refrigeración adicional. Hay un electrolito, muy generalizado, compuesto por 720 cm<sup>3</sup> de ácido ortofosfórico con 220 cm<sup>3</sup> de ácido sulfúrico concentrado. Temperatura de trabajo: entre 40 y 90 °C e intensidad de 20 a 50 A/dm<sup>2</sup>. La operación de pulido dura aproximadamente 5 minutos. Una mezcla de 765 cm<sup>3</sup> de anhídrido acético y 185 cm<sup>3</sup> de ácido perclórico, con 50 cm<sup>3</sup> de agua destilada, ha sido también empleada, con mucho éxito sobre hierro, acero y níquel. Durante la preparación del baño hay que echar el ácido perclórico sobre el acético y no al revés ya que existe el peligro de una proyección explosiva de la mezcla, de manera análoga a lo que sucede al echar agua en ácido sulfúrico concentrado, o agua en sosa acústica confundida. El contenido en ácido perclórico no debe rebasar en ningún caso el 40% de la solución. La densidad de corriente a emplear es de 4 a 6 A/dm<sup>2</sup>.

Hay patentes francesas e inglesas que proponen baños compuestos hasta por un 90% de ácido ortofosfórico, completando el resto trióxido de cromo, fosfato potásico o sódico u otros. La temperatura de estos baños debiera ser de 120 °C y la densidad oscilar entre 30 y 75 A/dm<sup>2</sup>. Tanto por la adición de ácido bórico u oxálico, como por la disolución de la mezcla de pulido con 50% de agua, Debe aumentarse la densidad hasta 200 A/dm<sup>2</sup>.

**6.2.4. Pulido Electrolítico Del Níquel:** el níquel y las aleaciones de níquel cromo son muy difíciles de pulir por medio puramente mecánicos. Por este motivo, el pulido electrolítico del níquel ha encontrado una amplia aplicación.

**6.2.5. Pulido Electrolítico Del Cobre Y Sus Aleaciones:** se emplean soluciones de ácido pirofosfórico de hasta 53% con una densidad de corriente entre 1,5 y 5 voltios. Temperatura del baño, entre 15 y 20 °C. Igualmente da buenos resultados el ácido ortofosfórico de 25 a 60%. En este caso las características eléctricas y térmicas son de 1 A/dm<sup>2</sup> con 2 voltios, a la temperatura ambiente.

**6.2.6. Pulido Electrolítico De La Plata:** también la plata puede pulirse por vía electrolítica. Hace ya muchos años que es conocido un sistema de plateado que, por tratamiento anódico y movimiento de baño, proporciona cierto brillo.

Este sistema ha recibido cierto perfeccionamiento: las piezas plateadas son pulidas anódicamente en un baño plateado especial con 20 gramos/L de cianuro libre de 2,7 a 1,8 A/dm<sup>2</sup>. La duración del proceso importa aproximadamente 20 segundos. Los cátodos, de plata fina, deben estar con relación al ánodo como 2 es a 1. A diferencia del pulido mecánico, el desprendimiento de plata alcanza solamente el 2%.

### **6.3. PULIDO QUÍMICO**

El aumento de la pureza de los metales es un hecho de indudable importancia para el buen resultado del pulido, ya que las inclusiones metálicas extrañas impiden generalmente conseguir acabados perfectos.

**Foto 15. Pulido Químico**



La aplicación de los diversos procedimientos de pulido muestran grandes discrepancias en la calidad de los brillos obtenidos, y ello no es solo consecuencia de la composición de los baños, sino también por el elemento metálico tratado. Estos conocimientos enseñan al técnico a qué causas pueden atribuirse las fallas observadas en el pulido químico.

Dado a que en muchas ocasiones la composición química de los materiales es variada en atención a la función que deben cumplir las piezas, los resultados obtenidos con un mismo procedimiento llegan a ser también muy variable.

**6.3.1. Pulido Químico Del Aluminio:** el aluminio y sus aleaciones se pulen químicamente, por inmersión en baños caliente entre 95 y 115 °C. Uno de estos baños está compuesto, en peso, por un 52,2% de ácido fosfórico, 41,6% de ácido sulfúrico, 4,5% de ácido nítrico fumante, 0,4% de ácido bórico y 0,5% de nitrato de cobre.

Otro baño está compuesto por 12% en peso de ácido nítrico y un 16% en peso de fluoruro ácido de amonio (bifloruro amónico) a 45 – 65 °C produce en 15 – 30 segundos, sobre aluminio puro una superficie de extraordinaria brillantes. Es ventajoso que todas las piezas de aluminio pasen por un pulido y desengrase previos a la introducción en el baño de pulido. Se logra con ello que el desprendimiento de aluminio sea reducido y las piezas de pequeños espesores queden protegidas. Con un ligero movimiento de vaivén de las piezas, el brillo que se consigue es más bonito. Después de un enérgico enjuague en agua pura, la pieza pulida sufre una inmersión en ácido nítrico diluido (30 a 40%), perdiendo con ello la película grisácea adherente a ella. Hecho esto, se efectúa otro lavado con agua y finalmente, para conservar el brillo, se aplica una disolución de cromato sódico al 2%.

**6.3.2. Pulido Del Magnesio:** Gracias a patentes americanas, el magnesio es susceptible de sufrir pulido químico. Las soluciones prescritas son: de 1 a 10% de ácido sulfúrico con 0,5 a 10% de fenol o pirogalol; o también: de 1 a 10% de ácido sulfúrico con 0,5 a 15% de ácido oxálico, cítrico o tartárico. Temperatura del baño 30 °C.

Una mezcla de ácido nítrico fumante con ácido crómico y pequeñas adiciones de aproximadamente, 2% de ácido fluorhídrico, ha de ser igualmente apropiada para el pulido del magnesio.

**6.3.3. Pulido Químico Del Hierro Y El Acero:** El hierro y aleaciones de éste metal, englobado con ello las aleaciones inoxidable, adquieren un ligero brillo con un tratamiento ácido adecuado, una composición de buenos resultados es la siguiente:

400 partes de ácido nítrico al 70%

600 partes de ácido sulfúrico al 95%

192 partes de agua

Y los elementos que fluyen el logro del brillo son: ácido tetrafosfórico, ácido crómico y fosfato férrico.

La temperatura del baño que aconseja la patente oscila entre 77 y 120 °C. Un buen efecto de brillo se consigue sobre el hierro y las aleaciones de cromo – níquel con 100 volúmenes de ácido nítrico fumante, 50 volúmenes de ácido sulfúrico concentrado y 1 gramo de cloruro cúprico. Las piezas deben estar completamente secas al ser introducidas en esta mezcla de ácidos. A temperatura elevada del proceso de abrillantar sufre una considerable aceleración.

**6.3.4. Pulido Químico Del Cobre, Níquel Y Sus Aleaciones:** Para realizar este pulido se emplean mezclas de ácidos que, además del ácido sulfúrico, contienen, en menores proporciones, ácidos clorhídrico y crómico. También se ha propuesto

el uso de ácido fosfórico con ácido nítrico y acético. El cloruro cúprico es el más activo.

Es conveniente aclarar que las superficies que no van a ser recubiertas deben estar protegidas de los efectos de una exposición prolongada y directa a sustancias altamente cáusticas.

La cera, la laca natural, y la laca artificial son los materiales más usados para proteger las partes que no se quieren electrodepositar. Además de estos tres productos también se venden compuestos o barnices protectores especiales.

Un protector casero se puede hacer mezclando, en baño de maría, 4 partes de cera de abeja, 12 partes de parafina y 3 partes de resina. Ésta combinación, todavía caliente, se aplica con una brocha en aquellas partes de la matriz que no se desea electrodepositar.

Una vez realizado el proceso de electrodeposición, la cera protectora se quita con calor directo, con agua muy caliente o con solvente como tiner. La laca natural se quita con alcohol de 96 grados y la laca sintética con el solvente que indica el fabricante.

Con este procedimiento pueden protegerse aquellas partes de un objeto que ya tienen una capa suficiente de electrodeposición, de manera que ya no reciba más

metal, en tanto que otras partes del mismo objeto son cubiertas por una capa más gruesa del metal. También podría protegerse una parte de la pieza para después electrodepositarla con un metal de otro color.

El proceso general para la adecuación de la superficie consta de dos etapas fundamentales: el desengrasado y el decapado.

#### **6.4. DESENGRASADO**

El desengrasado es el procedimiento general para eliminar las impurezas de tipo orgánico. Según el tipo de tratamiento empleado, se clasifican en:

**6.4.1. Pirogenación:** la pirogenación consiste en la combustión de los productos orgánicos. Esta combustión puede conseguirse por:

**6.4.1.1. Llama directa sobre la superficie,** este procedimiento sólo se emplea para pequeñas cantidades de impurezas. Sus inconvenientes principales son la cantidad de mano de obra requerida y la provocación de calentamientos locales. Debe emplearse llama oxidante y solo sirve para superficies exteriores.

**6.4.1.2. inmersión directa en un baño de metal fundido,** si después se recubre con un metal con inmersión en caliente.

Esta práctica consigue una combustión reductora de los productos y una pérdida de adherencia, gracias a las tensiones provocadas por los distintos coeficientes de dilatación del metal base y de la película a eliminar.

El mayor inconveniente del proceso radica en la impurificación del baño del metal por los residuos carbonosos. La temperatura es demasiado baja y, unido a un bajo contenido de oxígeno en el baño, hacen que no halla una combustión completa y las partículas quedan en suspensión, adhiriéndose a los recubrimientos con todas las consecuencias que esto comporta.

**6.4.1.3. Proceso sendzimir**, consiste en pasar el material por un horno de túnel dotado de dos zonas. La primera es oxidante y con elevada temperatura. En ella tiene lugar la combustión de los residuos de tipo orgánico y a la vez, una oxidación superficial del material. En la segunda zona se emplea una atmósfera reductora que elimina la capa superficial oxidada.

Este procedimiento se emplea para pequeñas cantidades de grasa. En los casos en los que el contenido graso se ha elevado, se deben someter a un desengrasado previo antes de proceder.

**6.4.2. Disolventes Orgánicos:** este proceso se basa en las solubilidad que presentan algunos productos grasos en disolventes orgánicos. Se emplea principalmente para piezas pequeñas, ya que el procedimiento se encarece mucho



para grandes dimensiones. Los disolventes más empleados son el tricloro etileno y el percloro etileno.

El proceso de desengrasado se clasifica, atendiendo el estado físico del disolvente, en fase vapor, fase líquida, mixta y proyección.

**6.4.2.1. Fase Vapor:** se emplean disolventes moderadamente volátiles y de bajo calor latente de vaporización. Es indispensable que no sean inflamables a temperaturas de trabajo y su toxicidad deberá ser la más baja posible.

En este procedimiento se introduce el material frío en la cuba de desengrase, en lo que se consigue que el disolvente condense en la superficie del material. La temperatura favorece la solubilización y, cuando el material alcanza la temperatura de vapor, cesa la condensación.

**6.4.2.2. Fase Líquida:** el método consiste en sumergir el material dentro del disolvente. La temperatura de trabajo suele ser la ambiente o un poco superior. Normalmente se emplea agitación. En este proceso la elección del disolvente no exige tanto requisito como la fase vapor; al no haber cambiado de estado, no importa el calor latente, de la vaporización. La volatilidad e inflamabilidad pueden ser algo superiores.

**6.4.2.3. Fase Mixta:** se emplean para piezas muy pequeñas en las que se quiere alcanzar la temperatura de ebullición del disolvente sin que se halla completado la limpieza. En estos casos, las piezas se sumergen en el líquido caliente.

**6.4.2.4. Proyección:** en los trabajos de desengrase en serie se suele a proyectar disolvente en instalaciones haciéndose pasar la pieza por una máquina que rocía metal.

**6.4.3. Medios Alcalinos:** cuando las grasas y los aceites industriales tienen un origen animal, los baños alcalinos de desengrase se emplean para saponificar estos productos.

La saponificación completa de los esterres solo tiene lugar en medios alcalinos fuertes. En, baños alcalinos débilmente alcalinos, se presenta equilibrio entre saponificación y esterilización, que no esta totalmente desplazado en ningún sentido, y aparecen aceites, no saponificados, que se emulsionan. Por su parte, la saponificación, produce jabones, de efectos tensioactivos, que favorecen la emulsión. Este efecto permite emplear baños alcalinos a valores de pH no demasiado elevados.

Con el empleo de aceites y grasas minerales, de carácter no saponificables, se ha debido prestar más atención al efecto tensioactivo que al saponificable. La operación es discontinua y consiste en una simple inmersión, con o sin agitación.

**Figura 4. Desengrase Vía Alcalina**



Puede usarse también el desengrasado con permanganato potásico en medio alcalino, el carácter oxidante del permanganato se complementa con el efecto limpiador del medio alcalino, siendo particularmente efectivo para eliminar las impurezas orgánicas grasas y partes de medios lubricantes, empleados en los procesos de trefilado, que quedan depositados en la superficie. Estos depósitos son particularmente molestos si han sido parcial o totalmente coquizados por procesos de revenido.

Como casos especiales podemos citar el empleo de polvos y aceites para eliminar barnices y pinturas. Están constituidos por sustancias de carácter básico: carbonato sódico, cal, sosa, etc, que pueden emplearse aplicándolos directamente sobre el material.

Por otra parte, cuando se dispone de tricloroetileno, tetracloruro de carbono, petróleo o bencina, el desengrase previo resulta relativamente sencillo, ahora bien

si se carece de ello, resulta obligatoria la separación de los residuos principales de aceites y grasas con los baños de ebullición. Para ello hay que emplear los clásicos detergentes alcalinos, como por ejemplo el grisirón, o en su defecto una solución de sosa cáustica al 10% y una solución de carbonato sódico calcinado con adición de fosfatos o silicatos. Es condición que estas lejías siempre estén en condición de ebullición y que las piezas fuertemente sucias sufran esta ebullición por un tiempo de 10 a 30 minutos. Los residuos grasos, que en ocasiones, aún después del tratamiento detergente, no han desaparecido, se eliminan a cepillo o sobre cilindros de fibra de rápida rotación.

Las piezas desengrasadas por métodos mecánicos no están aún preparadas para el niquelado. Esto queda demostrado colocando debajo de un chorro de agua alguna pieza desengrasada únicamente con tricloroetileno. Pues se observa que el agua forma en la superficie gotas aisladas, claro indicio de residuos grasos. Esta ligera película de grasa residual puede hacerse con paño o cepillo. La cal consigue separar la grasa disolviéndola o formando compuestos. Verificando la prueba anterior del agua ahora se observará que la pieza queda totalmente mojada, o sea, exenta de grasa.

Un procedimiento más efectivo que el manual, es el desengrase electrolítico. Si la acción del desengrase electrolítico se prolonga en demasía surge el peligro de la fragilidad al hidrógeno. El desengrase en 3 minutos resulta efectivo en todos los

órdenes aplicando una tensión que oscila entre 6 y 12 voltios. A continuación citamos un preparado electrolítico que cumple con todas las exigencias:

- 100 litros de agua
- 10 Kg de sosa cáustica.
- 1 Kg de cianuro potásico.
- 10 Kg de carbonato sódico calcinado.
- 1 Kg de silicato sódico.

Para un baño detergente con cobreado previo:

- 100 litros de agua-
- 8 Kg de sosa cáustica.
- 1 Kg de cianuro cúprico verde.
- 1 Kg de sulfuro sódico.
- 1,5 Kg de cianuro potásico.
- 10 Kg de carbonato sódico calcinado.
- 1 Kg de silicato sódico.

Las sustancias básicas son entonces la sosa cáustica y el cianuro potásico. El silicato sódico se añade debido a su facilidad en favorecer la formación de espuma. Impide el levantamiento de partículas de sosa cáustica, que atacan las mucosas. El cianuro cúprico tiene por misión cobrear ligeramente el material, lo cual será indicio de desengrase total. La adición de sulfito sódico favorece la acción total del líquido. En lugar de silicato sódico puede actuar cualquier otro agente que favorezca la formación de espuma.

Cuando se electroliza con un baño desengrasante sin adición de cobre, el material ofrece un aspecto desnudo; quiere esto decir que queda blanco metálico y de la tensión necesaria para llevar a cabo el desengrase total. En los baños con aditivos cuprosos la precipitación de este elemento indica la terminación del proceso de desengrase.

#### **6.5. ERRORES QUE PUEDEN COMETERSE DURANTE LA ETAPA DE DESENGRASE Y RECOMENDACIONES**

Los errores que pueden ser cometidos durante esta etapa son: excesiva prolongación de la acción detergente; aplicación de una tensión eléctrica demasiado baja, y mantenimiento por debajo de las concentraciones aconsejables de cianuro cúprico en los baños.

Cuando existe la posibilidad de mantener constante la tensión de 12 voltios, resulta suficiente un desengrase electrolítico de 3 minutos. En este tiempo el material ha recubierto completamente con un precipitado rojo brillante de cobre, después de lo cual se retira del baño para lavarlo con agua fría.

Es conveniente que todo material saliente de un baño electrolítico, después de enjuagarse con agua fría, pase por una neutralización en agua, igualmente fría. Para ello se sumerge en un preparado constituido por 100 litros de agua con 1 a 5 litros de ácido sulfúrico o solución acuosa al 10% de ácido clorhídrico.

Inmediatamente después de la extracción del baño neutralizante, se enjuga nuevamente el material con agua fría y, sin demora, se introduce en el baño de níquel. El baño de neutralización tiene por fin destruir algún posible residuo alcalino que podría alterar el pH del baño de níquel. Todo material no neutralizado llega a neutralizar con el tiempo los baños de níquel y, bajo ciertas premisas los hace alcalinos.

Si un baño detergente disminuye su eficacia será necesario añadir algo de sosa cáustica. Si cobrea excesivamente o con demasiada celeridad, ello obedece a la falta de cianuro potásico. La falta de cianuro potásico es reconocible en primer lugar cuando la formación del precipitado de cobre termina ya al cabo del primer minuto y en segundo lugar, por el paso de la coloración amarilla clásica de estos preparados a verdosa.

En un trabajo continuo de desengrase electrolítico, hay que contar con un gasto de 10kg de sosa cáustica por 1000 litros de baño en 8 días. Son necesarias al cabo del segundo día pequeñas adicciones de cianuro potásico.

Para el desengrase importa menos la exacta composición del baño que el meticoloso desarrollo del proceso. Son poco frecuentes los errores cometidos durante el desengrase. Con efectuar las adicciones de sosa cáustica según las prescripciones queda por lo general garantizado el desengrase efectivo. Ahora bien, resultan perjudiciales, aunque en principio no sea ello perceptible, el desengrase prolongado y la escasez de cianuro potásico, la falta de este último

compuesto químico se hace notar en cierto modo por la decoloración del baño, pero la duración excesiva del proceso no muestra sus resultados nocivos hasta llegarse al niquelado o después de este.

Durante el desengrase electrolítico se desprende hidrógeno que se deposita sobre la superficie del material y en parte es difundido hacia el interior del metal. A esto obedece la necesidad de limitar la duración del desengrase. Una difusión excesiva del hidrógeno en el metal tiene por consecuencia que desconche con facilidad. Cuando esto sucede se atribuye, en la mayoría de los casos, a la composición del baño metálico de galvanoplastia, sin sospechar que la causa obedece al baño de desengrase. Cuando el baño detergente sufre una decoloración pasando del amarillo vivo al verde sucio, falta cianuro potásico. La consecuencia de esto es una pésima adherencia a los posteriores precipitados metálicos.

Para el desengrase electrolítico se emplean ánodos de cobre, níquel, aceros o tipos de acero al níquel. Los ánodos de nirosta no deben usarse en ningún caso. Por el contenido de cromo, siempre muy perjudicial para los baños galvánicos, que presentan esta aleación. La capa o estrato negro que se forma en los ánodos debe martillarse de vez en cuando para reactivar su conductividad eléctrica.

Para el desengrase de piezas metálicas es necesario disponer armazones de latón o cobre debidamente dimensionados. Si estos no son de la aleación necesaria, pueden llegar a calentarse al rojo; entonces los ganchos ceden y todo el material, junto con la instalación, cae con el baño. Por ello las selecciones



normales de los soportes en cualquiera instalación han de ser calculados siguiendo aproximadamente las directrices que para el mismo fin se siguen en los cromados. Resulta oportuno emparejar las dimensiones de la instalación a las dimensiones de los ánodos empleados en el paqueteado.

## **6.6. LIMPIEZA MEDIANTE ULTRASONIDOS**

Existen infinidad de piezas, por ejemplo en la mecánica de precisión, industria relojera, etc, que imposibilitan cualquier restregado. En este caso encuentra aplicación la limpieza mediante ultrasonidos.

El procedimiento de limpieza por ultrasonido no es otra cosa que el perfeccionamiento del desengrase con hidrocarburos, y el medio detergente no requiere tantos cuidados, pudiendo incluso ser alcalino. Por medio de ultrasonidos de adecuada frecuencia, conjuntamente con la acción química, se introduce una acción mecánica que llevada hasta el fin expulsa con extraordinaria fuerza cualquier residuo, no importa de que naturaleza, que pudiera quedar adherido a las piezas.

Un equipo de ultrasonido consta esencialmente de 12 partes: el constituido por el generador y el aparato de limpieza propiamente dicho. El primero esta constituido por el generador productor de altas frecuencias y todos los elementos eléctricos del equipo. En el aparato de limpieza se halla el recipiente para el desengrase. Si

la estructura de las piezas lo exige se disponen de varios recipientes, dos de los cuales sufren la acción de las ondas. En el fondo de estos, contruidos de metal nirosta, se encuentran los elementos vibradores de cuarzo. La temperatura de la solución se regula termostáticamente. Por encima de las pilas de limpieza existen serpentines que condensan el tricloroetileno o permanganato en vaporización.

Cuando una pieza cualquiera es sometida a la solución detergente mas o menos caliente se limpia de grasa. Ahora bien, agitando el baño, el proceso de lavado experimenta una notable aceleración e incrementa su potencia. Los ultrasonidos, como agentes de agitación, logran transmitir a la solución un movimiento de tal fuerza que jamás podría ser igualada con una instalación de toberas de inyección. Durante la limpieza de ultrasonido se alternan fases de alta y baja presión que recorren con alta velocidad todo el recipiente. Las fuerzas que con ella se liberan son de tal magnitud, que de un modo casi instantáneo, son separadas todas las partículas de suciedad prácticamente invisibles adheridas a las piezas.

Este procedimiento de agitación mediante un elemento de vibración resulta muy adecuado para piezas pequeñas con muchos taladros, ranuras, grabaciones, acuñados, troquelados etc, e igualmente para objetos materiales fácilmente deteriorables, como los de plomo, antimonio y aleaciones metálicas blandas ligeras. La ventaja mas apreciable radica en el ahorro de tiempo, ya que la limpieza perfecta es alcanzada en 5 a 10 segundos, es innecesaria una limpieza posterior de acabado y no existe tampoco en ningún caso desecho de piezas.

## 6.7. EL DECAPADO

Una vez eliminados los residuos grasos de la superficie de la pieza, se procede a la eliminación de los óxidos metálicos mediante el decapado. En casos especiales ambos procedimientos se realizan simultáneamente.

El decapado puede realizarse por los siguientes procedimientos: el químico, el mecánico. Este último comprende el arenado y el granallado.

Las diferentes composiciones de óxido que podemos encontrar en la superficie del metal a proteger son entre las más comunes: óxido ferroso ( $\text{FeO}$ ), conocido por calamina; óxido ferroso- férrico ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), de color negro, conocido por magnetita, y óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) o hematitas, de color pardo.

La presencia de cada uno de ellos o de varios a la vez, depende de las condiciones en que se ha producido la oxidación, a temperatura ambiente y en medios húmedos, se obtiene el óxido férrico o la magnetita, dependiendo de la concentración de oxígeno presente, si la temperatura es elevada pero sin llegar a  $560^\circ\text{C}$ , y hay oxígeno suficiente, se obtiene mezcla magnetita- hematitas, o hematitas solo, si hay mucho oxígeno. Por último la oxidación a temperaturas superiores a  $560^\circ\text{C}$  y concentraciones de oxígeno próximas a las del aire, se obtiene óxido ferroso.

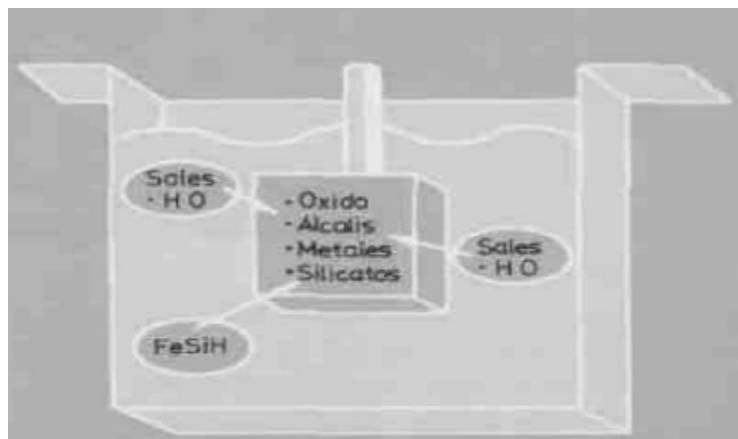
Este óxido es inestable a temperatura ambiente, descomponiéndose en magnetita y hierro, pero la velocidad de descomposición disminuye rápidamente con la temperatura, por lo que se encuentra este óxido en las capas internas, recubierto de magnetita y hematitas.

**6.7.1. Decapado Químico:** la eliminación de estos óxidos por vía química, puede verificarse con varios agentes, desde este punto de vista, el decapado por vía química se clasifica en:

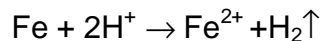
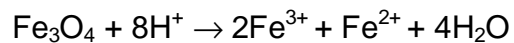
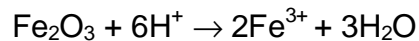
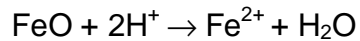
**6.7.1.1. Disolución Acuosa:** el decapado por disolución acuosa puede, a su vez, subdividirse en: medio ácido, básico, electrolítico.

**Medio Ácido:** se utilizan ácidos inorgánicos. Los más empleados son el clorhídrico y el sulfúrico, aunque, a veces se emplean el fluorhídrico y el fosfórico. La elección de uno u otro se realiza, normalmente, en función del costo y de la duración del baño.

**Figura 5. Decapado Ácido**



Desde el punto de vista químico en decapado ácido se basa en las siguientes reacciones:



Según se desprende de estas ecuaciones, el ácido simboliza los distintos óxidos posibles y, al mismo tiempo, ataca el metal base. Esta última reacción ocasiona pérdidas de material, eleva el consumo de ácido y, el desprendimiento de hidrógeno puede originar difusiones a través de material, produciendo fragilización, su presencia y extensión pueden controlarse mediante empleo de inhibidores de decapado.

Un inhibidor es un catalizador negativo que actúa disminuyendo la velocidad de corrosión metálica al insolubilizar los productos anódicos o catódicos, o al rebajar el potencial del sistema, disminuyendo la agresividad. Se utilizan en pequeñas proporciones. En el decapado impiden que el ataque ácido continúe sobre el metal base, una vez eliminada la capa de óxido. Al ácido sulfúrico se le suele añadir feniltiourea, y para el ácido clorhídrico se emplea urotropina o hexametilentetraamina.

El ácido fluorhídrico se emplea para decapar piezas de fundición coladas en la arena y que a causa de su forma, son difícilmente decapadas por chorreado. Las disoluciones tienen un contenido en ácido del 0,5% - 3% y deben emplearse inhibidores para evitar un fuerte ataque al hierro base. La ventaja del inhibidor es, pues, no solo su escasa actividad sobre el metal, sino también el ahorro en considerables cantidades de ácido que posibilita.

Las disoluciones decapantes de ácido sulfúrico son de un 10% en peso, de ácido, se emplean a temperaturas intermedias entre 50 y 80°C. Por su parte, las de ácido clorhídrico trabajan a temperatura ambiente y con un contenido de ácido del 18%. En ambos baños se debe controlar el contenido en hierro puesto que interfiere en el proceso.

Las soluciones mordientes fosfóricas, o sea las compuestas por 70 –90% de agua y 30 – 10% de ácido fosfórico, pueden emplearse tanto en caliente como en frío, y tienen la ventaja de que las piezas tratadas en ella se oxidan con menor facilidad.

Las piezas que por su gran tamaño no caben en los recipientes de decapado se recubren con pastas mordientes. Estas se recubren con pincel, obteniendo un profundo y excelente resultado oxidante al cabo de dos horas.

**6.7.2. Modo Y Aplicaciones Del Decapado Químico:** la función bruta de todos los tipos, y también la de cobre y sus aleaciones, se limpia con ácido sulfúrico, ácido clorhídrico y fosfórico diluido.

**Foto 16. Reactivos**



El hierro, cobre, acero, latón, bronce y plata se atacan con una solución de 90 partes de agua y 10 partes de ácido sulfúrico o 95 partes de agua y 5 partes de ácido sulfúrico. También se emplea ácido clorhídrico con mucha frecuencia, en cuyo caso la cantidad de este ácido debe doblar o triplicar la cantidad prescrita para el ácido sulfúrico. Con estas dos mordientes no debe trabajarse jamás sin un aditivo, el llamado inhibidor pues sin él, el metal sería atacado por los ácidos. Basta con pequeñas adiciones de aproximadamente 1% de la cantidad líquida total, para eliminar la acción destructora de los ácidos en el decapado. Con ello además queda garantizado un ahorro del 50% de ácido y 5% de material.

El plomo y el estaño se someten muy raramente al ataque químico. Sin embargo, cuando ello es necesario, se emplea ácido nítrico al 2%, o en su defecto, ácido

clorhídrico. Es aconsejable la lentitud en este proceso para asegurarse de que los metales no son atacados.

El decapado de hierro de fundición requiere especial atención. También los perfiles laminados y el alambre refilado han de decaparse con mucho cuidado, pues bajo ciertas condiciones podría hacerse imposible su ulterior recubrimiento. Lo mismo sucede con la fundición templada atacada en exceso; el recubrimiento resulta imposible, por que el ácido al atacar el metal, deja sobre la superficie únicamente grafito suelto. Cuando estos tipos de piezas, son sometidos a cualquier baño galvánico, no hay ninguna deposición metálica ni un raspado con cepillos de cerda metálica podrá ayudar en nada. Algunas veces, sin embargo, con un intenso esmerilado aflora de nuevo la superficie metálica, permitiendo la electrodeposición.

Una vez desaparecidos todos los restos ácidos por lavado en agua fría, las piezas se introducen durante uno o dos minutos en una solución concentrada hirviente de sosa cáustica. Una vez extraídas se pueden secar a la temperatura ambiente.

Cuando el ataque químico se efectúa a base de ácido fosfórico, esta además el lavado con agua fría, así, como la neutralización. Como que únicamente se atacan con ácido fosfórico aquellas piezas caracterizadas por su gran valor o delicadeza, es mejor someterlas al tratamiento de una pasivación y secado posterior.



Las soluciones ácidas para el hierro y el acero sirven también, con la misma composición, para el latón, cobre, níquel, plata. En estos casos el ataque químico tiene por misión eliminar el cardenillo adherido, que la mayoría de veces se forma durante la soldadura cuando la grasa utilizada no carece totalmente de ácidos o los residuos salinos no han desaparecido con un lavado de agua hirviendo.

La duración del ataque químico es muy variable para las diferentes clases metálicas. Gruesas capas de óxido exigen muchas veces hasta 4 horas para su eliminación. Una notable aceleración en la eliminación de cualquier tipo de óxido se logra con un calentamiento de los ácidos hasta aproximadamente 60°C. Las capas normales de óxido sobre el hierro desaparecen al cabo de 4 minutos con el uso de ácidos fosfóricos al 5%.

Hay que citar el ataque químico de repaso con ácido nítrico al 2%, de piezas férricas que han de zincarse al fuego. La experiencia enseña que las piezas de hierro tratadas en solución de ácido nítrico se zinkan y estañan con más facilidad y belleza. Los recipientes para baños nítricos han de ser de gres o de hormigón arenado recubierto interiormente con placas vitrificadas.

Justo con el mordido ácido, una de las principales operaciones previas, de las piezas de latón, cobre, bronce y aleaciones similares que han de pasar por un proceso de acabado químico o electroquímico, es el “quemado al amarillo”; como su nombre lo indica, las piezas se queman hasta adquirir un color amarillo; pero

esto es aplicable únicamente a las piezas de latón. En todos los demás casos las piezas metálicas son limpiadas hasta brillo por la inmersión en frío en el corrosivo, con lo cual las superficies adquieren una estructura cristalina muy fina y presentan un brillo característico. De todos modos, con el corrosivo quedan metálicamente limpias y facilitan en este estado toda operación ulterior. Para piezas muy perfiladas, el quemado amarillo resulta imprescindible, debido a que con el esmerilado y pulido posterior es muy difícil alcanzar las entalladuras profundas. Cuando estas piezas están tratadas por mordido ácido y quemado, presentan en los lugares de difícil acceso precipitados impecables, que, aunque mates comparados con el pulido, son por ello precisamente de gran calidad.

La sustancia de quemado es siempre una mezcla de ácidos compuesta de ácido sulfúrico y ácido nítrico. En la preparación de esta entra, por cada parte de ácido sulfúrico, una de ácido nítrico concentrado. Mejor aun actúa la mezcla cuando la proporción de ácido nítrico concentrado guarda la relación 75:25 con el ácido sulfúrico. La adición de cloruro sódico y negro de hollín en cantidades de 0,5 al 1 % aumenta ligeramente el brillo.

La aplicación de los corrosivos cuando se trata de cobre y sus aleaciones, es siempre posterior a un mordido ácido. Si se queman directamente sin mordido previo piezas muy sucias, oxidadas, existe no solo el peligro de la destrucción del material por la fuerte acción corrosiva de la mezcla, sino que también el gasto de ácido es elevadísimo. Por este último motivo las piezas sucias se desengrasan primeramente con tricloretileno antes de morderlas con ácido para luego ser

quemadas. Según la composición del corrosivo, resulta a veces innecesario el quemador abrillantador.

Los corrosivos para el quemado amarillo han de guardar preferentemente la relación de 3 volúmenes de ácido nítrico concentrado por 1 de sulfúrico, aunque esta permitido oscilar entre las proporciones 8:1 y 2:1 (con la adición de cloruro sódico), estas pueden sufrir todavía alguna variación.

Para el “quemado amarillo” es necesario, ante todo, una sección que, al igual que la del mordido ácido, no este muy alejada de la sección de electrodeposición. El recinto no debe ser pequeño ni de techo bajo; debe tratarse de un local amplio y ventilado mediante dispositivos aspirantes y renovadores de aire, para proteger la salud de los operarios, y al mismo tiempo permitir que las herramientas y las maquinas queden protegidas de la corrosión.

La instalación de lavado en el recinto ha de ser potente debido a que únicamente con un caudal de agua pueden ser satisfactorios los resultados.

Las piezas metálicas de gran tamaño no se introducen en corrosivos formados por ácidos puros, sino en disoluciones acuosas muy diluidas, pero activas. El que el proceso resulte así más lento no tiene mayor importancia.

En la siguiente tabla se muestra una relación de mezclas ácidas; en ellas el práctico en la materia apreciará la que mas puede convertirse para un trabajo económico.

Las composiciones a partes iguales de ácido nítrico y sulfúrico de 66 Bé dan lugar a tonalidades amarillentas mate. De la tabla es sencillo deducir los diferentes resultados a obtener con la variación de la mezcla. Debe considerarse, sin embargo, que la mezcla de ácidos requiere la temperatura normal, o sea, aproximadamente 25 °C. A temperaturas mas elevadas, la corrosión se incrementa de forma notable, y con ello el consumo de ácidos, lo cual requiere un trabajo mas acelerado para obtener superficies claras. **Ver anexo E.** Influencia De La Composición Ácida En Los Resultados Obtenidos.

con el fin de restringir el gasto de ácidos es aconsejable a veces efectuar un quemado previo en disoluciones adecuadas. Una de estas disoluciones acuosas podría ser:

50 cm<sup>3</sup> de ácido nítrico concentrado

50 cm<sup>3</sup> de ácido sulfúrico 66 Bé

50 cm<sup>3</sup> de ácido fosfórico al 85%

100 cm<sup>3</sup> de agua

Para el quemado blanco de aluminio no son recomendadas las citadas mezclas de ácidos. Para obtener una limpia tonalidad plateada mate sobre aluminio y sus aleaciones, se recomienda la inmersión, durante breves segundos, en una disolución hirviendo de lejía de sosa o potásica cáustica al 10% y, después de un buen lavado con agua fría, una breve inmersión en ácido nítrico puro, tras la cual es preciso otro lavado con agua fría y finalmente el secado. En vez de utilizarse lejía de sosa hirviendo puede utilizarse un mordiente de ácido fluorhídrico al 5% con agua, pero las nieblas fluorhídricas venenosas que de ello se derivan producen muchas dificultades y molestias.

La fundición de aluminio se blanquea por inmersión durante 10 horas en una solución diluida de ácido nítrico en la proporción de 1:10. Para la misma operación con hierro se aplica la siguiente composición:

3 Kg de ácido nítrico concentrado.

2 Kg de ácido sulfúrico de 66° Bé.

20 g de cloruro sódico o sal común.

10 g de sulfato de Zinc.

La breve inmersión de piezas férreas en esta solución, con un posterior lavado en agua fría, da lugar a superficies con un blanco metálico puro, lista para ser realizadas galvánicamente.

Para todas estas soluciones es necesario siempre tener algunas preocupaciones. El ácido siempre debe agregarse al agua poco a poco, nunca de golpe, meneando, sin que salpique. Nunca debe agregarse agua al ácido porque saltará violentamente, con peligro de quemaduras. Si acaso salpica, debe lavarse por 15 minutos con agua corriente. La solución ácida para el decapado es muy corrosiva y al prepararla deben usarse guantes, botas o zapatos de piel, mandil y anteojos.

**6.7.3. Medio Básico:** existe un proceso llamado cazzaniga, para desengrasado y decapado de alambre. Consiste en hacer pasar una corriente eléctrica por el alambre para calentarlo por el efecto Joule. Este calor lleva la temperatura de la disolución de sosa y aumenta la disolución de la misma. El campo eléctrico creado y las corrientes de convección térmica favorece el proceso conjunto de desengrasado y decapado.

También las disoluciones alcalinas de permanganato potásico tienen buen uso como “ablandadores” de las cascarillas metálicas antes de un decapado ácido, de modo que el proceso de disolución es más completo y se eliminan los residuos de cascarilla.

El efecto del permanganato parece basarse en el aumento de volumen que se produce en la oxidación de los óxidos metálicos más reducidos. Este aumento de volumen produce un ahuecamiento de las capas de cascarilla, con lo que se ofrece una mayor superficie para el ataque con los ácidos.

## **6.8. DECAPADO ELECTROQUÍMICO**

En este tipo de decapado el material actúa como ánodo o cátodo, dentro de un baño electrolítico. Presenta ventajas por la velocidad de operación y la eliminación de cascarilla. Estas ventajas proviene de la agitación del baño, y de la cascarilla, por el hidrogeno que se desprende, y su efecto reductor sobre la magnetita, que es el oxido mas difícilmente soluble. Los baños son análogos a los de decapado ácido, aunque se prescinde de agentes espumantes.

Según que el material actúe como un electrodo u otro, el decapado electrolítico se divide en: anódico y catódico.

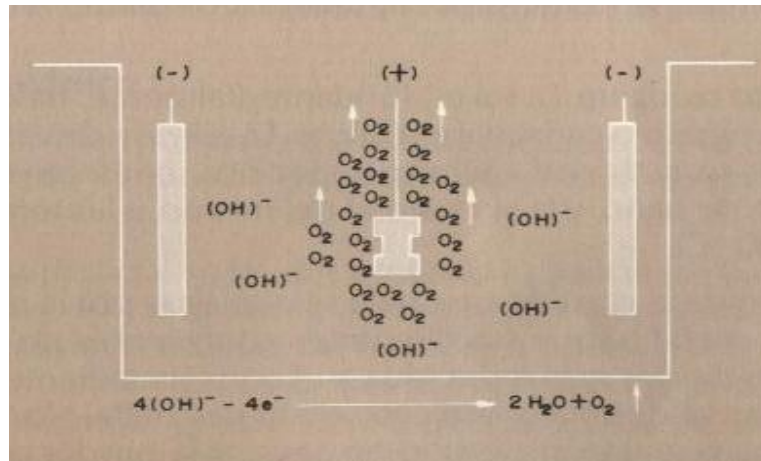
## **6.9. DECAPADO ANÓDICO**

En el decapado anódico, las capas de oxido son disueltas por el residuo ácido que se forma sobre el ánodo. Esto permite utilizar disoluciones ácidas menos concentradas que en el decapado químico, por el crecimiento de la acidez en el ánodo.

El decapado anódico, registrado en la siguiente figura, emplea baños de ácido sulfúrico de 25 - 30% y densidades de corriente de 1 - 8 A/dm<sup>2</sup>. Con este método se obtienen superficies rugosas (lo que origina recubrimientos mas gruesos), pero esta rugosidad puede reducirse añadiendo dicromato potásico. No es muy

empleado pues necesita concentraciones elevadas y hay considerables pérdidas por arrastre.

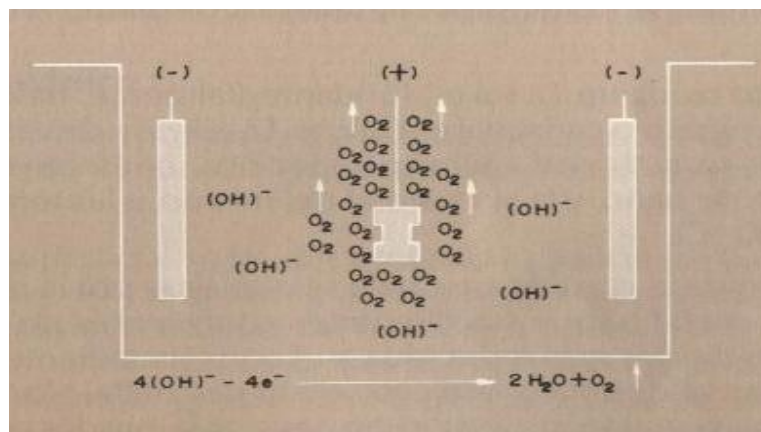
**Figura 6. Esquema del Decapado Anódico.**



### 6.10. DECAPADO CATÓDICO

Este se trata de una acción reductora y mecánica de hidrogeno, naciente en el cátodo, que desplaza las partículas de oxido. En este procedimiento se emplean densidades de corrientes mas elevadas (190 - 30 A/dm<sup>2</sup>).

**Figura 7. Esquema del Decapado Catódico.**





No hay ataque del metal y se obtiene una superficie uniforme lisa uniforme. Su principal inconveniente es el riesgo de fragilización por hidrógeno, y la creación de corrientes vagabundas que originan problemas de corrosión en el equipo. Se emplea para piezas muy pequeñas que se tratan en una especie de cesto giratorio.

Los dos procedimientos anteriores emplean un baño electrolítico ácido, pero también pueden usarse baños alcalinos. La ventaja fundamental de esta alternativa es el pobre ataque del acero por la sosa y, en consecuencia se disuelve poco metal. Esto hay que añadir la acción limpiadora de la sosa.

El decapado electrolítico ha encontrado su aplicación principal en la producción de alambre, en donde, en canales de decapado el material es desengrasado, lavado, mordido, secado y trefilado.

## **6.11. SALES FUNDIDAS**

La eliminación de los óxidos con el empleo de sales fundidas puede conseguirse con tres tipos de procedimientos: oxidante, reductor y electrolítico.

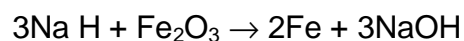
**6.11.1. Procedimiento Oxidante:** la sal es, fundamentalmente hidróxido sódico al que se añade nitrato o carbonato sódico. La adición de estos compuestos, además

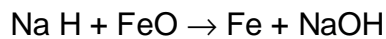
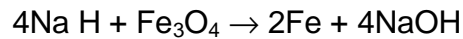
de su efectividad química específica, contribuye a rebajar el punto de fusión del baño, y la viscosidad del mismo, a temperaturas de trabajo (450 - 500 °C).

La eliminación de la capa de cascarilla se consigue por la mala adherencia del óxido al metal base y sus diferentes coeficientes de dilatación. La oxidación de los óxidos más reducidos, y el correspondiente aumento de volumen, ayuda al desmoronamiento de la cascarilla. Normalmente, la operación acaba con una inmersión en agua, y la producción de vapor, por el calor de la pieza, ayuda a la eliminación de la cascarilla. El proceso acaba con un ligero decapado ácido.

Este procedimiento tiene fundamental interés para las fundiciones, si bien este caso interesa más la eliminación de la arena que la del óxido. La sosa reacciona con la sílice de la arena y la solubiliza a silicato sódico. Además del silicio se logra oxidar las sustancias orgánicas de las arenas de moldeo, grafito, fósforo, azufre y manganeso. Este método es preferible a un sobre decapado ácido ya que se evita la fragilización por hidrógeno.

**6.11.2. Procedimiento Reductor:** en este caso el baño es de sosa y carbonato, al que se añade hidruro de sodio (1 - 2%). El proceso de eliminación de la cascarilla se basa en la acción mecánica ayudada por la acción reductora del hidruro. Las reacciones son las siguientes:





**6.11.3. Procedimiento Electroquímico:** este procedimiento emplea baños análogos a los anteriores, es sucesivamente, anódico y catódico, en dos baños consecutivos. En el primero se oxida la cascarilla, y el hidrogeno naciente, que se produce en el siguiente, la desprende y reduce.

El decapado electrolítico en sales fundidas tiene especial aplicación en las fundiciones que presentan grafito superficial. El procedimiento consiste en sumergir las piezas en el baño, a 450 - 500 °C, y hacerlas actuar como ánodos, de modo que se oxide superficialmente el grafito sin alterar la adherencia del Zinc.

Este procedimiento tiene ventaja de ser susceptible a tratar material en continuo y encuentra aplicación en las trefilerías.

**6.11.4. Atmósfera Reductora:** este método se conoce con el nombre de proceso sendzimir y ya se ha apuntado anteriormente. Se emplea para material continuo.

## **6.12. DECAPADO MECANICO**

El oxido se elimina por procedimientos mecánicos. No es necesario un desengrase previo ya que suelen ser los decapados mas profundos que se practican.

Si el óxido superficial se ha desarrollado lo suficiente para influir de tal manera en la superficie metálica que ha ocasionado grandes entrantes y salientes, se aplicaran muelas de materiales abrasivos. En casos menos drásticos se emplean discos de fieltro impregnados de abrasivos como corindón, carborundo, granate, tierra de Trípoli, cal de Viena (dolomita tostada), piedra pómez, polvos de distintos metales, o aleaciones, compuesto de boro o vanadio, etc. O, sencillamente, discos de tela más o menos duros como flescolan, fieltro o lana.

Si las piezas contienen entrantes y salientes donde no pueden llegar las muelas y discos convencionales, se utilizan grapas y cepillos circulares formados por finos hilos metálicos, o por fibras animales o artificiales.

Para piezas relativamente pequeñas y en gran cantidad, de formas complicadas, se emplea tambor.

**6.12.1. El Arenado (O Chorreado Con Arena):** el chorreado es un método de trabajo en frío en el que la película de óxido superficial se eliminan por la energía que llevan partículas dirigidas hacia la superficie del metal a alta velocidad. Además de la acción decapante, producen un aumento en la resistencia a la fatiga y contribuyen a eliminar tensiones, con lo que se mejora la adherencia posterior. Las partículas pueden ser de arena silicea, almandina, dolomita, novaculita, piedra pómez, cuarzo de pedernal, alumina, sílice, escorias, etc.

El chorreado puede realizarse enviando al abrasivo mediante una rueda de paletas de giro rápido, o mediante un chorro de aire comprimido. En el chorreado húmedo las partículas son mas finas y están suspendidas en agua e impulsadas por aire comprimido. El tratamiento puede realizarse en cabinas para poder reciclar y recuperar el abrasivo. Con el chorreado húmedo, el grado de eliminación es menos drástico que con seco. El chorreado con corindón es el más aconsejable ya que no produce silicosis.

Por medio del chorreado con arena se logra una limpieza muy minuciosa, incluso en las rendijas más recónditas, no igualada por ningún otro procedimiento. Las piezas limpiadas por este procedimiento presentan una bonita superficie, muy uniforme, de tonalidades blanco - mate hasta gris, haciendo a la fundición incluso agradable a la vista.

Otra gran ventaja, tal vez la ventaja principal del chorreado abrasivo, es la eliminación de la capa periférica, que en toda fundición es muy dura y que, de eliminarse por procedimientos mecánicos, entrañaría un excesivo desgaste de herramientas. Según el modo de funcionar de las instalaciones de chorreado abrasivo existen tres sistemas, a saber:

**6.12.1.1 sistema de presión:** actúa por medio de aire comprimido. En él, la arena se somete a gran presión y desde allí conducida, a través de una manguera, o tubo metálico, hacia una boquilla de salida, por la cual sale a presión junto con el

aire. Las desventajas de este sistema son, en primer lugar, la pérdida elevada de presión por rozamiento y, en segundo lugar, como consecuencia de lo primero, el desgaste de las boquillas, que con frecuencia resulta muy elevado. Estando expuesta la boquilla se proyecta al desgaste, surge por ampliación de la abertura, un descenso de la presión.

**6.12.1.2. Sistema de absorción:** Es este sistema, la arena es absorbida de una tolva de almacenamiento por una corriente de aire, para mezclarse con el aire en una tobera de mezcla y salir, seguidamente, proyectada por una boquilla. En términos generales, este sistema se asemeja a los inyectores. En lo referente a su rendimiento, se halla algo en desventaja comparado con el sistema de presión; presenta, empero, menor desgaste, de manera que bajo ciertas condiciones esto llega a equilibrar su rentabilidad.

**6.12.1.3. Sistema gravitatorio:** El sistema de gravitación encuentra en todas partes viva aceptación por su enérgica acción y rentabilidad en el trabajo. La arena es llevada por su propio peso, es decir por la acción gravitatoria, a presencia de una corriente de aire, de modo que pasa a mezclarse con el aire comprimido justamente en el momento de entrar a la tobera. Dado que debe llegar a la tobera por su propio peso, es preciso elevarla previamente con un sistema de cangilones a una tolva de almacenamiento.

**6.12.2. Restregado O Limpieza En Tambor:** para piezas relativamente pequeñas y en gran cantidad, de formas complicadas, se emplea el tambor. Consiste en un recipiente cilíndrico de doble cono, de acero o fundición, revestido interiormente de caucho o madera que gira horizontalmente o verticalmente. Se añade un abrasivo, como arena, viruta de acero, óxido de hierro y de aluminio, etc. Un variante de este desbaste seco en tambor sería el método húmedo. Se consigue añadiendo una disolución de sílice en suspensión, sosa, cianuro sódico, carbonato, silicato, jabón y detergentes alcalinos.

Piezas colocadas en estado bruto, piezas de embutición de chapa negra o piezas de latón, adquieren con este restregado una brillantez típicamente metálica, o sea que quedan exentas de cascarilla, óxido y rebabas. Aunque generalmente es suficiente un tratamiento en seco con arenas de cuarzo no demasiado fina, se suele someter a las piezas a un baño diluido de ácido fosfórico, durante algunos minutos como operación previa al fosfatado.

El tratamiento por vía seca en los grandes barriles de restregado resulta siempre suficiente cuando, antes de ser llevadas las piezas al taller de galvanoplastia, requieren todavía algún mecanizado.

En el sistema de pulido por vía húmeda se utilizan solo tambores octogonales. La sustancia pulidora es a base de minerales preparados convenientemente en lo que su tamaño y forma se refieren. También aquí tras una carga acertada del

tambor, los llamados chips son llevados a pulir por su peso mediante la adición de agua saturada con diferentes productos químicos. Por ello, según sea la aplicación del sistema, también se pueden esmerilar, desbarbar y alisar. Como que las piezas que se hallan completamente enterradas en los chips y no poseen contacto mutuo, resulta que toda la presión de los minerales es aprovechada por el pulido.

Este sistema es práctico; únicamente las piezas de primera calidad requieren todavía un posterior pulido de acabado sobre disco para poder ser niqueladas con brillo.

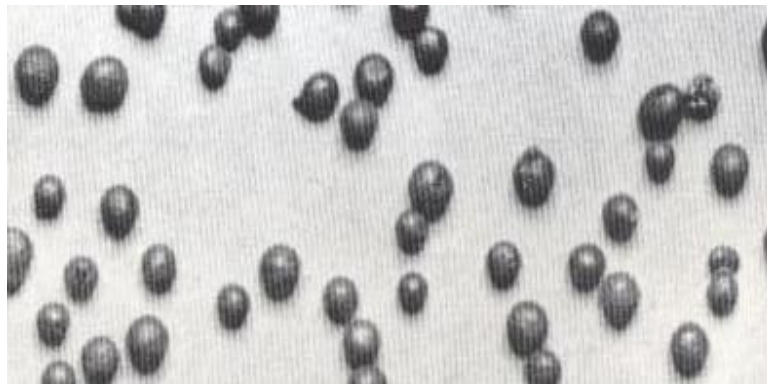
**6.12.3. Granallado:** la limpieza por chorro de perdigones o granallado, no es más que un es más que un método de trabajo en frío, por el que las fuerzas de compresión son inducidas en la capa de superficie expuesta de los objetos metálicos, por medio del choque de una corriente de perdigones, dirigida a la superficie del metal, a alta velocidad y bajo unas condiciones de control. Difiere de la limpieza por chorro en su intención primaria y en la protección de su control para producir así unos resultados exactos y con la posibilidad de reproducción. A pesar de que el martilleo por perdigones limpia la superficie que está siendo tratada, esta función es accidental, siendo su propósito primario el de aumentar la resistencia a la fatiga. El proceso tiene otras aplicaciones provechosas, tales como la de descargar la fuerza de tensión que contribuye al agrietamiento, la formación y consolidación de las piezas metálicas y la aceptación de la adherencia para cualquier tratamiento posterior, en las piezas metálicas.



Cuando las partículas individuales de un chorro de perdigones a gran velocidad entran en contacto con una superficie metálica, producen, en la misma, ligeras depresiones ovaladas, extendiéndolas radialmente y causando en el instante del contacto, el flujo plástico del metal de la superficie.

Los perdigones que se utilizan para el granallado son generalmente de acero o fundición, aunque también se empleen algunos materiales no féreos. De acuerdo con su tamaño, el perdigón se le designa mediante números.

**Figura 8. Aspectos de los perdigones.**



Dos son los procedimientos básicos que se emplean en la limpieza del granallado seco: a) Chorro mecánico en el que el abrasivo es arrojado por medio de una rueda con hojas (paletas) conductoras de fuerza y de giro rápido, y b) Chorro de aire, en el que el abrasivo es enviado a través de una boquilla por medio de aire comprimido.

**Tabla 5. Dimensiones De La Granalla De Alambre Troceado Según Norma SAE 3111**

TIPOS	CW-20	CW-23	CW-28	CW-32	CW-35	CW-41	CW-47	CW-54	CW-62
Diámetro en /m.	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,4	1,2	1,6

Un alto porcentaje de limpieza por chorro seco se hace mediante el uso de maquinas de cabina en las que una cámara alberga el mecanismo propulsor de abrasivos (turbina centrífuga o aire comprimido) manteniendo la pieza en lugar deseado. Las cabinas se pueden adquirir en una gran serie de tamaños, formas y tipos, para los diferentes requerimientos de limpieza, producción y manipulación de materiales. Las máquinas de cabina pueden ser destinadas a operaciones manuales, semiautomáticas, o completamente automáticas, para limpieza por chorro, de una sola pieza, grupos o piezas en cadenas. **Ver anexo F.** Selección De Abrasivos Metálicos Según El Metal A Granallar

### **6.13. TRATAMIENTO SUPERFICIAL DE METALES NO FÉRREOS POR EL PROCEDIMIENTO TROWAL**

El procedimiento de esmerilado y pulido Trowal posibilita la obtención de una superficie especular sobre el aluminio, bronce, magnesio, cobre, latón, plata y oro, lo cual es casi imposible lograr con el trabajo manual. Se asemeja a los procedimientos clásicos de pulido con tambor, pero en él se aplican, en tambores

octogonales, abrasivos de diferente tamaño de grano. El abrasivo es óxido de aluminio, que trabaja con dureza constante, de lo cual resulta una acción esmeriladora muy enérgica. No es necesaria la adición de ningún producto complementario a este abrasivo. Su propio peso es su gran ventaja, lo mismo que su gran dureza. Los abrasivos Trowal se suministran en diez tipos diferentes de grano. El tamaño medio del grano es para el tipo T 00 de 38 a 50 mm, y disminuye progresivamente, llegando a medir, en el tamaño 12, de 1 a 2 mm. En el tambor Trowal se pueden trabajar pequeñas cantidades de piezas, así como también grandes contingentes. En todo momento es necesario aplicar el abrasivo adecuado; así, para desbarbar y limpiar pequeñas piezas de estampación, se elige el T 00, mientras que en el pulido de piezas que requieren mayor precisión en las medidas es conveniente aplicar el T12. El tamaño de los tambores octogonales, revestidos interiormente de madera, se debe adaptar a la cantidad, así como también a la forma de las piezas que se desea tratar. El abrasivo debe ser elegido de manera que constantemente llene los espacios libres de las piezas; solamente así puede garantizarse que el pulido se extienda a todas las superficies.

Para alcanzar el máximo grado de pulido en el tambor, es necesario añadir de 2 a 4 volúmenes de abrasivo por un volumen de piezas. Con ello, a causa de la elevada presión abrasiva y su elevada acción de roce, el grado de pulido se va incrementando constantemente, quedando terminada la operación al cabo de una o dos horas. La carga conjunta del tambor abrillantador debe ocupar en todos los casos la mitad o las dos terceras partes de su capacidad interior. El agua que se

añade a la carga regula el grado de acabado del trabajo. Una reducción en la cantidad de agua acelera el proceso, pero la abrasión resulta más basta. Cuando se persiga la eliminación de rebabas de estampación o interese la desaparición de costuras de fundición, el volumen de agua se elegirá más bajo que cuando se desee un alto grado de brillantez.

El esmerilado de alta calidad requiere, en atención a ésta, un tiempo de producción considerablemente más elevado. Las piezas acabadas de pulir han de sufrir un proceso de secado, con un engrase posterior en caso de no ser inmediatamente galvanizadas. Para el engrase resultan muy eficaces determinados aceites con adición de parafina, que aíslan a las piezas completamente de la atmósfera una vez secos, lo cual permite, incluso, una verificación manual sin peligro de producir manchas.

No deben ser introducidas en el tambor piezas grasientas. Debiera ser además sabido por todos que cualquier sustancia de pulido complementaria ha de estar absolutamente exenta de grasa, para no lubricar. Las piezas acabadas de pulir requieren un lavado después de su extracción del tambor. Esto se hace en un tambor hexagonal u octogonal con poca agua y serrín limpio, que han de formar una espesa pasta. El tambor se deja durante cinco minutos en funcionamiento, echándose luego las piezas sobre un tamiz, para ser rociadas con agua. El serrín elimina el casi invisible velo grasiento, dejando listas las piezas para el secado y galvanizado.

Con el procedimiento Trowal pueden hacerse desaparecer lo mismo electrodeposiciones metálicas defectuosas que viejos recubrimientos de barnices. La única condición exigida para ello es que el tambor esté siempre exento de grasas.

#### **6.14. PREPARACIÓN DE LAS SUPERFICIES A NIQUELAR BAJO CIERTAS NORMAS PARA MATERIALES MÁS USADOS**

##### **6.14.1. Acero Bajo Contenido En Carbono (AISI 4130, 4140, 4340).**

- a) Efectuar un horneado previo de 2 ÷ 4 horas a 315 °C (opcional).
- b) Desengrase mecánico (opcional) dependiendo de la cantidad de óxido ó calaminas que pueda llevar el material y de las posibilidades de la instalación.
- c) Desengrase alcalino 82 °C especialmente estudiado para eliminar los restos de aceite. No utilizar productos que contengan silicatos.
- d) Decapado ácido. Ácidos fuertes (concentración mayor del 40 % en volumen) con inhibidores que eviten el ataque de la superficie. Temperatura ambiente.

e) Desengrase electrolítico. Temperatura desde ambiente a 82 °C dependiendo de la química del desengrase, debe ser quelatado. Hay que utilizar un sistema de inversión periódica de la corriente con acabado final anódico.

f) Niquelado

En piezas complicadas o tubos, el desengrase electrolítico puede no ser suficiente y se aconseja una activación ácida. No obstante, antes de llevar las piezas al niquelado se debe efectuar una neutralización alcalina de las mismas.

#### **6.14.2. Aceros Con Tensiones**

a) Efectuar un horneado previo de 2 ÷ 4 horas a 315 °C (opcional).

b) Desengrase mecánico (opcional) dependiendo de la cantidad de óxidos o calaminas que pueda llevar el material y de las posibilidades de la instalación.

c) Desengrase alcalino. Temperatura 82 °C. Especialmente estudiado para eliminar restos de aceite. Con preferencia no utilizar productos que contengan silicatos.

d) Desengrase electrolítico. Temperatura de ambiente a 82 °C dependiendo de la química del desengrase, debe ser quelatado. Utilizar sistemas de inversión periódica de la corriente. En caso de no usar P.R. utilizar desengrases con cianuro sódico.

e) Niquelado

Los ácidos deben evitarse a fin de que no se produzca adsorción de hidrógeno.

### **6.14.3. Fundiciones**

a) Efectuar un horneado previo de 2 ÷ 4 horas a 315 °C (opcional).

b) Desengrase mecánico (opcional) dependiendo de la cantidad de óxidos o calaminas que pueda llevar el material y de las posibilidades de la instalación.

c) Desengrase alcalino. Temperatura 82 °C especialmente estudiado para eliminar restos de aceite. Con preferencia no usar productos que contengan silicatos.

d) Desengrase electrolítico. Temperatura de ambiente a 82 °C dependiendo de la química del desengrase, debe ser quelatado. Utilizar sistema de inversión

periódica de la corriente. En caso de no usar P.R. utilizar desengrases con cianuro sódico. Acabado final anódico.

#### e) Niquelado

Los ácidos deben evitarse ya que pueden quedar ocluidos en los poros produciendo una oxidación rápida y una falta de adherencia.

**6.14.4. Aceros Con Alto Contenido En Carbono:** el ciclo utilizado es el mismo que en el caso de las fundiciones. Puede emplearse un decapado ácido pero controlando el tiempo de tratamiento, ya que largos períodos de inmersión en el ácido proporcionan una superficie rica en carbón que es muy difícil de eliminar. Este carbón puede producir posteriores problemas de adherencia.

#### **6.14.5. Acero Inoxidable.**

a) Desengrase químico. Temperatura 80 °C. Especialmente estudiado para eliminar los restos de aceites. Preferible que no contenga silicatos.

b) Decapado ácido. Temperatura ambiente. Ácidos fuertes (concentración mayor del 40% en volumen) con inhibidores.



c) Desengrase alcalino. Temperatura de ambiente a 82 °C dependiendo de la química del desengrase, debe ser quelatado. Utilizar un sistema de inversión de corriente. Final catódico. Controlar el ataque en fase anódica.

d) Activación ácida. Ácido clorhídrico al 50% en volumen.

e) Baño de níquel Wood.

f) Niquelado.

En el níquel Wood pueden ser necesarios ánodos internos para mejorar el poder de penetración.

#### **6.14.6. Aluminio.**

a) Desengrase químico. Temperatura 40 ÷ 50 °C. Especialmente estudiado para eliminar restos de aceites. No utilizar productos que contengan silicatos.

b) Decapado. Puede ser de dos tipos:

— Sistema alcalino. Temperatura 50 ÷ 60 °C. Ataca la superficie produciendo importantes modificaciones en las cotas del material.

— Sistema ácido. Temperatura 70 °C. Decapa perfectamente la superficie eliminando todos los óxidos. No modifica las cotas del material.

**Tabla 6. Perdida en Peso del Aluminio.**

Aluminio	<i>Pérdida en peso (mg/cm<sup>2</sup>)</i>	
	Ácido	Alcalino
2024	0,19	8,1
3003	0,13	10,6
5052	0,14	10,4
6061	0,14	9,4
7075	0,18	8,4

c) Zincato. Concentración 30 % en volumen. Temperatura ambiente. El zincato transforma la capa de aluminio en zinc.

d) Niquelado químico barrera. Baño de níquel químico alcalino pH = 9,5. Deposita 1 ÷ 2 micras de níquel y permite que la adherencia entre el aluminio, zincato y níquel químico sea perfecta.

e) Niquelado.

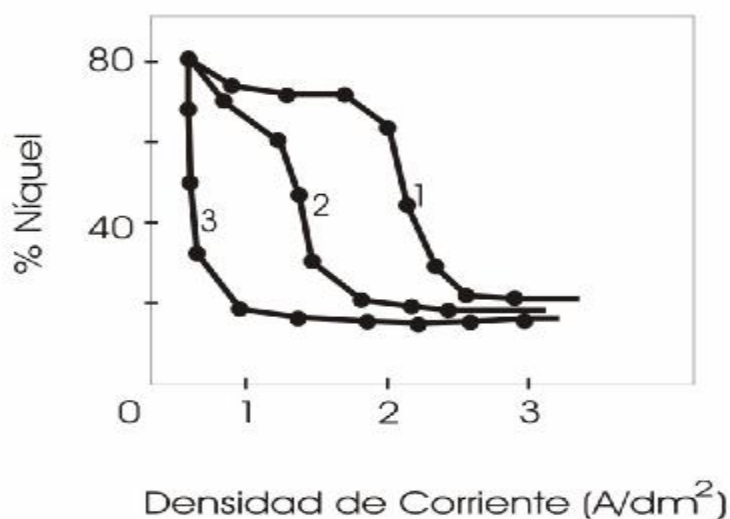
Hay numerosos materiales que pueden niquelar como son: titanio, magnesio, Berilio, cobre, latón, bronce, cobre al berilio, latón al plomo, níquel, aleaciones con alto contenido en níquel, plástico, cerámicos, otros no conductores, zinc y aleaciones. Todos ellos requieren un tratamiento especial de preparación.

## 7. TIEMPO ÓPTIMO DE INMERSION ELECTROLÍTICA

Las densidades de corriente aplicables pueden ser muy elevadas cuando estos baños se calientan hasta 50°C. El calentamiento es ventajoso para todos los baños de níquel destinados a la obtención de electrodeposiciones blandas, adecuadas para el cromado.

Pero no solamente se trata de la obtención de precipitados blandos, es decir, de recubrimientos de níquel pobres en hidrógeno, sino también de acelerar el proceso de precipitación. El fin primordial perseguido con la aplicación de elevadas densidades en electrolitos adecuados, es reducir los tiempos de producción.

**Figura 9. Tanto por Ciento de Níquel a Diferentes Densidades de Corriente**



La composición de los baños para altas densidades de corriente puede ser de lo

mas variable. Las condiciones generales exigidas en primer lugar son: una alta concentración de iones metálicos, contenido elevado de sales productoras de gérmenes, alta acidez y ánodos activos. En segundo lugar resulta imprescindible el uso de altas temperaturas; es decir, los baños deben ser calentados aproximadamente a 5 °C.

### 7.1. EQUIVALENTE ELECTROQUÍMICO

Es igual al peso atómico dividido por la carga del Ion. La cantidad de electricidad necesaria para hacer reaccionar un equivalente electroquímico se llama Faraday y es igual a 96500 Culombios.

El equivalente electroquímico del níquel es 0.0006084 gr. La cantidad de electricidad requerida para liberar un equivalente de níquel será el peso equivalente – gramo dividido por el equivalente electroquímico, esto es:  $58.71/0.0006084 = 96495 \approx 96500$  Culombios.

La cantidad e gramos depositados mediante el paso de corriente eléctrica viene dado por:

$$P = \frac{I \times t \times P_a / V}{96.500} R$$

Siendo:  $m = v \rho$  donde:

**V:** Volumen.

**$\rho$ :** Densidad del níquel (8.9 gr/ cm<sup>3</sup>)

**P:** Peso en gramos.

**I:** Intensidad en Amperios.

**P<sub>a</sub>:** Peso Atómico del metal depositado.

**V:** Valencia del Elemento.

**R:** rendimiento del electrolito.

A partir de esta formula podemos calcular el peso en gramos depositados y el tiempo necesario de deposición, sabiendo la intensidad de la corriente, la valencia del metal y el rendimiento del electrolito.

La unidad de corriente eléctrica es el Amperio (A), que representa la cantidad de corriente que en una hora deposita 2.19 gr. de níquel. La cantidad unitaria de electricidad se llama Culombio y se define como la cantidad de electricidad que fluye a través de una sección dada de un conductor en un segundo, cuando la corriente es un amperio. Culombio (C) = Amperio (A) x Tiempo (s).

La unidad de resistencia eléctrica es e Ohmio y es igual a la resistencia a 0°C de una columna de mercurio de 106.300cm de longitud, de sección uniforme (muy cercana a 1mm<sup>2</sup>) y que pesa 14.4521 gr.

La unidad de fuerza electromotriz es el voltio. Un voltio es la fuerza electromotriz requerida para mantener una corriente de un amperio a través de un conductor que tiene una resistencia de 1 ohmio.

En electroquímica se utiliza también el amperio – hora (A.h), que es la cantidad de amperios que pasan en una hora a través de una solución. Esta unidad de medida se emplea para dar una indicación del consumo de sales y abrillantadores de los baños galvanicos.

Otra unidad empleada en electroquímica es el kilowatio – hora (kW.h), unidad de potencia que es igual a:

$$kW.h = \frac{\text{Amperio} \times \text{Voltio} \times \text{Hora}}{1000}$$

La relación entre las cantidades fundamentales, corriente, resistencia y fuerza electromotriz es expresada por la ley de Ohm que enuncia: la intensidad de corriente I, es directamente proporcional a la fuerza electromotriz E, e inversamente proporcional a la resistencia R

$$i = \frac{E}{R} \quad \text{Amperio} = \frac{\text{Voltio}}{\text{Ohmio}}$$

Resumen de las unidades empleadas en la electrodeposición:

**Culombio:** Amperio x Segundo.

**Kilowatio:** 1000 watos.

**Voltio:** Amperio x Ohmio.

**Kilowatio-hora:** 1000 Watio .hora

**Watio:** Voltio x Amperio.

**Amperio-hora:** 3600 Culombios.

**Watio-hora:** Amperio hora x Voltio.

## 8. DEFECTOS QUE APARECEN DURANTE EL NIQUELADO

El más frecuente es la exfoliación o desprendimiento del depósito de níquel. Sus causas son: superficies metálicas con impurezas, tensiones eléctricas excesivas, temperaturas de baño insuficientes, contenido ácido demasiado alto o también superficies anódicas desproporcionadas con relación a la superficie de la pieza.

Las superficies con impurezas provocan infaliblemente el desprendimiento cuando se trabaja con baños fríos. Puede observarse, utilizando baños de níquel fuertes, que grumos de grasa milimétricos depositados sobre alguna pieza son rodeados de níquel adherente, surgiendo como pequeñas islas. El lugar que ocupa la mancha queda sin recubrir, y el níquel es propenso a desconcharse. Se puede decir entonces que de acuerdo a todo lo anterior el desengrase debe ser casi perfecto para poder evitar estas anomalías.

La tensión eléctrica excesiva también suele conducir al desprendimiento de níquel. No siempre ocurrirá este desprendimiento, y menos aún cuando se trabaja con electrolitos calientes. Ahora bien, el ahorro de energía calorífica para el caldeo de los baños puede repercutir en la adherencia de la deposición cuando las tensiones empleadas son algo elevadas.

Con los baños de níquel calientes, en especial los calentados hasta 50°C y a tensiones elevadas puede ser que sólo sufran un principio de quemado las esquinas y aristas. Sólo a tensiones eléctricas verdaderamente exageradas se provocará la exfoliación del níquel.

Un contenido ácido muy grande, preferentemente en baños fríos, es causa casi segura de exfoliación. Por lo tanto, es importante controlar la acidez prescrita en cada caso. Puede ser superior a lo normal cuando el baño que trabaja en frío se calienta fuertemente. Los baños de níquel fuertes y rápidos que se calientan a 50°C puede acidularse en PH2,4 sin tener desprendimientos. Si la temperatura desciende accidentalmente, tras pocos minutos de deposición, el desconchado será potente.

Es fácil observar ligeros desprendimientos de las capas de níquel depositado si los baños que contienen sustancias férricas, y en especial cuando trabajan a temperatura ambiente. Este defecto tiene por única corrección la eliminación del hierro. Para ello se calienta el baño hasta el punto de ebullición, se añade la solución de sosa hasta conseguir la alcalinidad total y luego, dejando continuar la ebullición, (agua oxigenada) al 3%. Tras agitar a conciencia el baño, se deja sedimentar. Al cabo de 24 horas puede recogerse el líquido claro, y el lodo del fondo, que contiene las partículas extrañas perjudiciales, se desecha. El baño, una vez filtrado, estará en disposición de ser llevado a la acidez correcta.



Otro tipo de desconchado es el que tiene por origen la formación de burbujas en el recubrimiento. Proviene, casi en su totalidad, de una sobrecarga de hidrógeno por desengrase electrolítico excesivamente prolongado. Las burbujas se observan con mejor detalle cuando hay que niquelar de nuevo sobre deposiciones de níquel. Ya durante el mismo desengrase puede examinarse la formación de burbujas.

También se observarán desprendimientos cuando sobre bases demasiado brillantes se depositan capas de níquel excesivas. Cabe perfectamente dentro de lo normal en niquelado de un milímetro y más, pero esto requiere una preparación especial de material base y también un baño adecuado.

Otro defecto muy desagradable, que solo debería presentarse en los baños de níquel fuerte, es la formación de "pittings" y "pinholes". Se presenta en el recubrimiento aislado o en grupo, diminutos puntos circulares, crateriformes o en forma de comas. Para evitar esos defectos se aconseja el empleo de agentes humectantes, o sea, productos preventivos de poros, en especial, sales de máximo grado de oxidación. El peróxido de hidrógeno es otro producto muy utilizado para tal fin, estos humectantes tienen un modo de actuar muy variable y complejo, según la composición del electrolito. Los baños de níquel brillante se añaden Nepal o Igepon.

También es posible la formación de depósitos grises por una densidad de corriente excesiva o por cierta basicidad del baño. Cuando el amperaje es

excesivo, las esquinas adquieren lentamente un tono oscuro que pasa a negro; pero cuando el baño es alcalino, la tonalidad gris permanece invariable. Es corriente que al extraer piezas del baño, puedan observarse como unas tenues arborescencias, en forma de helechos, sobre las mismas pero fácilmente eliminables con un suave frotamiento. Por otra parte se ha podido observar que estos recubrimientos al cabo de una hora, otros transcurridos varios días, presentan grietas, saltando después la capa por eclosión de pequeños cristales puntiagudos. El remedio consiste en acidular el baño, y en caso necesario, en mejorar la solubilidad del ánodo por adición de pequeñísima cantidad de sal común.

Cuando los recubrimientos de níquel brillante aparecen con zonas de metal base desnudos, ello indica que el baño se ha enriquecido fuertemente en sales plúmbicas. Estos baños defectuosos no admiten corrección alguna.

Los recubrimientos con franjas negras y partículas brillantes se producen tanto con baños de Zinc impurificados como los que contienen sales nítricas. Las sales nítricas no son perjudiciales cuando su porcentaje en los baños es mínimo. Cuando este porcentaje rebasa por descuido un límite prudencial, provoca la formación de franjas negras y el desconchado. La corrección se efectúa calentando durante dos horas el baño hasta la ebullición, dejándolo enfriar y añadiendo carbonado de níquel para lograr la acidez debida. El Zinc puede eliminarse dejando trabajar el baño durante dos a tres días a baja tensión y

limpiando luego los cátodos en una solución de ácido sulfúrico; o también añadiendo una solución de soda al baño y haciéndolo hervir. A continuación se filtra y acidula convenientemente.

### **8.1. DEFECTO EN SUPERFICIES NIQUELADAS Y SUS CORRECCIONES**

En el tratamiento posterior de las piezas niqueladas como: ligero achaflanado o enrollado, limado de aristas, taladrado de orificios y similares, puede desconcharse el recubrimiento. Esto debe atribuirse a que el desengrase ha sido inadecuado o bien a que la neutralización posterior ha sido débil. También es posible que exista una sobrecarga de hidrógeno en la pieza, debido a la temperatura demasiada del baño o un excesivo contenido de hierro en el electrolito.

Igualmente, un exceso de ácido junto con el hecho de estar fría la solución, provoca fuertes cargas de hidrógeno y como resultado, un recubrimiento poco elástico.

Los recubrimientos de níquel súper brillante exigen que las temperaturas máximas sean mantenidas rigurosamente, requiriendo también que las adiciones de abrillantes estén muy bien dosificadas. Si no se siguen estas indicaciones se obtienen recubrimientos indeformables una vez alcanzado cierto espesor.

El desconchado muy pronunciado al mecanizar algunas piezas niqueladas dan a entender que el níquel brillante no es adecuado para ellas. Estas piezas deben niquelarse en baño para recubrimiento mate.

La coloración amarillenta de los recubrimientos indica que el agua de cocción contenía impurezas, o bien que el recubrimiento es demasiado débil. Los recubrimientos gruesos no cambian de color. El niquelado demasiado lento indica falta de sales activadoras. En este caso debe medirse la intensidad de corriente con un catómetro, que puede adquirirse en el comercio especializado.

Si la densidad eléctrica no alcanza el valor previsto añádase cien a uno del baño 100 gramos de cloruro de níquel para conseguir la velocidad de deposición deseada.

El defecto de desconchado no se producirá si el contenido metálico, valor de la acidez y temperatura del baño se mantienen constante y no se intenta superar despreocupadamente la capacidad de trabajo real del baño.

Las piezas deficientemente preparadas como por ejemplo los tubos de acero, en ocasiones dobladas y soldadas sin sufrir un mecanizado, presentan a veces dificultades para el niquelado brillante, que deben atribuirse a la limpieza insuficiente. Puede obviarse esta dificultad y niquelar con gran brillo si dichas

piezas pasan previamente por una cocción de media hora en lejía de sosa al 20% y después por un ataque intensivo de ácidos.

Cuando los recubrimientos de piezas con cobreado intermedio, desengrasada en baño alcalino se desconchan de tal modo que el níquel y el cobre se desprenden conjuntamente, ello indica que el baño de desengrase carecía de suficiente cianuro potásico. Por cada cien a uno se añadirán entonces 100 gramos de cianuro potásico.

Cuando un recubrimiento de níquel obtenido en condiciones de deposiciones correctas resulta quebradizo y exfoliable al tratamiento mecánico, es señal que hay un acceso de hierro en el electrolito. Por lo general, esto sucede en el hierro que contienen los ánodos del níquel. Para evitar este inconveniente hay dos soluciones: la primera consiste en precipitar el hierro y la segunda en extraer parte del baño, que se completa con agua añadiendo la cantidad adecuada de sales níquelicas.

## **8.2. NIQUELADO DE RECIPIENTES CON REBORDES**

En la industria de los útiles caseros y de cocina existen diversos objetos rebordeados. Se ha comprobado, durante el niquelado la formación de franjas negras debajo de los rebordes, con tendencias a extenderse por una parte del objeto y provocar el desprendimiento del recubrimiento. Si tal sucede, es muestra

inequívoca de un desengrase previo defectuoso. Pero como resulta frecuentemente muy difícil, e incluso en ocasiones imposibles, llevar a cabo un desengrase perfecto, es mejor proyectar el reborde de manera que su curvatura no sea totalmente cerrada. Más tarde, una vez hecho el niquelado, se podrá terminar de cerrar sin peligro de que salte la electrodeposición.

Las piezas que presentan la formación de una suerte de rebabas deben extraerse del baño y depurarse con harina de piedra pómez. La omisión de esta operación conduciría al deterioro del recubrimiento durante el pulido o a su desprendimiento en el mismo baño. Estas rebabas se forman con preferencia donde hay lumbreras o taladros roscados, lo mismo que en ciertos rebordeados. La culpa de ello debe atribuirse a un desengrase insuficiente con bencina u otro hidrocarburo.

### **8.3. ELIMINACIÓN DE RECUBRIMIENTOS DE NÍQUEL DEFECTUOSO**

Todas las piezas de hierro y acero, latón y cobre, plata nueva y aleaciones de cromo, pueden desniquelarse del modo más seguro, por vía electrolítica en ácido sulfúrico de 66° Bé.

Watt y Elmore establecieron hace más de 80 años, que en éste ácido, el hierro y el acero no son atacados. Puede aceptarse también que prácticamente, el cobre y sus aleaciones no son atacadas por el ácido sulfúrico concentrado.

Para desniquelar todos estos metales es preferible, en primer lugar, eliminar de ellos las impurezas groseras, introduciéndolos seguidamente, una vez secados, en el baño de ácido sulfúrico sujetando las piezas con gruesos ganchos de cobre.

Para desniquelar se precisan como mínimo 5 voltios. Cuanta más alta es la tensión más alto es el desprendimiento de níquel, pero también deberán ser más gruesos los ganchos conductores que sujeten el material. Si la sección de estos es demasiado pequeña, al calentarse puede ponerse al rojo, y en caso de rotura el material caería al fondo del baño. La duración del desniquelado depende del espesor de la capa de níquel. Importa aproximadamente 30 minutos a 5 voltios para un recubrimiento de níquel de 0,03 mm de espesor.

El niquelado con ácido sulfúrico concentrado tiene la desventaja de requerir bastante tiempo para hacer desaparecer niquelados gruesos. Esta desventaja puede obviarse aplicando ácido sulfúrico rebajado a 55 Bé, pero debe contarse con que el material base será ligeramente atacado.

Una adición el volumen de agua, de sólo el 5%, incrementa extraordinariamente la velocidad disolvente, pero precisa un equipo extractor de vapores. Puede añadirse a los baños de desniquelar tartrato de cal disuelto en agua hasta la saturación, hasta alcanzar una concentración total de aproximadamente 48° Bé. Con ello se incrementa la acción del baño sin peligro de que las piezas sean atacadas.

Todos los baños para desniquelar con una concentración de ácido sulfúrico hasta 45° Bé poseen la misma propiedad molesta de atacar en mayor o en menor grado el acero. También las adiciones de ácidos clorhídrico, cloruro amónico y cloruro sódico conducen a al ataque del metal base. En ocasiones, cuando el acero es de excepcional calidad, la adición de ácido arsénico reduce este ataque. Su aplicación implica la formación de arseniuro de hidrógeno, pero esto debiera ser considerado como un factor secundario, ya que al preparar los baños con cianuro potásico se libera ácido prúsico sin que ello haga prescindir tampoco de su aplicación. Todo trabajo con el baño para desniquelar es muy nocivo para la salud. Un baño de estos, trabajando intensamente, libera grandes cantidades de gas hidrógeno con partículas de ácido sulfúrico, influyendo de un modo nocivo sobre la respiración, aún cuando no contenga rastro alguno de ácido arsénico.

Por otro lado, debido a que, aún con las mayores precauciones, siempre hay residuos ácidos que destruyen la vestimenta del operario, y si los contactos son defectuosos, la instalación llega a calentarse hasta tal grado que puede producir serias quemaduras al personal.

Los baños para desniquelar a 66° Bé no desarrollan grandes cantidades de gases. Para desniquelar cobres y sus aleaciones pueden diluirse el ácido en provecho de una mayor rapidez, con la adición de ciertas sales.



Los recipientes para desniquelar pueden ser de hierro o de losa. En cuanto a seguridad y limpieza, puede ser que las cubas de losas son más ventajosas.

El desniquelado es tanto más rápido cuanto mayor es la tensión. La densidad de la corriente crece con la tensión, y por lo tanto también deberá ser mayor la sección de construcción.

Por lo general se desniquela a 5 voltios grueso recubrimiento sobre hierro y latón que se eliminan completamente en 15 y 5 minutos, respectivamente. Debido a que durante el niquelado la acción de la corriente es más intensa en las aristas, lo que equivale a decir que el recubrimiento en estos lugares es de mayor espesor, también exigirá más tiempo para su eliminación que en las zonas interiores y cóncavas. Sólo cuando ha desaparecido todo el níquel se extrae el material del baño, por el contrario se someten a un ataque químico abrillantador, dejándolos secar luego. Hecho esto se bruñen y galvanizan nuevamente. El material de hierro y acero se esmerila, cepilla e igualmente, se galvaniza de nuevo.

La vida de un baño de desniquelar no es limitada si se considera a esta como la duración de la actividad disolvente. La mejor manera de controlar es medir la densidad del baño. En ningún modo es necesario desechar partes del baño para sustituirlo por ácido fresco; basta purificar el baño y los ánodos. Con la eliminación del pozo blanco se habilita tanto volumen para nuevo ácido, que el baño trabaja normalmente.

## **9. ENSAYOS ESPECIFICOS DE CORROSION PARA LOS REVESTIMIENTOS ELECTRODEPOSITADOS DE NIQUEL Y CROMO**

**9.1. B.S 1224 – 1959.** Esta especificación general sobre revestimientos de níquel y cromo electro depositados detalla unas pruebas de humedad / dióxido de azufre, rociado salino, especiales para estos revestimientos. Para esta propuesta se preparan las muestras desengrasándolas con disolventes orgánicos, si bien se acepta también tricloretileno como disolvente, frotando después con una tela.

**9.1.1. Prueba De Humedad / Dióxido De Azufre.** La especificación B.S, 1224 – 1959, detalla la prueba de corrosión acelerada de tipo no condensante como una de las pruebas de corrosión apropiadas para los siguientes extremos:

- § Revelar la discontinuidad en la capa de níquel mas cromo.
- § Descubrir la corrosión por picado, que depende en alto grado del espesor del revestimiento, y que es similar a la que se pueda producir por el “medio ambiente en servicio”.
- § Detectar u recubrimiento de cromo inadecuado. Con este procedimiento tambien puede detectarse cualquier agrietamiento en el depósito del cromo, pero esta no se considera como fallo de la muestra. La duración de la prueba, para revestimientos sobre acero, cobre, latón o zinc, sometida a

diferentes condiciones en el servicio, es de 6 horas para las condiciones suaves, 16 horas para las condiciones moderadas, y 24 horas para las severas.

**9.1.2. Prueba De Rociado Salino:** La especificación B.S, 1224 – 1959 admite la prueba de rociado salino como una prueba de corrosión que abarca un amplio margen de condiciones tales como: concentraciones de sal de 3.5 o 20%; temperaturas entre 15 y 25 °C, y pulverización intermitente continua en una cámara de rociado, pero sin dejar secar la muestra durante la prueba. La densidad de la niebla se especifica como 1.2 – 2 ml / hora sobre 80 cm<sup>2</sup> (12in<sup>2</sup>) de superficie horizontal, siendo la duración de la prueba, para revestimientos de acero electrolgalvanizado o aleaciones de zinc, 16 horas para condiciones de servicio suave, 48 para las moderadas y 96 para las severas.

**9.1.3. ASTM – B117-61: Pulverización (Niebla) Salina:** esta prueba esta proyectada para metales no férreos y férreos, con o sin revestimiento orgánico. Si las muestras han de limpiarse abrasivamente antes de la exposición, solo debe utilizarse pasta de magnesio puro. Para preparar las muestras que lleven un revestimiento no metálico, que puedan añadirse hasta el substrato para simular un baño mecánico, debe consultarse la norma ASTM – D609. Se recomienda cera ceresin para revestir los bordes cortados, etc.

Con este sistema las muestras, por regla general, se cuelgan o apoyan dentro de la cámara a 15 – 30 °C paralelas al flujo horizontal de la niebla, de modo que se evite tanto la interferencia de las muestras entre si, como el impacto directo de la pulverización. La solución se utiliza solo una vez, y contiene cloruro sódico al 5%, libre de níquel y cobre, y menos de un 3% de impureza total, en agua que contiene menos de 200ppm de sólidos disueltos. El pH (después de la atomización) debe ser 6.05- 7.02, y el dióxido de carbono se puede eliminar calentando, o se puede ajustar el pH mediante aire limpio a 10-25lb/in<sup>2</sup>.

**9.1.4. Prueba De Rociado Salino Ácido:** la norma B.S 1224-1959 indica esta prueba como una de las pruebas de corrosión con las mismas indicaciones que en la norma B.S 1615- 1961, pero la duración de la prueba con aleación de zinc y acero electrodepositado se indica en 8.32 y 72 horas para recubrimientos previstos para condiciones de exposición suaves, moderadas y severas. Esta prueba tiene por objeto:

- § Revelar las discontinuidades en los revestimiento de níquel (mas cobre) y cromo.
- § Formar un tipo de corrosión similar a la de en servicio.
- § Revelar discontinuidades en las capas o depósitos de cromo, si bien no muy marcadas por el producto de corrosión.

## **9.2. ASTM-B 287-61: PUEBA CON PULVERIZACIÓN SALINA – ACIDO ACETICO.**

Esta norma se ha proyectado para los mismos fines que B117 pero sin embargo difiere en que en esta prueba la solución se acidifica hasta un pH 3 – 3.1 mediante adición de ácido acético al 1%, debiendo ser el pH de una muestra de pulverización recogida de 3.1 – 3.3; las muestras deben limpiarse después de la exposición, lavándolas con agua a temperatura superior a 38 °C (100 °F) ayudando, si es necesario, mediante un buen cepillo.

## **9.3. PRUEBA CORRODKOTE**

La norma ASTM – B380 – 61T indica el procedimiento a seguir para probar la resistencia a la corrosión del cromo decorativo electrogalvanizado y especialmente piezas recubiertas con cuproníquel – cromo y níquel – cromo. Para llevar a cabo el procedimiento, se disuelven en 50 ml de agua 0,035 gramos de  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , 0,165 gramos de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  y 1 gramos  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , agregándose luego 30 gramos de caolín lavado con agua y agitado a continuación para dejarlo pasar después durante 2 minutos, pero mezclándolo y agitándolo bien de nuevo antes de utilizarlo. La pasta así formada se aplica con un cepillo a las muestras previamente limpiadas con un disolvente, procurando que queden completamente cubiertas, dejándola secar luego durante una hora a la temperatura ambiente y menor que 50% HR. Las muestras se limpian con agua caliente por medio de una esponja, y

si es necesario con una pasta de trípoli acuosa. Antes del examen final se pueden detectar los puntos de falla por exposición durante 4 horas en roseado salino (ASTM – B117) o durante 24 horas a 38 °C (100 °F / 100% HR).

**9.3.1. Prueba Cass ASTM – B368 – 61T:** Esta especificación detalla la prueba de roseado salino con ácido acético acelerado con cobre. Es empleada principalmente con los revestimientos decorativos de cromo – níquel sobre piezas fundidas a presión de bajo Zinc y de acero. La prueba en sí es similar a ASTM - B287 excepto en lo siguiente: antes del ajuste del PH se añade a la solución 1% de  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; las muestras de metal con revestimiento metálico deben limpiarse adecuadamente; los revestimientos decorativos deben limpiarse inmediatamente antes de probarlos, frotando bien con una mezcla pastosa de 10 gramos de magnesia en 100 ml de agua destilada, con un estropajo, hasta que la superficie de la muestra presente una superficie continua de agua. La temperatura debe mantenerse a  $49 \pm 1$  °C (120 °F) y la densidad de la niebla debe ser 1,2 – 2,5 ml / h por  $\text{dm}^2$  de superficie. Los periodos de exposición recomendados para este proceso oscilan en un intervalo de 16 a 720 horas.

#### **9.4. PRUEBA ELECTROLÍTICA**

Pierce y Pinner idearon una prueba electrolítica para determinar la susceptibilidad de los revestimientos de níquel aplicado, para prueba que tiene su origen en los

trabajos de Evans y Shon. Con este procedimiento, el recipiente que actúa de celda consiste en un tubo de lucita adherido a la muestra por medio de una unión impermeable (esponja de caucho); las muestras se exponen a una extensión de 12 in<sup>2</sup> de superficie a una solución de 3% de cloruro de sodio y sal rochelle, en cantidad suficiente como para mantener en la solución todo el hierro disuelto durante la prueba. Dentro de la solución se sumerge como cátodo una cuna de alambre de cobre aplicándose durante 4 horas (depende del grosor del níquel) una DP de 300 mv a la temperatura ambiente. A continuación se lava y se seca la muestra, y se somete a un minucioso examen para detectar la perforación del níquel; si el substrato es férrico al lavar la muestra con una solución de ferrocianuro, se mostrarán claramente las perforaciones.

Hay que tener gran cuidado de eliminar, antes de la prueba el cromo electrodepositado que pueda haber sobre el níquel, ya que ello alargaría el tiempo requerido para la misma. Los resultados obtenidos con este procedimiento se correlacionan bien con los obtenidos mediante pruebas paralelas de servicio sobre automóviles.

#### **9.5. ALEACIONES DE NÍQUEL**

Se aplica aleaciones molibdeno y níquel molibdeno cromo para determinar su susceptibilidad. Para ello, se sumergen las muestras en ácido clorhídrico al 10%

durante 24 horas, y luego se curvan sobre un mandril antes de llevar a cabo la inspección visual.

## **9.6. NORMAS ISO SOBRE CORROSIÓN EN PIEZAS CON RECUBRIMIENTO METÁLICOS**

**9.6.1. ISO 4540:** Recubrimientos metálicos. Recubrimientos electrolíticos respecto al metal base. Clasificación de las probetas recubiertas electrolíticamente, medidas a ensayos de corrosión.

**9.6.2. ISO 6988:** Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos no orgánicos. Ensayo al dióxido de azufre con condensación general de la humedad.

## **9.7. COMPARACIÓN DE PRUEBAS**

En el estudio general de estas pruebas, se ha subrayado la dificultad de correlacionar los resultados obtenidos con las pruebas aceleradas, con la experiencia en servicio, especialmente sobre bases cuantitativas, debido a la variabilidad del medio ambiente; por eso se juzga más convenientemente valorar las pruebas de laboratorio con respecto a las características del metal electrodepositado que predomina en la respuesta a la prueba. Los ejemplos siguientes ilustran las características predominantes en las pruebas con revestimiento de cromo – níquel:



1. Prueba de dióxido de azufre: La continuidad del cromo, grosor y continuidad del níquel.
2. Prueba de roseado salino, acidificado: El grosor y continuidad del cromo, y el grosor y especialmente la continuidad del níquel.
3. Prueba de roseado salino: La continuidad del níquel y el cromo, pero mucho menos que en las pruebas que representan atmósferas industriales.

Los efectos de estas pruebas no necesitan ser forzosamente los mismos que los que se dan en servicio, si bien pueden servir para predecir el comportamiento del metal en servicio, aunque esto no podrá requerir en algunos casos la acumulación de resultados obtenidos en varias pruebas. No se debe, sin embargo, prolongar la prueba más allá de la fase correspondiente, ya que ello puede conducir a una gran dificultad de interpretación de los resultados. Para los revestimientos decorativos se prefiere generalmente la inspección visual a las pruebas gravimétricas o ensayos de tracción.

Las pruebas de roseado salino / ácido acético utilizada a 16 °C (62 °F) con acero niquelado, y fundiciones a presión de base Zinc, así como aleaciones de aluminio anodizado, se aproximan mucho más a los resultados de la exposición rural industrial que la prueba de dióxido de azufre. Se ha especificado a sí mismo que una temperatura elevada en el roseado salino ácido corte el tiempo requerido para las pruebas comerciales de control, sin desventaja alguna aparente para el óxido y

la garantía de los resultados. **Ver anexo G.** Comparación De Las Pruebas Aceleradas Para Acabados Decorativos

Los datos hasta ahora disponibles sobre estas pruebas aceleradas indican que tanto para las pruebas rutinarias como para el desarrollo satisfactorio del trabajo se aconseja el uso de una combinación de pruebas, y que es necesario considerar para cada una de las pruebas como una búsqueda de datos particulares de la corrosión, más que como medio para representar un tipo determinado del medio ambiente en el servicio.

#### **9.8. CLASIFICACIÓN DE LA CORROSIÓN SEGÚN LAS PRUEBAS**

Los resultados de las pruebas de corrosión sobre metal electrodepositados se dan, normalmente, por medio de números de clasificación a fin de dar a los trabajos publicados una longitud razonable, pero los sistemas de deducción de esos números de clasificación están sujetos en alto grado a factores personales, lo cual indudablemente constituye una dificultad al relacionar la comparación de diferentes técnicas de exposición, publicadas por diferentes investigadores. También método empleado para limpiar las muestras después de la exposición y antes de la valoración constituyen una variable importante.

La sociedad americana de electrogalvanizadores recomienda clasificar el fallo

debido a la aparición de herrumbe (con substrato férrico), o producto de corrosión blanco (procedente del substrato de aleación de Zinc) como sigue:

**Tabla 7. Clasificación De La Corrosión.**

Número de clasificación	Extensión del fallo
5	Ninguna
4	0 – 10 % del área
3	10 – 30 % del área
2	30 – 70 % del área
1	70 – 100 % del área

Así mismo recomienda la inspección del proceso en intervalos de 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 y 192 horas. El número de índice de revestimiento se obtiene sumando los 8 números de clasificación y multiplicando el producto por 2,5 para obtener el intervalo total de 20 – 100. La variación real entre las muestras repetidas será mayor que el error experimental que surja del procedimiento de prueba.

En el método ASTM para describir la corrosión de los revestimientos electrodepositados se utilizan los siguientes:

**Tabla 8. Símbolos Para Describir La Corrosión De Los Revestimientos Electrodepositados**

<b>R</b> , corrosión del metal base tipo permanente o masivo.	<b>S</b> , manchas distintas a los productos de corrosión del metal base.
<b>Rs</b> , mancha debida a la corrosión del metal base, que se puede eliminar por medio de un abrasivo suave aplicado a una superficie sana y brillante.	<b>Sp</b> , picaduras en la superficie que probablemente no alcanza el metal base.
<b>B</b> , ampollas.	<b>F</b> , formación de escamas del depósito.
<b>C</b> , grietas.	<b>Z</b> , cuarteaduras.
<b>E</b> , borde.	<b>W</b> , pies de cuervo.
	<b>g</b> , general.

El grado de extensión del R, Rs, S, Sp y F se clasifica como sigue:

vs muy ligera	<i>i</i> intermedia o moderada
s ligera	<i>x</i> excesiva

Descripción de B se clasifica como sigue:

<i>s</i> < 0,5 mm diámetro	<i>/</i> 5 – 25
<i>l</i> 0,5 – 2,0 mm	<i>c</i> 10 – 25
<i>x</i> > 2,0 mm	<i>m</i> 22- 50
<i>vf</i> 5 o menos	<i>vm</i> > 50

El porcentaje de superficie corroída se clasifica como se indica en la tabla con ayuda de las gráficas sacadas de las fotografías de muestras corroídas típicas y que tengan áreas corroídas como las que se dan en la columna final de la tabla. Se ha propuesto como ensayo, una modificación del sistema. **Ver anexo H.**

Clasificación Del Área Corroída ASTM

En el método del área compensada ASTM el porcentaje de superficie de cada tipo de defecto se valora con la ayuda de esas gráficas y se multiplica por un factor de peso apropiado del cual se dan a continuación los siguientes ejemplos:

Formación de ampollas 2,0	Mancha moderada procedente del revestimiento 0,02 – 0,05
Corrosión punta de alfiler 1,0	Mancha ligera del revestimiento 0,01
Agrietamiento 1,0	Picado de la superficie (ligero) 0,01
Mancha de corrosión del metal base 0,1	Picado de la superficie (grave) 0,1

El número de clasificación se deriva de la suma de las áreas compensadas, individuales.

## 10. PROPIEDADES OBTENIDAS POR PIEZAS SOMETIDAS AL NÍQUELADO ELECTROLÍTICO

### 10.1. UNIFORMIDAD

El espesor depositado con una solución de níquel electrolítico es el mismo en toda la superficie de la pieza.

**Figuras 10. Depósitos De Níquel**



**Figuras 11. Comparación De La Uniformidad Del Depósito Del Níquel Y Cromo**

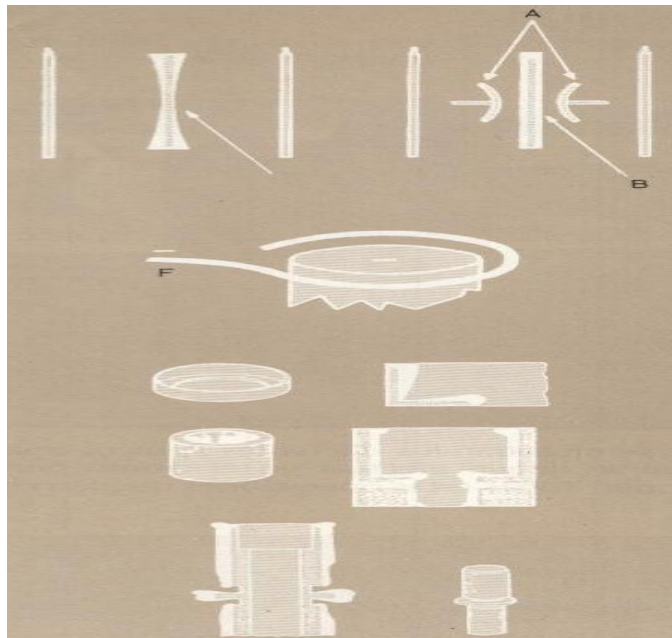


Esta característica evita un tiempo importantísimo de preparación de los materiales a tratar ya que con el cromo duro (baño que compite con el níquel

electrolítico en cuanto a dureza) se deben realizar apantallamientos si se quieren obtener depósitos uniformes.

En la figura siguiente se muestra los diferentes tipos de apantallamientos y protecciones que se deben efectuar en el cromo duro para obtener depósitos uniformes. Todas estas operaciones eliminadas con el níquel electrolítico.

**Figura 12. Apantallamientos Efectuados Con Cromo Duro**

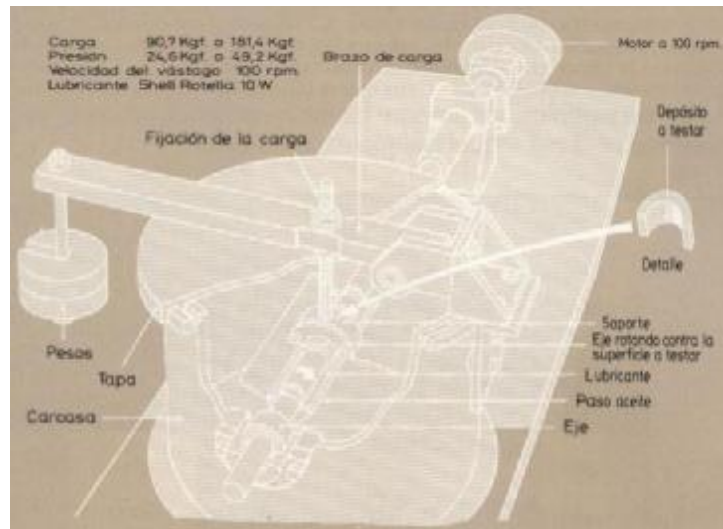


## 10.2. RESISTENCIA AL DESGASTE

El depósito de níquel electrolítico tiene una gran resistencia al desgaste. Esta resistencia se mide mediante los sistemas: Crossed cylinder y Taber.

Crossed cylinder test: este test consiste en calcular el desgaste que se produce entre un casquillo tratado con recubrimiento a ensayar y un vástago que va dando vuelta a 100 rpm.

**Figura 13. Crossed Cylinder Test**



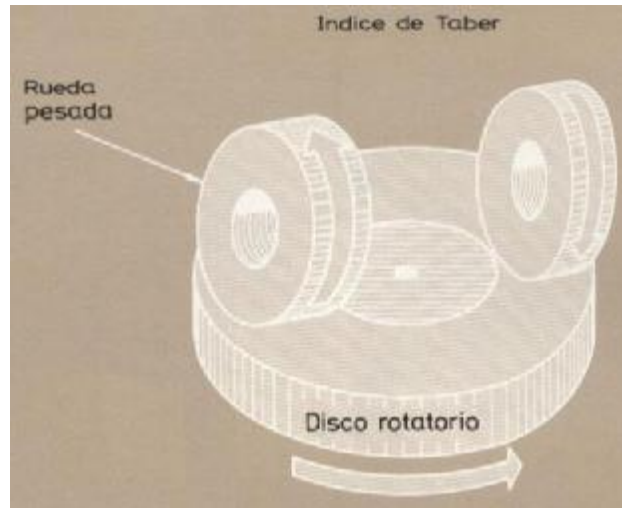
Sobre este casquillo se pueden aplicar cargas estándares de 90,7 kgf o 181,4 kgf. El ensayo se efectúa con un aceite estándar 10W y unos tiempos determinados : 140 a 160 horas o bien 664 horas. Una vez terminado el ensayo se comprueba el desgaste producido en el casquillo tratado con el recubrimiento a comprobar y el desgaste producido en el vástago.

Índice de taber: Otra forma de comprobar el desgaste de las capas de niquelado es este método. Este ensayo consiste en un disco rotatorio por el que se hace deslizar dos ruedas tratadas con níquel previamente pesadas. Después de un número determinado de ciclos, normalmente 1000, se vuelven a pesar las



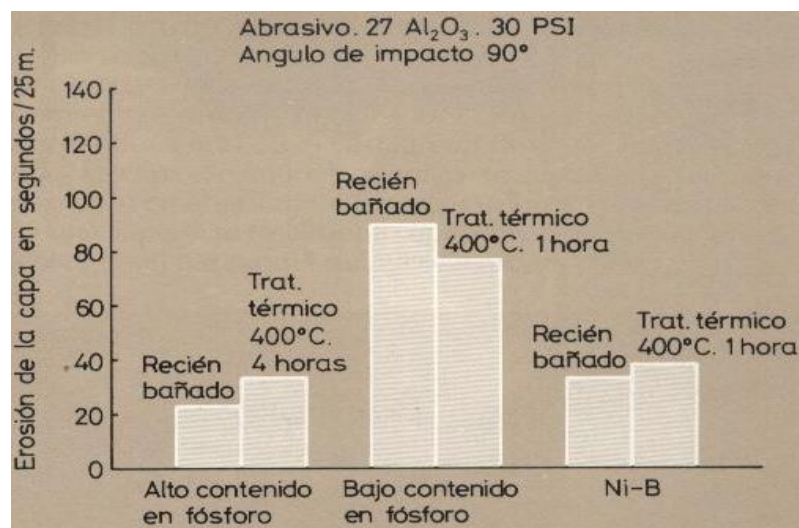
ruedas y se determina su pérdida en peso. El resultado de esta pérdida se da en miligramos por cada 1000 ciclos.

**Figura 14. Metodo de Taber para Comprobar el Desgaste del Níquel**



### 10.3. RESISTENCIA A LA EROSIÓN

**Figura 15. Resistencia a la Erosión de Diferentes Capas de Níquel**

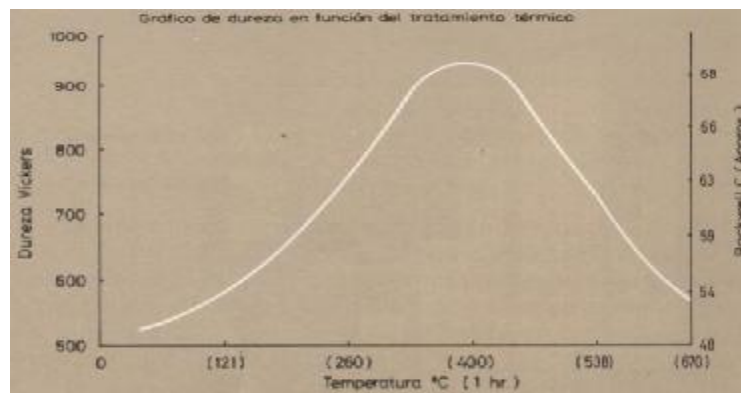


El depósito del níquel fósforo con bajo contenido (1 a 2%) ofrece una excelente resistencia a la erosión, siendo superior a otra capa de níquel fósforo de mayor contenido en fósforo en incluso a las de níquel boro.

#### 10.4. DUREZA

LA capa de níquel recién depositado tiene una dureza entre 550 y 750 Vickers dependiendo del tipo de baño. Después de un tratamiento térmico la dureza aumenta entre 900 y 1300 Vickers, ello es debido a una reestructuración de la capa de níquel que pasa a fosforo de níquel  $\text{NiP}_3$ .

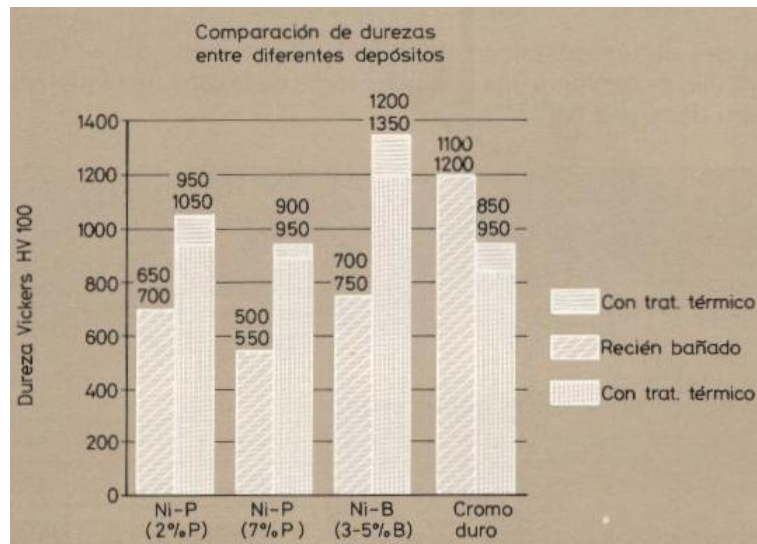
**Figura 16. Dureza del Níquel en Función del Tratamiento Térmico**



En la figura anterior se observa el aumento de dureza en función de la temperatura. La máxima dureza se obtiene a 400°C y se observa una inflexión a partir de dicha temperatura.

En la figura siguiente indica los distintos valores de durezas para algunos depósitos de níquel, con tratamiento térmico y sin él, en comparación con el cromo duro.

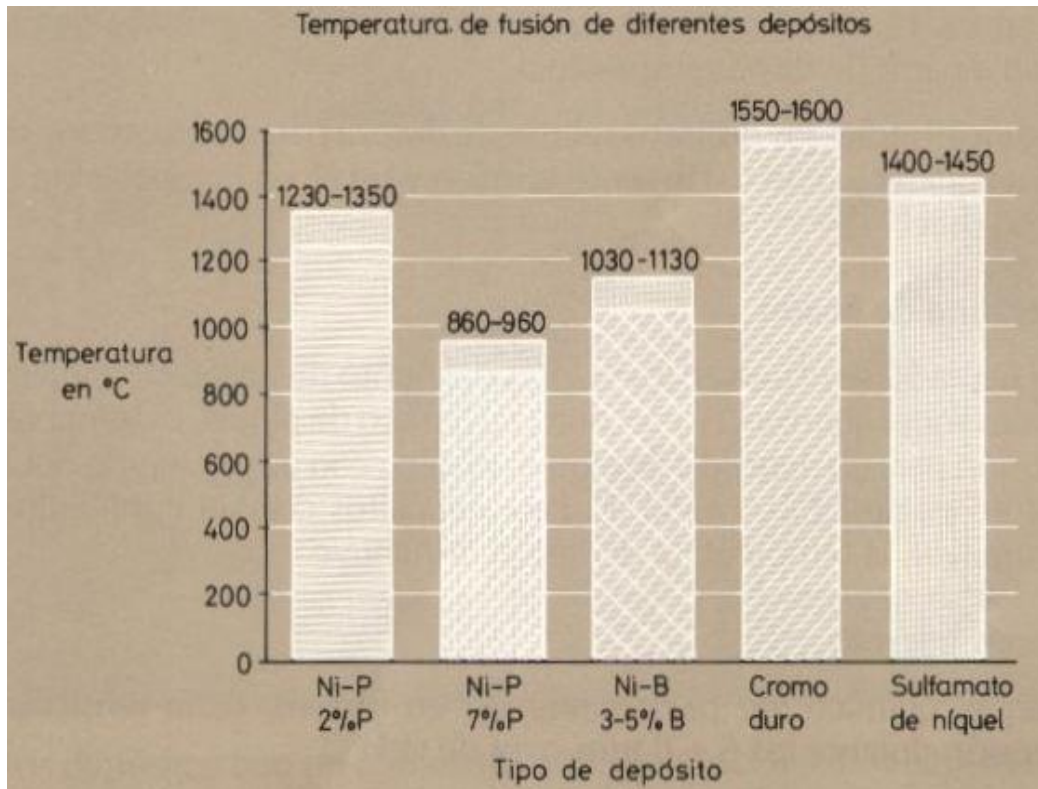
**Figura 17. Valores de Dureza Para Algunos Depósitos de Níquel y Cromo Duro, Con Tratamiento Térmico y sin el**



## 10.5. TEMPERATURA DE FUSIÓN

En la figura siguiente se observan los valores del punto de fusión de diferentes baños de níquel, cromo duro, sulfamato de níquel. La temperatura de fusión para un depósito de níquel con un contenido del 2% de fósforo es entre 1250 y 1350°C. Para depósitos con un contenido en fósforo mayor, la temperatura de fusión disminuye.

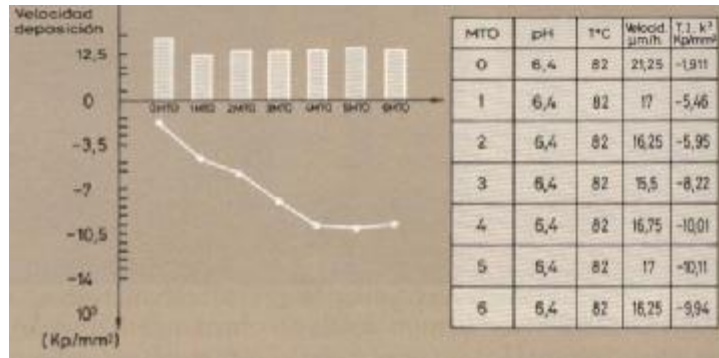
**Figura 18. Temperatura De Fusión De Diferentes Depósitos**



### 10.6. TENSIONES INTERNAS

El niquelado de bajo contenido en fósforo tiene tensiones a compresión durante 6 a 8 turn-over de vida. Esta propiedad es muy importante para la industria aeronáutica ya que la exigencia de calidad es muy severa. La figura siguiente se muestra las variaciones en las tensiones internas en función de la edad del baño en MTO, la velocidad de deposición, la temperatura y el pH.

**Figura 19. Tensiones Internas De Los Depósitos De Níquel En Función De La Edad Del Baño, La Velocidad De Deposición, La Temperatura Y El Ph.**



### 10.7. RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

Los recubrimientos de níquel tienen una excelente resistencia a la corrosión debido a que el espesor depositado es el mismo en toda la pieza tratada.

### 10.8. PROPIEDADES ESPECIALES DEL NÍQUEL PARA LA INDUSTRIA ELECTRÓNICA

**MAGNETISMO:** El níquel con alto contenido en fósforo (más del 10%) es no magnético. Esta característica la mantiene incluso a temperaturas por encima de 275°C. Con contenidos más bajos de fósforo, las capas recién niqueladas son ligeramente magnéticas pudiendo aumentar este magnetismo después del tratamiento térmico.

**SOLDABILIDAD:** La mejor soldabilidad se obtiene con las piezas recién

niqueladas. La soldabilidad directa sobre piezas niqueladas y almacenadas puede traer problemas debido al óxido superficial, por lo que es conveniente utilizar flujos de soldaduras cuando se presente este problema.

### 10.9. ESPESORES NORMALES DE UTILIZACIÓN DE NÍQUEL ELECTROLÍTICO (en mm) SEGÚN LAS CONDICIONES DE SERVICIO

**Tabla 9.a. Resistencia a la Abrasión / Erosión**

Condiciones de Servicio			
	Bajas	Moderadas	Severas
- Abrasión	12,5 a 25	25 a 50	50 a 100
- Abrasión / Erosión	12,5 a 25	25 a 50	50 a 100

**Tabla 9.b. Resistencia a la Corrosión**

Condiciones de Servicio			
	Bajas	Moderadas	Severas
- Superficie Lisa	7,5 a 20	12,5 a 37,5	25 a 75
- Superficie Rugosa	12,5 a 25	25 a 50	50 a 75

**Tabla 9. c. Decoración**

Condiciones de Servicio			
	Bajas	Moderadas	Severas
- Superficie Lisa	2,5 a 12,5	-	-
- Superficie Rugosa	7,5 a 25	-	-

**Tabla 9.d. Desgaste**

Condiciones de Servicio			
	Bajas	Moderadas	Severas
- Resistencia	5 a 17,5	5 a 17,5	5 a 17,5
- Soldabilidad	1,25 a 12,5	-	-
- Barrera de Difusión	1,25 a 12,5	-	-

Dentro de los baños de níquelado podemos distinguir dos tipos:

Grupo A: Baño de níquel conteniendo entre 6 y 8 % en peso de fósforo. Estos depósitos se obtienen a partir de soluciones que contiene abrillantadores, así como sulfuros que actúan de estabilizadores. Este tipo de baños tienen una resistencia baja a la corrosión y por el contrario tienen una buena resistencia a la abrasión.

Grupo B: Baño de níquel contenido más del 9% en fósforo. Estas soluciones no contienen sulfuros como estabilizadores. Los depósitos ofrecen una alta resistencia a la corrosión, buena resistencia a la abrasión, excelente características de elongación y bajas tensiones.

Grupo C: Baños de níquel que contienen entre 1 y 3% de fósforo o entre 3 y 5% de boro. Estos depósitos tienen una excelente resistencia a la abrasión / erosión.

En condiciones moderadas o severas de corrosión se puede aplicar una capa intermedia con un baño del Grupo B y posteriormente una capa del Grupo C.

**Tabla 10. Recomendaciones Desacuerdo Con Las Condiciones De Servicio**

Condiciones de Servicio	Tipo de depósito	Nota Adicional
Bajo desgaste. Condiciones de deslizamiento, normalmente con lubricantes.	A, B	1
De moderado a desgaste se-vero. Condiciones de deslizamiento con altas cargas y velocidades altas. Lubricante presente.	A, B, C	2, 3, 4
Desgaste severo. Alta vibración velocidades altas.	A, B, C	3, 4
Abrasión media Superficies no lubricadas	A, B, C	1, 3
Abrasión de moderada a alta	A, B, C	2, 4
Erosión alta velocidad: partículas que impactan con diferentes ángulos.	A, B, C	1, 4
Baja fricción.	A, B	1
Antigripado.	A, B, C	1, 3

**10.9.1. Notas Adicionales: Desgaste, Abrasión, Erosión.**

1. El tratamiento térmico no es requerido normalmente pero puede emplearse.
2. El tratamiento térmico es comúnmente recomendado a fin de aumentar la dureza y reducir el desgaste y la abrasión.



3. El tratamiento térmico se debería efectuar hasta aproximar su dureza a la del material no tratado. Diferencias altas de dureza puede provocar el rápido desgaste del material no tratado.
4. Las capas de Tipo C (tanto recién niqueladas como con tratamiento térmico) dan una mejora en la resistencia al desgaste, abrasión y erosión, comparadas con los Tipos A y B.

La selección de capa C depende de la parte que debe ser procesada y de coste del Ni – B.

**Tabla 11. Selección De La Capa De Níquel Para Aplicaciones De Resistencia A La Corrosión.**

Condiciones de servicio	Baja			Moderada		
	–Condiciones atmosféricas → –Media humedad –Medio alcalino suave –La capa está expuesta al aire industrial no agresivo.			–Condiciones atmosféricas –Alta humedad –Baja temperatura –Servicio de inmersión en álcalis o en procesos de ataque suave.		
Acabado de la superficie	Espesor	Depósito recomendado	Nota adicional	Espesor	Depósito recomendado	Nota adicional
Superficie lisa o pulida $\bar{1}150\text{ rms}$	$7,5 + 20\ \mu\text{m}$	A,B,C	1,2	$12,5 + 37,5\ \mu\text{m}$	A,B	2,6
Superficie rugosa arenada $\bar{1}150\text{ rms}$	$12,5 + 25\ \mu\text{m}$	A,B,C	2	$25 + 50\ \mu\text{m}$	A,B	2,6
Material tratado mecánicamente con cubetas, etc.	$17,5 + 25\ \mu\text{m}$	A,B,C	2,3,4	$25 + 50\ \mu\text{m}$	A,B	2,3,4,6
Fundiciones	$17,5 + 25\ \mu\text{m}$	A,B,C	2,3,4	$25 + 50\ \mu\text{m}$	A,B	2,3,4,6

### **10.9.2. Notas Adicionales Para El Uso De Níquel En Aplicaciones Anticorrosivas.**

1. Ciertas piezas, como elemento de la industria electrónica, utilizan capas muy delgadas (1,25 a 5  $\mu\text{m}$ ) con el fin de protegerlas de la corrosión atmosférica y humedad.

Estos espesores varían en función del tipo de material a proteger y de las condiciones de trabajo.

2. La elección del depósito Tipo B reduce la porosidad de la capa y mejora la resistencia a la corrosión incluso a bajos espesores, lo que lo hace útil para muchas aplicaciones.
3. Piezas cuya superficie no puede ser normalmente lisa y exenta de poros.
4. La porosidad puede ser reducida y la resistencia a la corrosión mejorada usando técnicas adecuadas.
5. El tratamiento térmico para incrementar dureza puede ser beneficioso para reducir la abrasión.

El tratamiento térmico no debe pasar los 300°C a fin de evitar el microcracking. Se pueden aplicar capas finales del Tipo C a fin de evitar el tratamiento térmico.

- El empleo de capas del Tipo C puede ser de resistencia superior al B en ciertas aplicaciones, como por ejemplo la fabricación de sosa cáustica, proceso altamente corrosivo.

**Tabla 12. Notas Adicionales Para El Uso De Níquel En Aplicaciones Anticorrosivos**

Condiciones de servicio	Severa			Severa con abrasión			Aplicaciones marginales		
	Condiciones atmosféricas → con periódicas o constantes emisiones de álcalis o ácidos. ej.: producción de gas-petróleo, industria química			Idénticas condiciones a las de severa, pero pero con la posibilidad de que partículas puedan erosionar la capa.			Ej.: Minería En ácidos minerales		
Acabado superficial	Espe-sor	Depós. reco-mendado	Nota adicio-nal	Espe-sor	Depós. reco-mendado	Nota adicio-nal	Espe-sor	Depós. reco-mendado	Nota adicio-nal
Superficie lisa o pulida < 150 rms	25 + 75 μm	B	6	50 + 100 μm	B	6	50 + 100 μm	B	—
Superficie rugosa arenada > 150 rms	50 + 75 μm	B	6	50 + 100 μm	B	5,6	75 + 100 μm	B	—
Material tratado mecánicamente con cubetas etc.	50 + 75 μm	B	3,4,6	50 + 100 μm	B	3,4 5,6	—	—	—
Fundiciones	50 + 75 μm	B	3,4,6	50 + 100 μm	B	3,4 5,6	—	—	—

## **11. APLICACIONES TÍPICAS DEL NÍQUELADO**

### **11.1. NIQUELADO DE INSTRUMENTOS QUIRÚRGICOS**

En el niquelado de instrumentos quirúrgicos debe prestarse especial atención a la obtención de adherencia de calidad extraordinaria, y también a evitar que las aristas y esquinas se quemen. Además, es aconsejable, durante la inmersión, conseguir el total aprovechamiento de la superficie de la solución electrolítica.

El baño más adecuado es el compuesto a base de ácido cítrico, cuando hay que reparar instrumentos quirúrgicos, es decir, cuando requieren de nuevo un niquelado, la capa antigua debe eliminarse sin dejar el más mínimo residuo. A continuación de un pulido normal se pasa al niquelado.

### **11.2. NIQUELADO DE PATINES DE HIELO, CUCHILLERÍA Y SIMILARES**

En el niquelado de patines de hielo, solo se debe recubrir muy débilmente la superficie de deslizamiento, para evitar que con el uso se desprenda el níquel y arrastre consigo en de las superficies laterales. En atención a esto, la inmersión de los mismos se hará de modo que la superficie corte el nivel del baño. De este modo se consigue la formación de un precipitado muy delgado que, como es

lógico suponer, sufrirá un rápido desgaste con el uso, pero preservará la exfoliación del níquel depositado lateralmente.

Todo lo indicado para el tratamiento de instrumentos quirúrgicos vale para el tratamiento de cuchillos, tijeras, tenedores y cucharas. Todas las partes fuertemente perfiladas deben rehuir un niquelado intenso. Por ello deberá estar expuesta a un densidad de corriente lo más uniforme posible, lo cual se consigue utilizando depósitos para niquelar en los que el material pueda reposar protegido.

Es absurdo aplicar a los cuchillos un niquela grueso, pues únicamente influye en sentido negativo sobre la capa del corte del filo, además de favorecer la exfoliación por arrastre. Es mejor preparar tales piezas con un pulido de gran calidad para que el depósito de níquel llegue a ser brillante. Siempre que se trate, en el caso de tenedores y cucharas, de producciones muy económicas, el mejor niquelado será el de tambor, por lo general, estos instrumentos también de pulen previamente en tambor. Los compartimientos, tanto para pulir como para niquelar, deberán tener dimensiones tales que permitan la rotación del material.

### **11.3. NIQUELADOS DE MANIPULADO DE ALAMBRE DE TODOS LOS TIPOS**

Además de los radios de bicicletas y tirantes de planchas protectoras, existe una infinidad de piezas hechas de alambre que deben niquelarse. La distancia anódica a de ser siempre controlada cuando se trate de piezas grandes de alambre, en

excitación de posibles quemaduras en los salientes pronunciados de las mismas. El varillaje de alambre, incluso el provisto de bisagras, puede colgarse muy apretadamente, sin separación mayor de 3 cm. Si los goznes requieren el recubrimiento en todas sus partes visibles, a media operación se moverán sus articulaciones.

Las piezas como imperdibles, alcayatas, ojetees o similares deben cerrarse antes del niquelado, para evitar su enredo mutuo los manipulados de alambre muy intrincados hacen necesaria su sujeción, con alambre de atar por los extremos, antes de introducirlos en el tambor, también todos los manipulados de alambre requieren una preparación adecuada antes del niquelado para que este sea brillante. Dado que esta preparación no puede conseguirse manualmente se utilizaran tambores de pulido. Estos giran a 30 rpm trabajando con algunos de los muchos líquidos de pulir que se hallan en el comercio o bien con 2 Kg de sosa cáustica y 0,5 Kg de cianuro potásico, junto con un puñado de serrín. Al cabo de media hora de pulido resulta perfecto. Basta vaciar luego el tambor en un tamiz para el enjuague con agua fría; a continuación el material se niquela durante una o dos horas en el tambor. Hecho el niquelado, puede sacarse también, el tambor, lleno de serrín. Otras aplicaciones típicas son enunciadas en el **anexo I**. Otras Aplicaciones Típicas Del Niquelado.

## 12. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

### 12.1. DESECHOS GENERADOS POR LA GALVANOPLASTIA.

Las aguas residuales galvánicas constituyen uno de los desechos industriales inorgánicos de gran poder contaminante por sus características tóxicas y corrosivas. Las características tóxicas se deben a las concentraciones normalmente elevadas de cianuros y metales pesados. Además, la elevada acidez y alcalinidad confieren al desecho un fuerte poder corrosivo. Ahora bien, se pueden agrupar estos desechos en dos categorías principales:

**12.1.1. Desechos Concentrados:** que son periódicamente descartados de pequeños volúmenes y están constituidos por las soluciones desengrasantes, decapantes y los baños de electrodeposición agotados.

**12.1.2. Desechos Diluidos:** que son continuamente descartados de grandes volúmenes y están principalmente conformados por las aguas de enjuague del proceso.

Las aguas residuales de los baños galvánicos desengrasantes (operación de limpieza alcalina), no solo contienen reactivos químicos del propio baño (sales, hidróxido de sodio o potasio, emulsionantes orgánicos y tensoactivos), sino también jabones, producto de la saponificación de las grasas desechadas de la superficie de las piezas que provienen de la operación de pulido.

En los desechos de la operación ácida (baños galvánicos decapantes o desoxidantes) contienen ácido sulfúrico, clorhídrico, nítrico o sus sales, así como también una apreciable concentración de metales como resultado de la disolución metálica de las piezas de trabajo.

Por último las aguas residuales de los procesos de electrodeposición contienen sales metálicas, ácidos, álcalis y varios otros compuestos empleados en el control del baño. Los revestimientos metálicos incluyen principalmente el cromo, cobre, níquel, zinc, cadmio, estaño, además de sodio, calcio, hierro, e hidrógeno ; y aniones como : cianuros, nitratos, sulfatos, sulfitos, sulfonatos, carbonatos, fosfatos, fluoruros, cloruros, artratos, y oxidrilos.

## **12.2. EFECTOS DE LAS AGUAS RESIDUALES GALVANICAS**

El riesgo de contaminación de las aguas residuales galvánicas y el tratamiento necesario para su disposición segura depende de las sustancias químicas presentes (muchas de ellas son significativamente tóxicas al ser humano y a otros organismos), de su concentración y volumen, de las posibilidades de contacto humano, y de su comportamiento en el medio ambiente después de su disposición. Así se tiene:

**12.2.1. Cianuros:** El efecto letal aumenta con la disminución del pH, con el aumento de la temperatura (un aumento de 10° C puede duplicar o triplicar la acción letal), y con la disminución de la concentración de oxígeno disuelto. Las concentraciones letales por inhalación son de 150 ppm por 30-60 min., y en



concentraciones de 500 ppm por pocos min. La dosis letal por ingestión es de 2-5 mg/Kg de peso corpóreo.

**12.2.2. Níquel:** Afecta los procesos vitales. Las sales de níquel (principalmente el níquel carbonílico) son tóxicas. En plantas terrestres, concentraciones mayores que 50 mg/Kg de peso seco son tóxicas. Tiene poca capacidad de bioacumularse en peces.



## **13. PRACTICA DE LABORATORIO SOBRE EL NIQUELADO DE SUPERFICIES METALICAS**

### **13.1. OBJETIVO GENERAL**

Realizar el niquelado electrolítico sobre una placa metálica de acero 1020, aplicando la teoría sustentada en los capítulos anteriormente descritos, de tal forma que, podamos obtener una pieza niquelada, apta para servicios de ambientes corrosivos moderados y con un aspecto decorativo.

### **13.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Evaluar las propiedades de dureza en la pieza, antes y después del recubrimiento.
- Calcular la masa necesaria de deposición en el recubrimiento.
- Calcular y evaluar el tiempo óptimo para realizar la deposición.
- Comparar una pieza niquelada mediante el procedimiento adecuado con otra niquelada sin decapar.

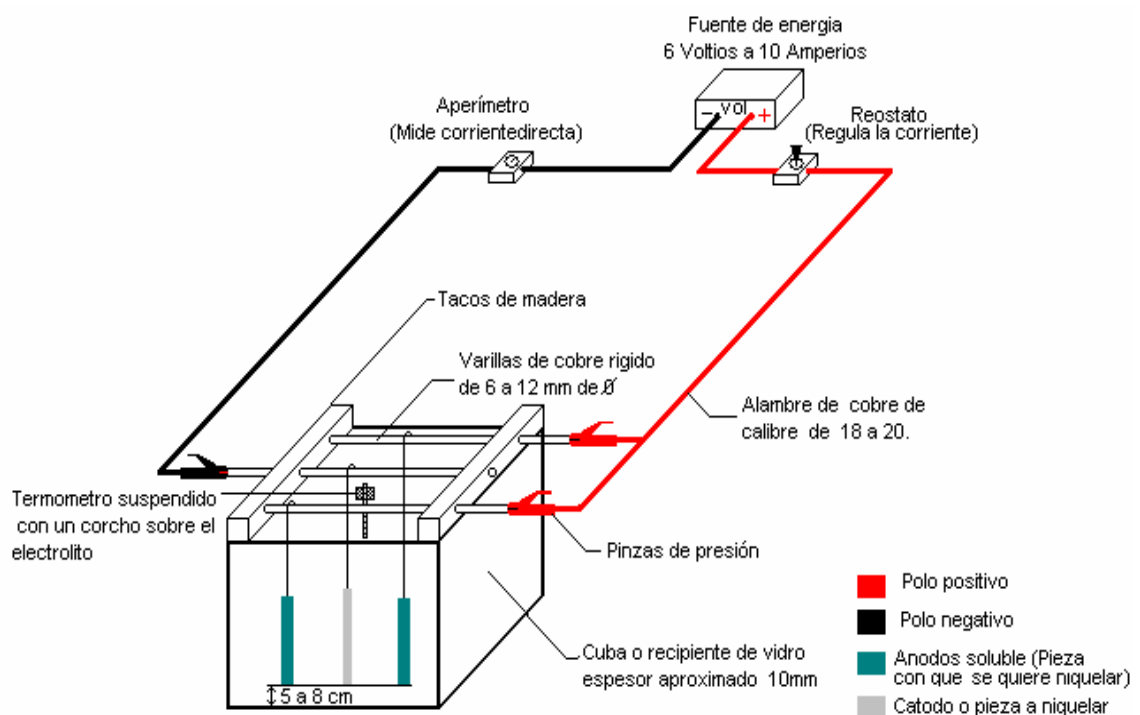
### **13.3. DESCRIPCION DEL EQUIPO BÁSICO**

#### **13.3.1. Listado de Insumos y Utensilios:**

- 20 Lt de agua destilada.
- 50 gr/ Lt de cloruro de níquel.
- 300 gr/ Lt de sulfato de níquel.
- 35 gr/ Lt de ácido bórico.

- 4% en proporción de ácido clorhídrico.
- Cal viva jabón en barra.
- Equipo de protección personal.
- Termómetro de laboratorio.
- Un calentador o resistencia eléctrica.
- Ánodos: placas de acero inoxidable (13\*6\*0.3) cm.
- Cátodo: placa de acero 1020 (10\*7.5\*0.6).
- Recipiente de vidrio, capacidad 16 Lt. (28\*25\*30).
- Una fuente de corriente continua de amperaje variable.
- Cables de conexión eléctrica.
- Amperímetro.
- Un reóstato.
- Dos tacos de madera de 35 cm de largo.
- Durómetro.

### 13.3.2. Descripción del Circuito:

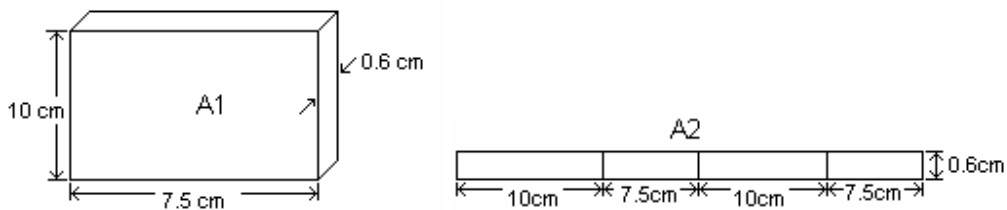


### 13.3.3. Cálculos Correspondientes:

#### Datos:

- $t$ : ?.
- $r$ : 8.902 gr/cm<sup>3</sup>.
- $I$ : 5 Amps.
- $X$ : 0.0006084.
- $e$ : 80%.

Para condición severa de corrosión espesores de 25μ a 50μ. Escogemos 30μ.



$$A_1 = 2(7.5 \times 10) \text{ cm} = 150 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = (35 \times 0.6) = 21 \text{ cm}^2$$

$$m = r_{\text{niquel}} \times V \Rightarrow V = A_{\text{total}} \times \text{espesor requerido}$$

$$V = (171 \text{ cm}^2)(0.03 \text{ cm}) \Rightarrow V \equiv 0.513 \text{ cm}^3$$

Es el volumen de deposición

$$\sum A = 171 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{Área a recubrir}$$

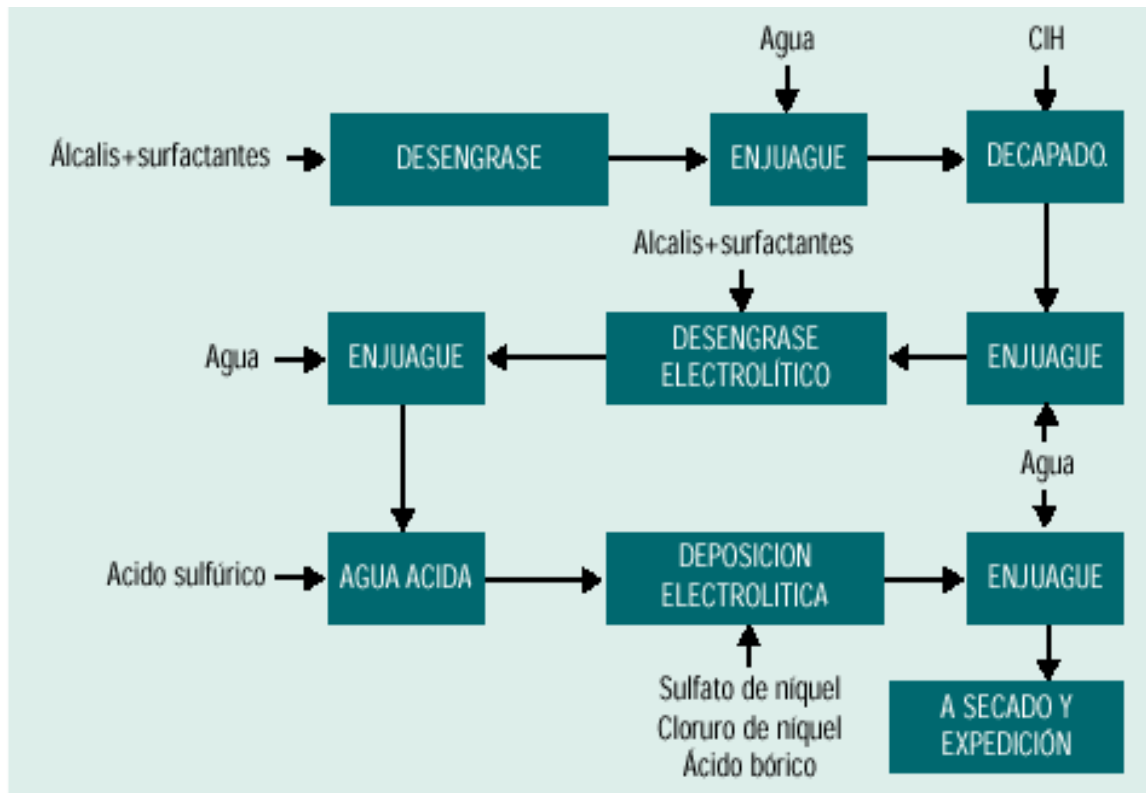
$m(8.902 \text{ gr/cm}^3)(0.513 \text{ cm}^3) \Rightarrow m = 4.566726 \text{ gr}$  Masa de níquel a depositar en la superficie de la pieza.

$$t = \frac{m}{I \times X \times e} = \frac{4.566726 \text{ gr}}{5 \text{ Am}} = \frac{4.566726 \text{ gr}}{5 \text{ Amp} \times 0.0006484(0.8)} = 1876.53 \text{ seg}$$

$t = 31.16 \text{ min}$ . Tiempo de duración del proceso de inmersión electrolítica



### 13.4. Diagrama de Ejecución de Procesos del Laboratorio:



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez cumplidos los objetivos propuestos, procedemos a describir los principales aspectos que durante el desarrollo de la investigación y en la realización de la práctica de laboratorio se hicieron evidentes. Tales, son partes fundamentales del proceso de deposición electrolítica del níquel, y además se convierten en los puntos claves de partida, en función de que se cumplan los parámetros de funcionamiento para la eficiente ejecución del proceso como son:

- Preparación de las superficies (pulido, desengrase y decapado).
- Concentración de las sales y abrillantadores en el electrolito.
- Superficie anódica Vs catódica suficientes.
- Densidad de corriente.
- Temperatura de la ejecución del proceso.
- pH del electrolito.
- Movimiento o agitación del electrolito.
- Pureza de los reactivos e impurezas en el electrolito.
- Continuidad en la emisión de corriente (amperaje y voltaje constante).
- Tiempo de ejecución del proceso.

Consideramos que la práctica de laboratorio fue una experiencia agradable, donde tuvimos la oportunidad de comparar la dureza de la probeta antes de la práctica, la cual fue de 77.13 ROCKWELL B y mejoró hasta 79.53 ROCKWELL B después de niquelada. También pudimos reconocer nuestras deficiencias teóricas con respecto a



las prácticas y creemos necesario posteriores realizaciones de este laboratorio con la colaboración de la Universidad Tecnológica de Bolívar, para poder acceder a métodos y recursos que faciliten un mejor estudio en las propiedades obtenidas por las piezas niqueladas como por ejemplo equipos de medición para espesores de película.

A continuación presentamos una serie de recomendaciones que complementan la información descrita en este manual y que además ayudan a evitar posibles fallas, proporcionando una opción de mejora en la ejecución de la forma y orden de los procesos; asegurando que, el niquelado electrolítico de superficies metálicas se pueda realizar garantizando su mayor efectividad, llevando a cabo el siguiente orden lógico de pasos:

- Se deben quitar de las superficies a tratar todas las partículas sobrantes en su conformación o hechura. Esto se logra mediante el pulido mecánico (esmeril, pulidoras, papel de lija, etc.). El cuidado en la realización de este paso se refleja en la textura final de la pieza.
- Seguidamente, la pieza debe lavarse con jabón. En este segundo paso se inicia la eliminación de la grasa presente en la superficie.
- Luego, se procede a pulimentar la pieza con papel de lija de granos finos ( lijas de 320 en adelante), con el fin de dar a la superficie un aspecto brillante y de mejor acabado. En este momento se debe verificar la eliminación total de cualquier partícula presente en la pieza que impida la buena adherencia de los iones metálicos de níquel, como el caso de pinturas u otros.

- Inmediatamente se frota la pieza con cal viva y agua. Este paso elimina totalmente la grasa presente en la superficie, por tanto, a partir de este instante se debe tener sumo cuidado de tocar la superficie con la yema de los dedos u otros que contaminen con grasa el objeto a niquelar.

Hay que anotar que cada vez que se realicen uno de los pasos anteriores y los que se describen a continuación, la pieza debe enjuagarse con abundante agua corriente.

- El paso siguiente es la eliminación total de los óxidos presentes en la superficie, sumergiendo la pieza en ácido clorhídrico diluido en agua en proporciones normales. Hay que tener cuidado de no exponer por mucho tiempo la pieza en la solución debido a que podría sufrir corrosión; basta con verificar visualmente que los óxidos han desaparecido.
- Posteriormente y luego de enjuagar la pieza se repite el paso de frotar con cal la superficie, a manera de descontaminación final. Enseguida se sumerge en el electrolito para dar inicio al proceso de electrodeposición del níquel.
- El proceso debe ser realizado en un lugar o área de buena ventilación, iluminación y con todas las normas y precauciones de seguridad descritas en el manual.
- Se recomienda que la preparación del electrolito se realice con algunas horas de anticipación (preferiblemente el día anterior y si son varias piezas, una semana antes). Antes de sumergir la pieza este debe ser calentado hasta la temperatura estimada de trabajo (60°C).

- Los contactos y partes del circuito deben verificarse asegurando su buen funcionamiento.
- Para dar inicio a la electrodeposición, la corriente y amperaje que se ha calculado para trabajar debe ser suministrada lentamente en forma regulada durante los primeros minutos.
- Es muy importante durante la realización del proceso la agitación moderada del electrolito, que se puede realizar moviendo la pieza (cátodo) o inducirse por algún medio externo.
- La colocación de los ánodos con respecto al cátodo debe ser uniforme y paralela a la superficie que se quiere recubrir.
- Durante todo el proceso los parámetros de temperatura y emisión de vapores deben ser controlados.
- Una vez cumplido el tiempo de deposición, se retira la pieza del electrolito y se enjuaga con abundante agua corriente.
- Al utilizar ánodos solubles estos deben tener una pureza del 99.99%.
- Al utilizar las cestas de titanio no deben sobrepasarse tensiones de más de 8 o 9 V; a fin de evitar el ataque y corrosión de las cestas.
- Los valores altos de pH producen precipitados y polarización anódica, mientras que pH bajos pueden producir una pobre deposición.

## BIBLIOGRAFIA

ALEXANDRE J Maurin / Manual de Anticorrosion / Bilbo España, Ediciones Armó, 1966; Capitulo 23, Pág. 556

F.A Champion / Ensayos de Corrosión / Bilbao España, Ediciones Urmo, 1970; Capitulo 13, Pág. 338-424

G FONTANA Mars – GREENE Norbert D. / Corrosion Engineering / New York, USA, Mc Graw Hill Book Company, 1978; Capitulo 6.

LESUR ESQUIVEL, Luis / Manual de Recubrimientos Metálicos: Una Guía Paso a Paso / México D.F. , Editorial Trillas, 1995.

MOLERA SOLA, Pere / Recubrimiento de los Metales / Colección Productiva No. 33, Marcombo Editores, 1990.

MOLERA SOLA, Pere / Recubrimiento de los Metales / Colección Productiva No. 35, Marcombo Editores, 1990; Pág. 97-100.

NEELY, John M. E. / Metalurgia y Materiales Industriales / México, España, Venezuela, Limusa Noriega Editores; Pág. 23.

ORTEGA MAIGUEZ José Antonio / La Corrosión Industrial / Barcelona España, Marcombo Boixareu Editores, 1990; Paginas 23-40.

R. L. Timing / Tecnología Mecánica Procesos y Materiales / Representaciones y Servicios de Ing. S.A. México; Pág. 94.

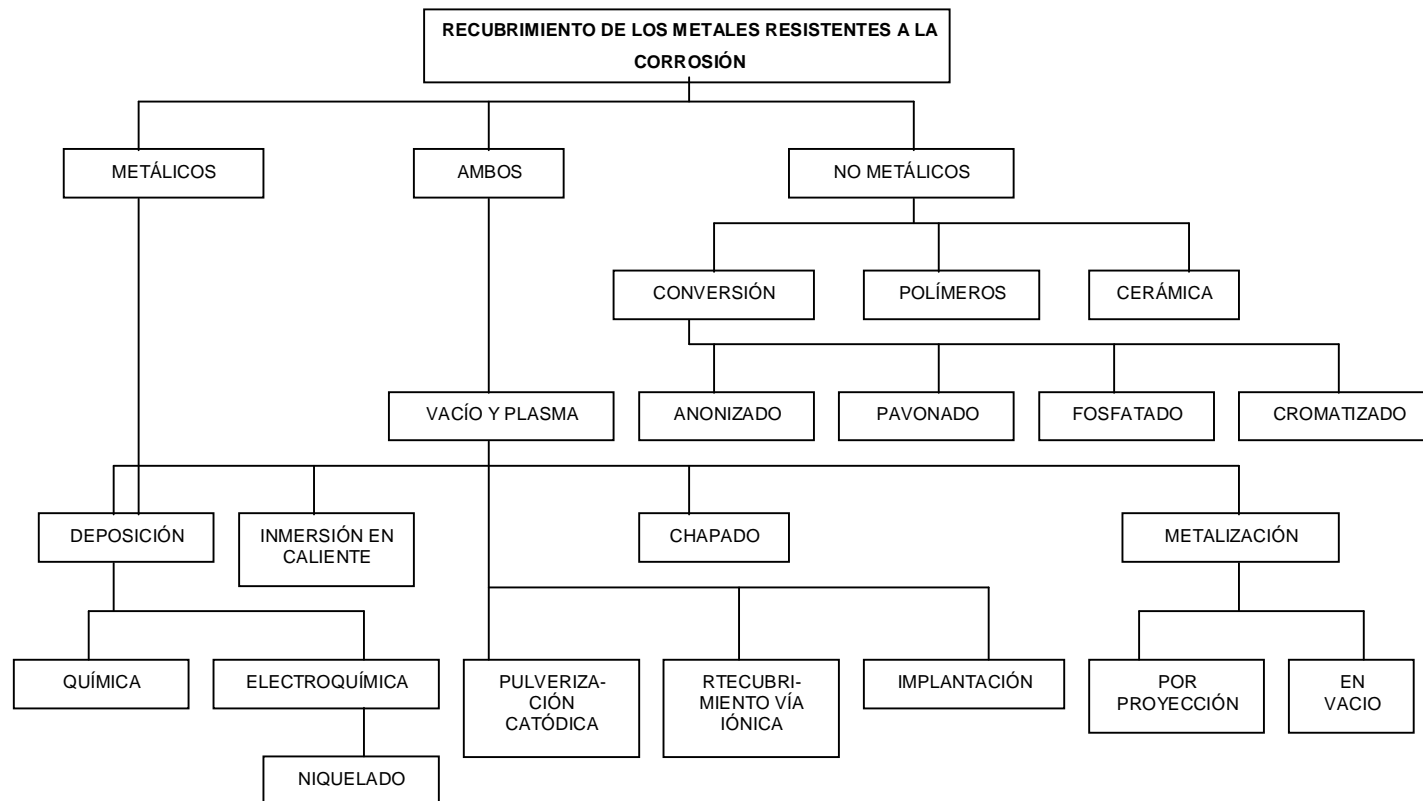
W. J. Ellis / Ingeniería de Materiales / Representaciones y Servicios de Ingeniería S. A México. Capitulo 3, Pág. 67.

[www.argento.com.ar/niquelados.htm](http://www.argento.com.ar/niquelados.htm)

[www.istas.net/fittema/att/li1.htm](http://www.istas.net/fittema/att/li1.htm)

***ANEXOS***

## Anexo A. Cuadro Organizacional De Recubrimientos en Los Metales



### Anexo B. Serie Electroquímica

Metal	Potencial del electrodo (Voltios)	
Sodio	-2,71	
Magnesio	-2,40	
Aluminio	-1,70	
Zinc	-0,76	
Cromo	-0,56	
Hierro	-0,44	
Cadmio	-0,40	
Níquel	-0,23	
Estaño	-0,14	
Plomo	-0,12	
Hidrógeno (Potencial de referencia)	0,0	
Cobre	0,35	
Plata	0,80	
Platino	1,20	
Oro	1,50	

### Anexo C. Temperaturas Máximas Para La Utilización En Medio Cl O Hcl

Material	Temperaturas máximas		
	ClH	Cl	
Níquel	540	540	Para el cloruro seco a 315°, el níquel es superior al inconel, al monel y a la mayoría de los Hastelloys.
Inconel: Ni13, Cr6,5	540	540	
Hastelloy B: 30Mo, Fe5	450	540	
Hastelloy A: 20Ni, 20No, Fe	370	540	
Hastelloy C: 17Mo, 15Cr, 8Fe	425	450	
Monel	425	425	
Plata	225	200	
Acero al Carbono	≤225	≤260	
Cobre			

**Anexo D. Aumento De Peso En Mg/Dm<sup>2</sup> Día Para Las Aleaciones  
Ni, Cr, Fe En Presencia Se Oxigeno, De Agua Y De Ácido  
Carbónico**

ALEACIÓN	800°	900°	1000°
11Cr, 35 Ni	200.730	615.1170	1165.1930
12Cr, 60Ni	23.41	30.49	125.180

**Anexo E. Influencia De La Composición Ácida En Los Resultados  
Obtenidos**

Ácido Nítrico Concentrado (volúmenes)	Ácido Sulfúrico de 66°Bé (volúmenes)	Resultado obtenido
50	50	Amarillo Mate, Amarillo Sucio
75	25	Amarillo Brillante
100	25	Amarillo Brillante
125	25	Amarillo Brillante
100	-	Amarillo Cerámico, Amarillo Mate
75	10	Brillantez Parcial
75	20	Amarillo Brillante, Cristalización Fina
75	30	Brillantez Apagada, Ligeramente Áspera
75	40	Brillantez Mate
75	50	Amarillo Mate
75	60	Mate Total



**Anexo F. Selección De Abrasivos Metálicos Según El Metal A  
Granallar.**

APLICACIONES	FORMA	TIPO RECOMENDADO	
Eliminación de escamas ligeras	Esférica o angular	S-70 a S-230	Materiales Férricos
Eliminación de escamas gruesas	Esférica o angular	S-170 a S-460	
Limpieza de piezas de forja	Esférica o angular	S-170 a S-460	
Solo apariencia de esmerilado	Angular	G-80	Materiales no Férricos
Preparación para otros acabados de superficie	Angular	G-80 a G-40	

### Anexo G. Comparación De Las Pruebas Aceleradas Para Acabados Decorativos

Acabado	Carácter distintivo	Ensayo		
		Dióxido de azufre	Corrodokote	Cass
Comentarios generales	Reproducibilidad	G	G	G
	Uniformidad en artículos conformados	G	G	P
	Claridad del modelo de corrosión	G	G	F
Ni y Cr	Detección de la corrosión dl sustrato			
	Acero	G	G	G
	Latón	P	VP	P
	Zinc	P	F	G
	Detección de las discontinuidades del cromio	G	F	F
	Indicación de la cualidad general del revestimiento	G	G*	G
	Indicador de la pureza o estado sano del níquel	G	G	G
	Indicador de la pureza o estado sano del níquel	VP	G	G
	Indicación de la protección sacrificial con Ni doble	G	P	G
	Indicación de la protección sacrificial con Ni doble	G	F	G
Identificación del modelo de microataque en cromio				
Indicación de las grietas ostensibles				
Acero inoxidable ferrítico	Indicación de la resistencia a la corrosión exterior	VP	VP	F
Aluminio anodizado	Indicación de un cierre hermético efectivo	G	P	P
	Indicación de la resistencia a la corrosión	VP	P	F

\* Pobre en pruebas sobre moldeo por inyección a causa del lento desarrollo de las ampollas.

G: Bueno, F: Satisfactorio, P: Pobre y PV: Muy pobre.

## Anexo H. Clasificación Del Área Corroída ASTM

Número de clasificación	Área corroída (%)	Área sobre la gráfica (%)
10	0	-
9	0,0 – 0,10	0,14
8	0,10 – 0,25	0,25
7	0,25 – 0,5	0,39
6	0,5 – 1,0	0,80
5	1,0 – 2,5	2,46
4	2,5 – 5,0	4,0
3	5 – 10	9,5
2	10 – 25	20,6
1	25 – 50	28
0	50 – 100	65

## Anexo I. Otras Aplicaciones Típicas Del Niquelado

Aparatos seguridad Transistores Capacitores Resistores Circuitos híbridos Cuerpos (cerámica, metal) Estructuras Computadoras Discos memoria Cabinas (EMI, FRI) Frenos Mecanismos guía Espejos láser Circuitos impresos Armazones de relees Cubetas de transistores Refrigeradores de diodos Cilindros Textil Guías de hilos Rodillos Bobinas Brújula giro Partes máquinas Tomillos de extrusión Bombas Cadenas Partes en movimiento Aplicaciones decorativas	Aviación, aeroespacial Componentes de motores a reacción Estator Cierres Cajas Conducciones de fuel Tornapuntas magnética Piezas de misiles Pistones Válvulas Palas de turbina Piezas máquinas Piezas de compresor Cabezas de pistones de aluminio Piezas equipo hidráulico Medicina Herramientas dentales Automoción Carcasas Propulsores Transmisiones Partes equipo dirección Carburadores Disipadores de calor Amortiguadores Pistones freno Componentes bomba inyectora	Plásticos Engranajes Coronas Discos y cilindros de aluminio Poleas Intercambiadores de calor Equipos de filtro Tuberías Componentes de válvulas Reactores Energía atómica Elementos de turbina Racores Estabilizadores Tubos Válvulas Moldes Equipos hidráulicos / neumáticos Válvulas automáticas Solenoides Matrices Motores Árboles de transmisión Cuchillería Hojas corte Cabinas spray Prensas Ganchos
--	--	--

## Anexo J. Fotos del laboratorio



