

APLICACIONES GALVANOTECNICAS

FREDDY PAREDES CARRASCO

Colección Galvánica



CONCYTEC

4221

67

19

19



Freddy Paredes Carrasco, cursó sus estudios de Ingeniería Química en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, de donde egresó en Diciembre de 1969. Durante su vida profesional se ha

especializado en el tratamiento de superficies (tratamiento físico, tratamiento físico-químico, químico y electrolítico), sobre metales en general y, en especial, sobre material aeronáutico dirigido a partes de motor de aviones y accesorios.

Esta especialización se ha realizado tanto en el país como en diversas ciudades del extranjero a través de diferentes cursos, entre los cuales se pueden citar los de tratamiento de superficies con aplicaciones diversas, seguidos en las ciudades de Bordeaux y París en Francia, así como en la ciudad de Bielefeld de la República de Alemania. También ha visitado numerosas fábricas y plantas de recubrimientos electrolíticos, electropulido y anodizado en España, Francia, Alemania e Israel.

En 1980 fue expositor en el III Congreso Peruano de Ingeniería Química con el tema "LA GALVANOTECNIA EN EL PERÚ", el cual consistió en un enfoque técnico de esta especialidad y su relativo desarrollo dentro de la realidad nacional.

Ha dictado diversas conferencias sobre aplicaciones electrolíticas industriales en diferentes Universidades e Institutos y en el Colegio de Ingenieros del Perú, así como el curso de Tratamientos Electrolíticos Industriales en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Es autor del libro titulado TRATAMIENTO ELECTROLITICO DE SUPERFICIES publicado en 1986; el cual a sido escrito basado en la realidad peruana y la necesidad de hacer difusión del conocimiento adecuado de los proceso galvanotécnicos, para su empleo como excelente herramienta de producción en la industria metal-mecánica desde la perspectiva de calidad y seguridad industrial.

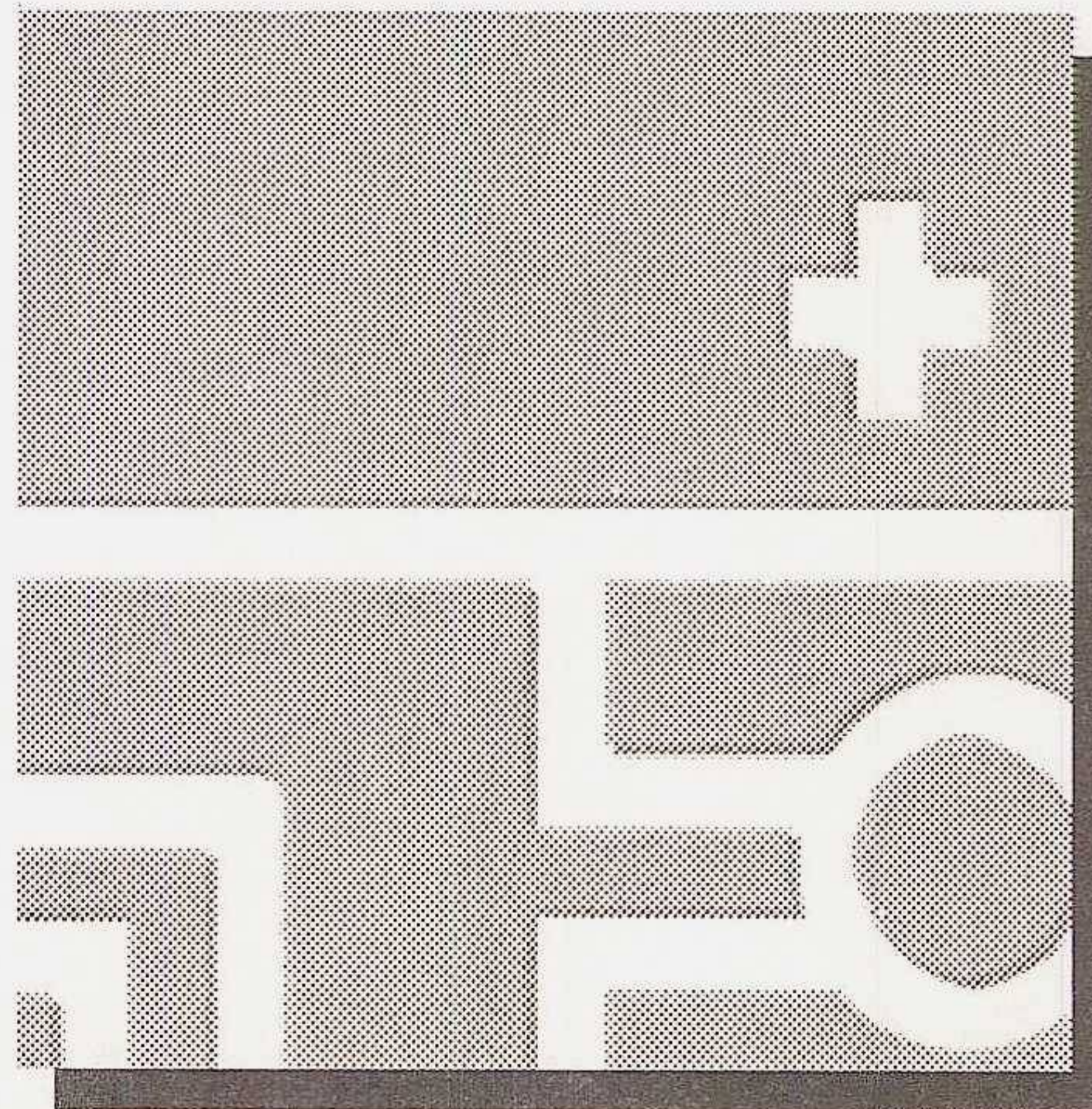
LIB 23.4221

INGRESSO N° 5219

MFN

RF P101 3817

2° E.

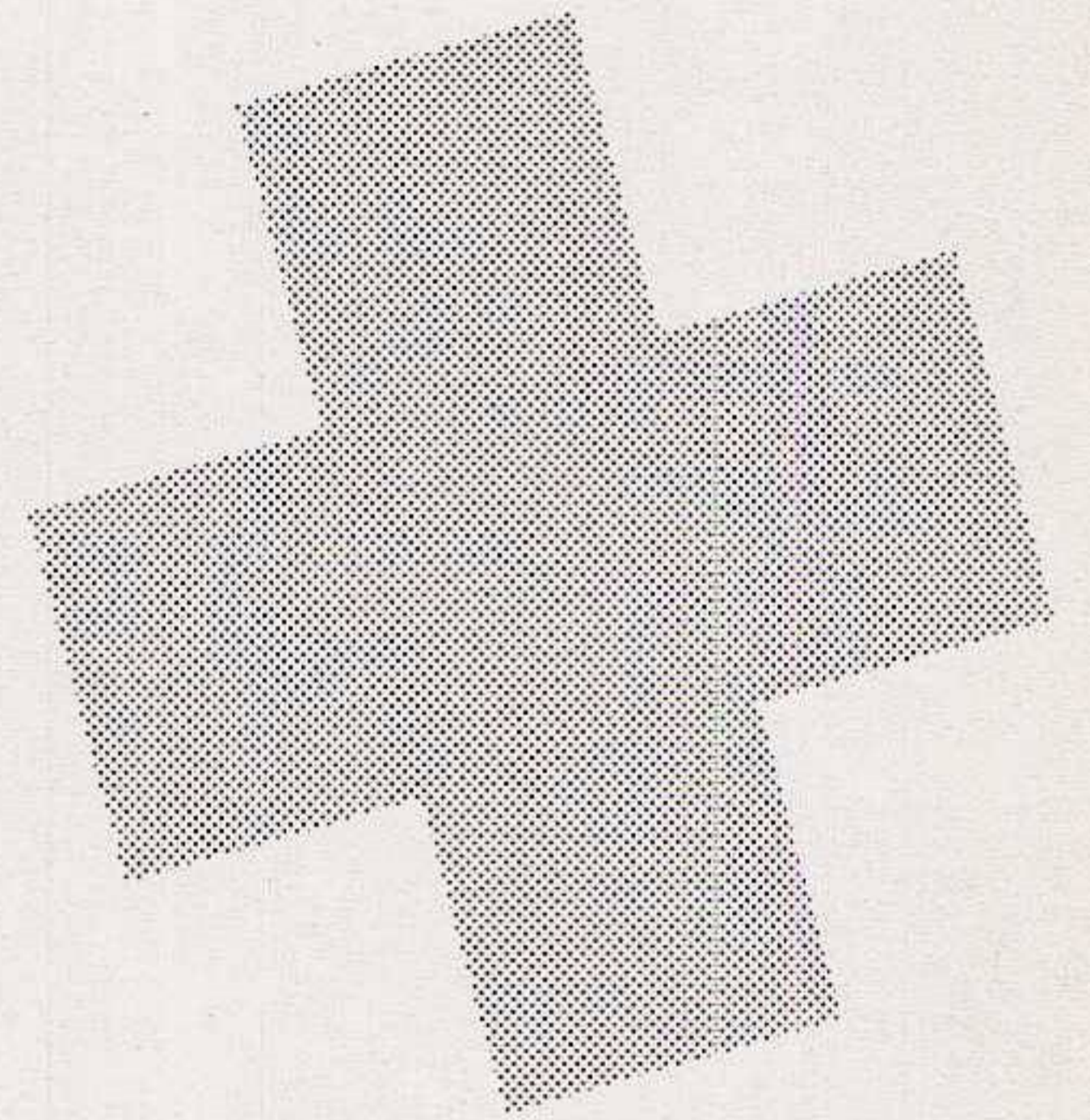


FREDDY PAREDES CARRASCO

Ingeniero Químico

APLICACIONES GALVANOTECNICAS

A U S P I C I A
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA



Derechos reservados

© **FREDDY PAREDES CARRASCO**

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio o método, sin autorización escrita del autor o su derechohabiente.

Diseño e Impresión: **ASOCIACION PRISMA**
JR. JOSE FELIX BOGADO 2386 . URB. LOS CIPRESES . LIMA 01
TELEFAX : 564 0745 , 564 7423
aprisma@terra.com

Lima, 2000

Este libro está dedicado a los pequeños y microempresarios de la industria metal-mecánica, quienes requieren de todo el aliento posible para continuar con tenacidad su lucha por la supervivencia empresarial y su encomiable deseo de continuar haciendo empresa en el Perú, a pesar de las dificultades.

NUUESTRO RETO :

Agregar valor a los recursos naturales y materias primas del Perú, transformándolos en productos elaborados con calidad para exportación.

Durante mi observación y análisis sobre el desarrollo industrial en el Perú, sobre todo en el área de la industria metal mecánica, he escuchado con frecuencia la muy voceada idea de que somos un país subdesarrollado, que muy a nuestro pesar y sin quitar méritos a los avances logrados hasta ahora, parece acercarse mucho a la realidad; otros dicen que somos un país subadministrado, y tal vez tengan razón; porque las deficiencias tecnológicas son fundamentalmente un problema de planeamiento y falta de estrategias a mediano y largo plazo, lo cual parece ser cierto y ha terminado por sumergir a los gobiernos en una serie de medidas de corto plazo, modificadas muy a menudo como síntoma de improvisación y consecuencia de la imprevisión.

No faltan quienes afirman que la causa del atraso tecnológico es un problema financiero, y también tienen razón, puesto que es muy sabido que con dinero suficiente, casi no hay limitación tecnológica, ya que con dinero se pueden comprar los conocimientos más modernos y lógicamente los equipos de punta para la producción en gran escala y de excelente calidad. También es sabido que el dinero sobra en el mundo, puesto que existen muchas personas e instituciones que tienen mucho dinero y están dispuestos a prestarlo previas las garantías del caso

Como podemos ver entonces hay muchas razones de peso que determinan que seamos lo que somos; pero obviamente que no podemos quedarnos conformes con ello, ya que el atraso tecnológico, va acompañado de pobreza, y eso precisamente es lo que quisieramos desterrar, y aunque parezca irónico es lo que tenemos en abundancia.

Otra reflexión muy importante, a mi parecer, es que somos un país que tiene abundantes recursos naturales, tenemos minerales en grandes cantidades que se extraen y en muchos casos se venden como materias primas a otros países, de donde regresan con valor agregado y a precios mayores que obligadamente debemos pagar; también tenemos gran cantidad de metales preciosos y rocas semipreciosas de mucho valor en el mercado mundial, abundantes recursos

ictiológicos, además de la gran cantidad de plantas alimenticias y sobre todo plantas industrializables que no explotamos adecuadamente.

Entoncesqué hacer? Debemos quedarnos con los brazos cruzados y seguir esperando? Creo que no!

Todos debemos poner el hombro, claro está que unos tienen mayor responsabilidad que otros, especialmente la gente que hoy les toca gobernar, quienes están en la obligación de hacerlo pensando en el país que legamos a nuestros hijos antes que en el beneficio coyuntural. En lo que a mí concierne creo que por el momento estoy en la obligación de colaborar en la difusión del mensaje sobre la necesidad de actualizar nuestra tecnología, en busca de transformar nuestras materias primas y recursos naturales, para darles valor agregado y venderlos como productos elaborados, en lo posible a todo el mundo; claro está que este gran reto nos obliga también a reunir esfuerzos para producir artículos de calidad y que sean capaces de competir en cualquier país; en cuyo propósito también es determinante la participación del Estado que directa o indirectamente influye en el costo del producto final y las condiciones de competitividad de las empresas en una economía globalizada.

Para ello es indispensable, también, el empleo de la norma técnica en toda la industria de transformación, puesto que es la mejor garantía de calidad y abre las puertas del intercambio comercial de productos terminados.

Por lo tanto, ampliando un poco lo expresado en este prólogo, el autor ha dictado varias conferencias en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, San Agustín de Arequipa, Institutos, y en en el Colegio de Ingenieros del Perú en la Ciudad de Lima, sobre un tema que se resume en este primer libro de la Colección Galvánica, y estoy seguro sirve para orientar sobre las aplicaciones galvanotécnicas y el empleo de la norma técnica como factor determinante de Calidad.

El autor.

INDICE

Prólogo _____	7
Indice _____	9
CONFERENCIA _____	11
Objetivo _____	12
Enfoque sobre empresa y competitividad empresarial _____	13
Definiciones de Galvanotecnia Galvanostegia, Galvanoplastía Anodizado y Electropulido _____	15
Aplicaciones de la especialidad de Galvanostegia _____	17
Depósitos de cobre, níquel, cromo, cinc, plomo-indio, estaño, plata, oro, rodio, paladio y platino.	
Aplicaciones de la especialidad de Galvanoplastía _____	21
Galvanotipia y fabricación de matrices para discos fonográficos Aplicaciones de la especialidad de Anodizado _____	22
Anodizado de colores	
Aplicaciones de la especialidad de Electropulido _____	24
Clasificación de las plantas en manuales, semiautomatizadas y automatizadas _____	25
Normalización como factor de calidad _____	29
Definición de norma técnica _____	31
Organismos de normalización _____	31
Nominación simbólica de recubrimientos electrolíticos _____	33
Clasificación de las condiciones de servicio _____	33
CONCEPTOS FUNDAMENTALES _____	35
Celda electrolítica _____	35
Principios de la electrodeposición _____	35
Potencial de celda y densidad de corriente _____	36
Reacciones químicas _____	37
pH y soluciones tampón _____	39

Tiempo y velocidad de la electrodeposición _____	43
FORMACION DE UN DEPOSITO ELECTROLITICO _____	44
CLASIFICACION DE LOS RECUBRIMIENTOS POR SU ESTRUCTURA _____	45
DEPOSITOS ELECTROLITICOS BRILLANTES _____	47
Influencia de aditivos , superficie y espesor de capa _____	47
Influencia de la densidad de corriente _____	49
Influencia de la agitación y temperatura del baño _____	49
Influencia de la concentración de sales _____	50
Influencia de la concentración de iones hidrógeno _____	50

PROYECTO DE NORMA NTP:

«RECUBRIMIENTOS DE NIQUEL-CROMO Y COBRE-NIQUEL- CROMO SOBRE SUPERFICIES METALICAS” _____	51
Objeto, Alcance y campo de aplicación _____	51
Definición de términos _____	52
Simbología _____	53
Nominación codificada de las condiciones de servicio _____	56
Clasificación y tablas de recubrimiento _____	56
Empleo contractual de la norma _____	59
Propiedades de los recubrimientos _____	60
Pruebas de adherencia _____	62
Pruebas de resistencia a la corrosión _____	63
Medición del espesor _____	70
Prueba de ductilidad de la capa de níquel _____	73
Prueba del cromo microagrietado _____	74
 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS _____	 76

CONFERENCIA

APLICACIONES INDUSTRIALES GALVANOTECNICAS Y NORMALIZACION TECNICA COMO FACTOR DETERMINANTE DE CALIDAD

EXPOSITOR : ING. FREDDY PAREDES CARRASCO

ASPECTOS:

1 Exposición del empleo de los procesos electrolíticos en diferentes aplicaciones industriales, sea para proteger a las piezas fabricadas contra los diferentes agentes de corrosión, o para otorgarles determinadas cualidades de dureza, restitución de medidas originales, cualidades antifriccionantes, conductividad, resistividad, coloración, pulido, etc; además del acabado decorativo que obtienen las piezas procesadas.

2 Descripción sucinta de las operaciones básicas que conforman el proceso galvanotécnico desde la perspectiva de Calidad Total y Seguridad Industrial.

3 Definición de la Norma Técnica, su estructura literaria y la necesidad de su empleo en la realización y contratación de trabajos galvanotécnicos como factor determinante de la calidad del producto final.

La presente conferencia tiene por objeto exponer a los participantes, el amplio campo de aplicaciones galvanotécnicas que existen en la industria con fines muy diversos y específicos, que hacen de esta especialidad y su tecnología un gran complemento en el desarrollo industrial; por lo que es necesario en primer lugar, conocer las diferentes posibilidades de aplicación galvanotécnica que existen, y luego introducirse en este campo con los instrumentos necesarios para su desarrollo.

Antes de pasar a explicar directamente la parte tecnológica específica, hablaremos un poco del contexto en el cual se desenvuelve y las razones de su conocimiento; lo cual nos lleva a exponer brevemente, los conceptos de empresa y competitividad empresarial.

Tradicionalmente el campo en el que se desenvuelve la actividad galvanotécnica, y el objetivo fundamental de su empleo, es utilizarla como instrumento para complementar las operaciones y procesos que se realizan en la fabricación de piezas, sean estas metálicas o no metálicas, en las que se requiere un tratamiento electrolítico sobre las superficies de las mismas. Entonces debemos interpretar que es la empresa de manufactura metal mecánica o conexas la que inicialmente y fundamentalmente necesita utilizar esta tecnología como parte del procedimiento de manufactura.

12

Es necesario recordar que el esfuerzo de aprendizaje especializado siempre está orientado a mejorar las herramientas de operación de la empresa, la cual como todas las personas naturales o jurídicas, nacen viven y mueren; pero algunas empresas estarán en funcionamiento más tiempo que otras, de acuerdo a su estructura y la habilidad de supervivencia de la misma. Los pasos habituales en la vida de una empresa son la formación y consolidación, luego el proceso de expansión y lucha por lograr un dominio de mercado, o conseguir un ritmo de coexistencia competitiva con el resto de empresas similares, obviamente con la intención de vivir la mayor cantidad de años que fuera posible; pero que muchas veces se acorta por diversos motivos, entre los cuales se puede señalar la capacidad de la empresa para responder al reto permanente que la competitividad exige.

Para responder eficientemente a este reto es que las empresas deben actualizarse de manera constante, tanto en conocimiento como en infraestructura para lograr, en lo posible, el trabajo con tecnología de punta. Lógicamente lograrán mejor su propósito aquellas empresas que lideren mercado, gracias a su estructura y manejo administrativo, o que alcancen un nicho apropiado a su medida que les permita sobresalir.

Dentro de la competitividad empresarial, podemos señalar entre otros, algunos factores que intervienen de manera muy importante y que deben ser afrontados eficientemente por la empresa. Estos son el Precio y la Calidad. Mayores ventajas competitivas pueden lograr las empresas que lancen al mercado productos baratos y de buena calidad; lo cual siempre se persigue aunque parezca paradójico, por cuanto muchas veces se piensa que el precio puede sacrificar calidad o al revés; aunque también existen otros factores conexos que influyen en los objetivos de la empresa y pueden ser la necesidad de utilización de tecnología de punta en lo posible, para obtener mayores ventajas en función del tamaño de producción, rendimiento y preparación del personal; o la máxima utilización de la mano de obra que puedan aportar los miembros de la familia en la micro empresa.

Para manejar los precios adecuados, es importante optimizar los factores que influyen en los costos, como podemos señalar entre otros, la mano de obra, la materia prima y los costos administrativos. Es lógico pensar que mientras más se reduzcan los costos, los precios podrán ser menores que los de la competencia; pero lo es también suponer que un salario muy deprimido, mediante el cual por insatisfacción del asalariado, hace perder la identidad del trabajador con la empresa y disminuye su rendimiento y la calidad del trabajo.

Sobre la mano de obra se puede decir que en el mundo existen dos grandes sistemas o dos ejes que nacen de un mismo punto pero se apartan cada vez, entre los cuales se puede establecer una curva donde se ubican todos los países del mundo en función del manejo de la mano de obra como factor de producción. Estos son:

1- El sistema que se basa en el movimiento de recursos humanos, y por lo tanto, considera salarios altos para lograr la satisfacción de sus necesidades principales, además de otros estímulos al personal para hacerlo partícipe activo en la lucha por la calificación, la calidad y la productividad;

2- El sistema que preconiza la flexibilización como método de abaratar costos, sacrificando la estabilidad laboral y el pago de salarios ajustado al valor más bajo posible.

En el primer caso se encuentran la mayor parte de los países del arco alpino en la Europa Continental, como Suiza, Italia, Austria, Escandinavia, Alemania, No-

ruega, Suecia, Dinamarca; así como Japón y parcialmente Corea. En el segundo caso se encuentran la mayor parte de países del Atlántico como el Reino Unido, Francia, España, EE.UU. y todos los países de las tres Américas, entre los cuales se encuentra el Perú. Claro que entre los países de método flexible debe hacerse una diferenciación de los resultados económico y sociales que se producen en función del grado de desarrollo de cada país, destacando el hecho de que los países pobres se tornan cada vez más pobres por consecuencia, debido a la falta de estructura tecnológica que permita competir en igualdad de condiciones, generándose por consiguiente una especie de servidumbre de pobres a ricos.

El otro factor importante que entra en juego en la competitividad empresarial es la calidad de los productos, y por lo tanto resulta ser un reto y una aspiración lógica de todas las empresas, obtener siempre productos de muy buena calidad y de manera constante, para lograr ventaja o simplemente el nivel adecuado de competitividad. En todo caso es mejor utilizar la calidad de los productos como buena herramienta; es decir que debe ser un norte para la empresa esta última condición, y mejor aún si se busca la excelencia; o sea lo mejor, obtener el número uno en el orden de mérito con relación a todos los productos similares con los que se debe competir en el mercado. Claro que lograrlo también cuesta gran esfuerzo, perseverancia y empleo de los medios adecuados.

Destacaremos simplemente algunos de los factores que intervienen en la obtención de la buena calidad de los productos y de la empresa misma, esto es el conocimiento y la aplicación de varias especialidades, el dominio y control eficiente de todos los medios requeridos para la producción y comercialización; así como todas las actividades propias del funcionamiento empresarial, entre las cuales se puede mencionar que es muy necesario el conocimiento y aplicación de la tecnología apropiada, del movimiento de los recursos humanos, de economía, legislación y política.

Entonces, de acuerdo al objetivo de esta conferencia y para incrementar el conocimiento en este campo, pasaremos ahora a visualizar las aplicaciones industriales de la galvanotecnia.

En principio definiremos como Galvanotecnia a una rama técnica de la industria que se ocupa de los procedimientos electrolíticos que se emplean para el tratamiento de superficies de algunas piezas en el proceso de manufactura o mantenimiento.

De acuerdo a la metodología de trabajo, está conformada por cuatro grandes especialidades :

- **Galvanostegia.**- Es el conjunto de operaciones y procesos electrolíticos mediante los cuales se deposita una capa metálica sobre diversas piezas que pueden estar conformadas de material metálico o no metálico, sobre las cuales se adhiere fuertemente, sea para protegerlos de la acción corrosiva del medio ambiente, o proporcionarles características especiales de conductividad, dureza, cualidades antifriccionantes, etc.

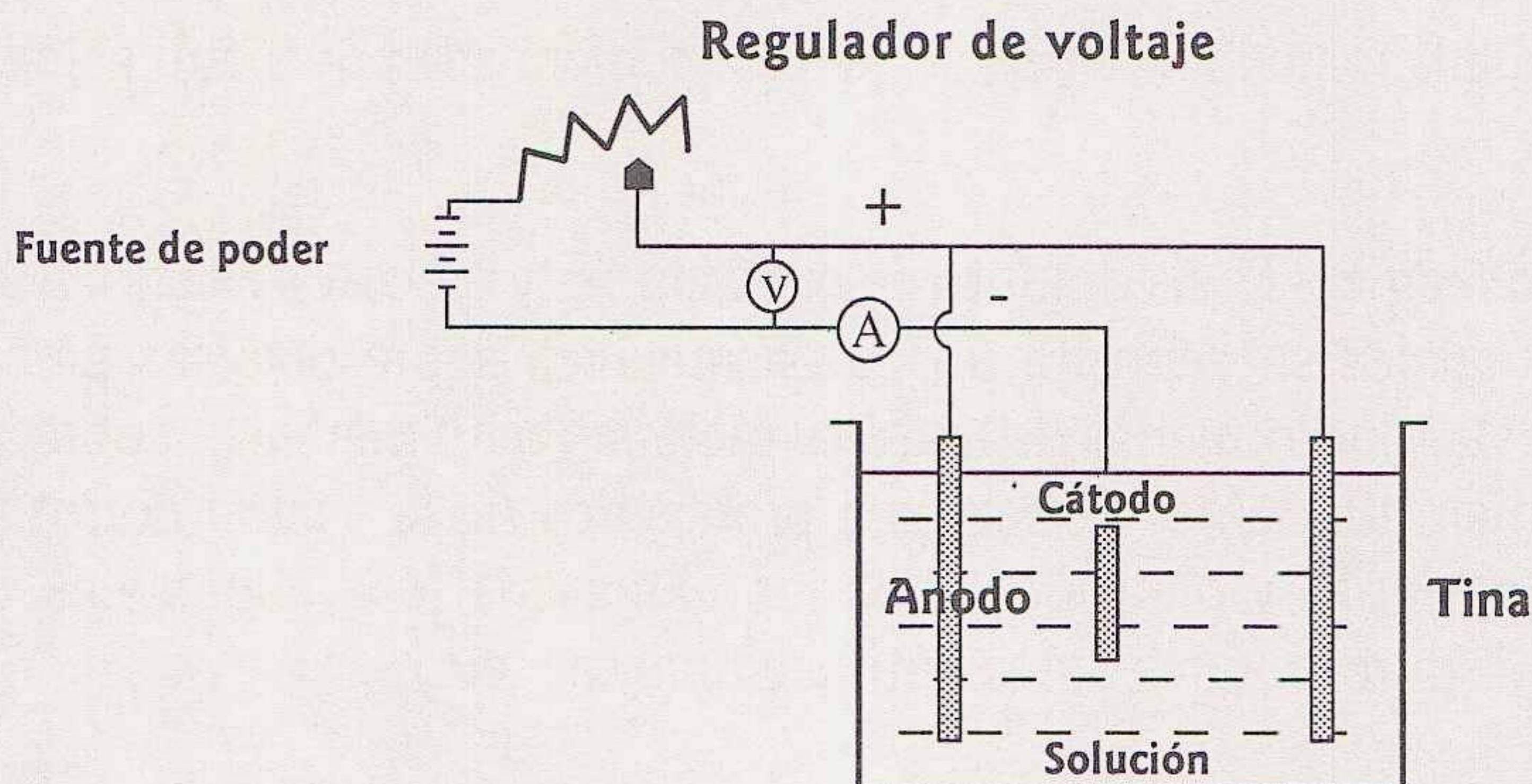
- **Galvanoplastia.**- Es el conjunto de operaciones y procesos electrolíticos mediante los cuales se deposita una capa metálica sobre un cuerpo sólido y temporal, que le sirve de molde, del cual finalmente se separa y se obtiene una pieza metálica fabricada íntegramente por el material depositado electrolíticamente.

- **Anodizado.**- Conjunto de operaciones y procesos electrolíticos que se aplican sobre las piezas de aluminio o sus aleaciones para propiciar la formación de una capa de óxido de aluminio, que generalmente es transparente, muy dura y resistente a la corrosión, además de ser fácilmente coloreada por introducción de pigmentos en su estructura porosa, la cual es finalmente cerrada en la superficie.

- **Electropulido.**- Es el conjunto de operaciones y procesos electrolíticos que se aplican sobre diversos objetos metálicos con la finalidad de producirles un desgaste controlado de las protuberancias e irregularidades de la superficie, alisando su aspecto final.

En todos los casos el principio del proceso electrolítico se puede definir como el conjunto de reacciones de oxidación - reducción que se producen dentro de una solución o "baño electrolítico", al paso de la corriente eléctrica a través de los electrodos (cátodos y ánodos) enviada desde una fuente de poder externa, que proporciona corriente eléctrica continua a voltaje y amperaje controlado.

En el siguiente gráfico se puede visualizar mejor este proceso que se produce dentro de una instalación apropiada denominada celda electrolítica:



Debe tenerse en cuenta que para los procesos de galvanostegia y galvanoplastia las piezas que se recubren actúan como cátodos; en tanto que en los casos de anodizado y electropulido las piezas que se tratan actúan como ánodos.

Desde mucho tiempo atrás se ha utilizado a los procesos galvanotécnicos como complemento de la fabricación de piezas metálicas y no metálicas, muchos de ellos con fines de protección al material de base contra el ataque del medio ambiente, otros con fines de decoración para otorgar hermoso acabado superficial, o una combinación de ambos. También es posible lograr que las piezas tratadas adquieran ciertas características especiales que mejoran notablemente su comportamiento en el trabajo, como por ejemplo dureza, resistencia al desgaste, conductividad, reflectividad, resistencia a la corrosión, resistencia al agarrotamiento, etc. A veces es difícil imaginar la variedad de aplicaciones que se realizan con este proceso, algunas de ellas no pueden ser reemplazadas por otros procedimientos; por ejemplo imaginemos un motor a reacción de un avión, el cual se puede considerar como un gran horno donde existen quemadores de kerosene para producir la combustión constante y elevar la temperatura y presión por consiguiente, la que es debidamente controlada y canalizada provocando finalmente el empuje hacia adelante con descarga de gases hacia atrás (acción y reacción). Es lógico entender que las piezas muy próximas a la zona caliente, donde están virtualmente en contacto con el fuego, además de ser resistentes a las altas temperaturas también deben resistir al agarrotamiento y la posible soldadura no deseada entre las partes; lo cual se consigue colocando recubrimientos electrolíticos de plata en toda la pernería de la zona caliente del motor. Otra aplicación novedosa puede ser la aplicación de oro a las "patitas" de los circuitos integrados u otras partes impor-

tantes de conjuntos electrónicos, o el anodizado de cajas de rodajes fabricadas en aleaciones de aluminio que trabajan en los compresores de los motores a reacción de la aviación moderna.

Entonces, para visualizar mejor el panorama describiremos de manera ordenada algunas de las aplicaciones más conocidas en este campo; claro está que solamente enunciaremos las aplicaciones, sin entrar en los procedimientos de operación y mayores detalles propios de la tecnología misma, que en suma es toda una especialidad cuyo aprendizaje requiere de mayor tiempo y ayudas para la instrucción.

En la especialidad de **Galvanostegia** se pueden citar los siguientes ejemplos:

Depósito de Cobre.- Se puede aplicar sobre piezas fabricadas de diferentes metales puros o aleados tales como hierro, cobre, cinc y aluminio; así como materiales no conductores como los plásticos. Algunas veces se le utiliza solo o como parte de una capa múltiple; es decir una capa que puede estar conformada por cobre, luego níquel y después cromo, que en conjunto conforman una buena capa protectora del material de base, además de ser muy brillante y de hermosa presentación final. A veces se busca solo este último objetivo como en el caso de recubrimiento de plásticos. También se aplica los recubrimientos de cobre, aunque con capas de gran espesor, para obtener placas con ciertas características que pueden permitir su uso como placas de impresión. Las soluciones que se utilizan para los baños electrolíticos pueden ser del tipo ácido o alcalino; las del primer tipo permiten obtener depósitos muy brillantes y duros, sobre los cuales se pueden depositar directamente otros metales como el níquel brillante o el oro; pero tienen como defecto que dichas soluciones resultan agresivas y atacan a los materiales comunes de hierro y cinc. Los baños alcalinos, en cambio, no atacan a estos materiales pero no son tan brillantes y por lo general son blandos, por lo que muchas veces es necesario pulir la capa de cobre antes de niquelar. Un método muy frecuente para cobrear sobre aleaciones de hierro, cobre o cinc consiste en depositar primero electrolíticamente una capa de cobre en baño alcalino y luego agregar una capa de cobre en baño ácido. Por otra parte es muy importante la aplicación de recubrimientos electrolíticos de cobre sobre plásticos u otros materiales sintéticos, que sirve de base para la fabricación de circuitos impresos, proceso que hoy en día es muy utilizado en la industria electrónica.

Depósito de níquel.- Se le utiliza también con fines de protección de gran

cantidad de piezas metálicas, generalmente aplicado sobre una capa de cobre depositado electrolíticamente, o directamente sobre los metales. Es más duro que el cobre y más resistente a la corrosión. Se le utiliza como parte del sistema de capa múltiple de cobre-níquel-cromo, para protección de materiales como el hierro, cobre, aluminio, cinc y sus aleaciones; así como materiales no conductores como los plásticos. También se le aplica en capas de gran espesor para restituir las medidas a piezas valiosas, o para otorgarle mayor dureza final a las piezas. Generalmente se le aplica en baños de niquelado en el cual se le agrega aditivos abrillantadores para obtener capas de niquelado brillante y nivelado. Algunas veces se aplican capas de níquel doble o triple, sobre todo cuando se requiere gran espesor, a fin de abaratar costos o lograr ciertas características especiales. Los baños electrolíticos son muy diversos, entre los que destacan mayormente aquellos que se preparan a base de sulfato de níquel, cloruro de níquel y ácido bórico.

Depósito de cromo.- Se le utiliza mayormente formando parte de la capa múltiple de cobre-níquel-cromo, como capa protectora de gran variedad de piezas fabricadas de hierro, cobre, cinc, aluminio y sus aleaciones; así como materiales plásticos. En estos casos de capa múltiple de protección los espesores de cromo son muy pequeños, que no llegan ni siquiera a un micrón, pero que resulta suficiente para trabajar adecuadamente sobre los depósitos previos de cobre y níquel. La particularidad del cromo es otorgar una superficie dura y muy brillante de hermoso acabado. También existen otras aplicaciones de cromo que requieren de gran espesor, aportando material para restituir medidas y reconstruir piezas de alto costo, en equipos muy caros como cigüeñales de grupos electrógenos, o de motores de barcos o brazos hidráulicos, que pueden llegar a costar 10 mil dólares o más, y por tanto su reconstrucción por este sistema es ampliamente recompensado. Este proceso se conoce también como cromo duro y puede llegar a depositarse hasta 300 micrones de espesor, o más en casos especiales.

Depósito de cinc.- Generalmente se le utiliza como capa protectora contra la corrosión del medio ambiente sobre materiales de hierro, cobre o cinc y sus aleaciones. El aspecto final puede ser blanco azulado característico, o iridiscente, verde olivo, amarillo, negro, u otro color según el tratamiento de pasivado que se le aplique después del cincado; por lo que también se le emplea con fines decorativos. Los baños electrolíticos para la deposición del cinc pueden ser del tipo ácido o alcalino cianurado, los cuales se hacen trabajar con aditivos abrillantadores para obtener depósitos brillantes. Como ejemplo de las aplicaciones de cincado pode-

mos señalar los recubrimientos sobre toda la variedad de piezas de ferretería, como pernos, tuercas, arandelas, anillos, abrazaderas, espaciadores, ejes, espárragos, etc.

Deposito de plomo-indio.- Se aplica sobre aleaciones ferrosas o de cobre, para formar una capa antifricionante de buena performance. Para ello se deposita primero una capa electrolítica de plomo y luego una capa de indio; Después se somete el conjunto a tratamiento en un horno de aire o en aceite caliente, para provocar que el indio se introduzca de manera homogénea en la capa de plomo; obteniéndose de esta manera una capa blanda pero resistente al desgaste acelerado. Ejemplo de esta aplicación puede ser la fabricación de casquillos de biela para motores de combustión interna. Los baños de plomo que se utilizan para el proceso, generalmente son baños a base de fluoborato de plomo y el de indio a base de sulfato de indio, ambos trabajan con PH ácido.

Depósito de estaño.- Se le aplica como capa protectora del material de base, generalmente hierro, contra la corrosión del medio ambiente y para fabricar embalajes de leche, conservas, etc. debido a su gran resistencia al ataque de la mayoría de ácidos orgánicos como el cítrico, málico, láctico, acético, etc. Este depósito es blanco brillante y de muy buen aspecto. También se le emplea para mejorar la conductividad de ciertas piezas y sobre todo asegurar buen contacto. En otros casos se aplica estaño electrolítico sobre ciertas piezas de artículos eléctricos para mejorar la soldabilidad de accesorios diversos con soldadura de estaño. Los baños electrolíticos pueden ser ácidos o alcalinos, siendo en el primer caso a base sulfato estannoso y en el segundo a base de estannato de sodio o de potasio.

Depósito de plata.- Se le utiliza desde muy antiguo como capa protectora y decorativa de piezas fabricadas de diversos materiales, como hierro, cinc, cobre y sus aleaciones. La plata ennoblece al material de base y eleva el valor de las piezas recubiertas. Se utiliza con frecuencia sobre artículos del hogar, como cucharas, cucharitas, tenedores, azucareros, etc; en muchos casos fabricados de alpaca (aleaciones de cobre, de cinc y de níquel). También se le emplea industrialmente sobre piezas eléctricas para asegurar buen contacto entre sus elementos; o como capa intermedia entre piezas que trabajan a elevadas temperaturas, para evitar su agrietamiento y facilitar el desarmado para reparación de los equipos. En algunos motores y piezas en movimiento se utiliza depósitos de plata como capa de protección en las superficies de rozamiento. Los baños electrolíticos más conocidos y comerciales que se utilizan para el plateado son alcalino - cianurados y se preparan a base de cianuro de plata.

Depósito de oro.- También usado desde muy antiguo, junto con la plata, con fines decorativos para ennoblecer los materiales utilizados en la fabricación de numerosas piezas de uso personal, como collares, aretes, prendedores, pulseras, monturas de anteojos, etc, que son mayormente de cobre, hierro, o sus aleaciones. Luego se ha expandido a muchos usos más con fines industriales, por ejemplo como acabado superficial de hebillas de correas, calzado, y muchos adornos que se fabrican en materiales baratos como el zamac o latón. En la industria eléctrica y electrónica también tiene muchas aplicaciones, para otorgar a los materiales de contacto muy buena conductividad, aún en atmósferas agresivas que pudieren atacar otros materiales. Ejemplo de ello son los contactos o "patitas" de algunos circuitos integrados.

Los baños que se emplean para el depósito electrolítico de oro, pueden ser ácidos o alcalino - cianurados, en ambos casos con contenido de oro que van desde 1 hasta 16 gramos por litro. Se pueden preparar a base de cianuro doble de oro y potasio o adquirir baños patentados con aditivos que mejoran el acabado final del trabajo.

Depósitos de rodio, paladio y platino.- Son depósitos duros pertenecientes al grupo denominado platino. Se caracterizan por ser muy estables y resistentes a los ácidos y otros agentes corrosivos tanto a temperatura ambiente como en altas temperaturas; por lo que son muy apreciados como agentes de contacto de numerosos componentes de equipos eléctricos y electrónicos, además de otras aplicaciones derivadas de su gran dureza y reflectividad. De ellos el más duro y resistente es el rodio que además tiene excelentes cualidades de reflectividad por lo que se le emplea en la fabricación de reflectores y faros de iluminación. El paladio es un poco más barato que el rodio, aunque menos resistente, pero válido para muchas aplicaciones similares, por lo que resulta buen alterno del rodio. El platino es un poco menos duro y menos brillante pero válido en aplicaciones para contactos eléctricos por sus características de dureza, resistencia a la oxidación y precio. Se le emplea también con oro para mejorar aún sus cualidades de conductor eléctrico.

Además de los casos expuestos, existen numerosas aplicaciones de los procesos electrolíticos para depositar otros metales como el hierro, cadmio y otros de uso poco frecuente; así como diversas aleaciones como cobre-estaño, cobre-cinc, plomo-estaño, níquel-estaño, etc.

En la especialidad de **Galvanoplastia** se puede mencionar como aplicaciones industriales importantes, aquellas que intervienen en la fabricación de moldes para discos fonográficos e informáticos; es decir que mediante el proceso galvanotécnico se forma una gruesa capa, generalmente de níquel, sobre un molde temporal; a partir del cual se reproduce fielmente el relieve de la superficie en la capa que se forma electrolíticamente, de modo que si el molde temporal contiene rugosidades perfectamente establecidas y creadas intencionalmente, estas se repiten exactamente sobre la superficie metálica de la capa electrolítica. Esta capa metálica es lo suficientemente resistente para servir después de molde permanente para reproducir los discos fonográficos, que se fabrican de material plástico, muchas veces del tipo acetato; en el cual se reproducen fielmente las mismas rugosidades del molde original, que pueden ser captadas por un sensor apropiado e interpretadas por un instrumento o equipo electrónico diseñado para ello y convertidas en música o información electrónica.

De manera similar, también se le aplica para la fabricación de moldes que pueden ser empleados para la impresión de bloques de materiales diversos, plástico, papel, etc. Estos moldes de impresión formados electrolíticamente se conocen también como galvanotipos. El material de base que sirve de molde temporal puede ser de cera o de plástico, el cual debe ser previamente desengrasado y luego metalizado químicamente en la superficie para convertirse en material conductor a través de una delgada película que se forma generalmente con soluciones de plata, níquel o cobre, a partir de las cuales se deposita el metal por reacción con agentes reductores. Imagínense dos soluciones que se aplican sobre la superficie de plástico, una que contiene los iones de plata y la otra que reacciona con la primera dando lugar a la formación de plata metálica, que se pega a la superficie de plástico; entonces se puede deducir que la película de plata hace que la pieza que se va a recubrir electrolíticamente con una capa de níquel a espesor, sea convertida en una pieza conductora de la corriente eléctrica y por consiguiente apta para el proceso electrolítico. También es posible utilizar moldes de acero inoxidable de modo que sobre ellos se puede depositar electrolíticamente la capa de níquel o de cobre, que luego son fácilmente separados debido a que la deposición sobre el molde se realiza sin adherencia permanente, como sucede en los casos de galvanostegia ya explicados.

En general cuando las aplicaciones galvanotécnicas se realizan para la obtención de otras piezas, bajo el principio de la deposición electrolítica de metales

como el níquel o cobre sobre moldes temporales, de los cuales se separan finalmente, se puede identificar, también, como una rama de la industria denominada electroformado. Mediante este proceso se pueden fabricar piezas muy diversas, como los moldes para la fabricación de discos ya indicado, saleros de uso doméstico, agujas o conos, moldes para la fabricación de diversos componentes de plástico, etc.

La especialidad de **Anodizado** consiste en provocar electrolíticamente la formación de una capa cristalizada de óxido de aluminio sobre las piezas fabricada en este material o sus aleaciones. Es un proceso extensamente usado en el mundo para producir una película transparente con gran poder de protección al material de base y hermoso acabado decorativo.

Las características principales de la película de óxido de aluminio es su dureza, transparencia y su condición dieléctrica.

En algunos casos es posible obtener capas de óxido de aluminio extremadamente duras, dependiendo de la solución que se utilice para el anodizado y de las condiciones del proceso. La dureza que se obtiene en éstos casos especiales, es tal que se puede comparar con la dureza del cromo duro para ciertos trabajos especiales de la industria aeronáutica y aeroespacial, donde se requiere de materiales livianos pero con grandes cualidades de fuerza y resistencia, como por ejemplo las cajas que sirven de alojamiento de rodajes en motores a reacción.

El proceso de anodizado consiste fundamentalmente en la formación de abundante oxígeno sobre la superficie del aluminio y aleaciones cuando se le somete electrolíticamente bajo corriente anódica. Es decir las piezas de aluminio funcionan como ánodos bajo tensión eléctrica dentro de una solución de ácido sulfúrico o crómico, o mezclas de ácido sulfúrico y oxálico. El oxígeno que se forma en la superficie anódica reacciona con el aluminio dando lugar a la formación de la capa cristalina de óxido de aluminio.

Generalmente la capa de óxido de aluminio que se forma sobre la superficie, resulta ser el doble de espesor de la capa de aluminio que es atacada por el electrolito, lo cual se puede representar en el siguiente gráfico.

Fig. A

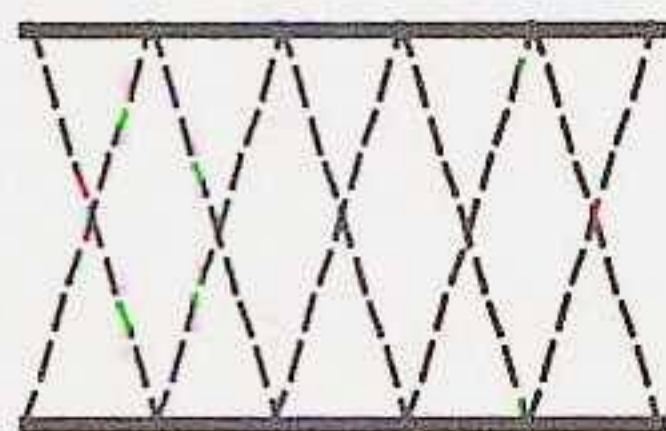


Fig. B

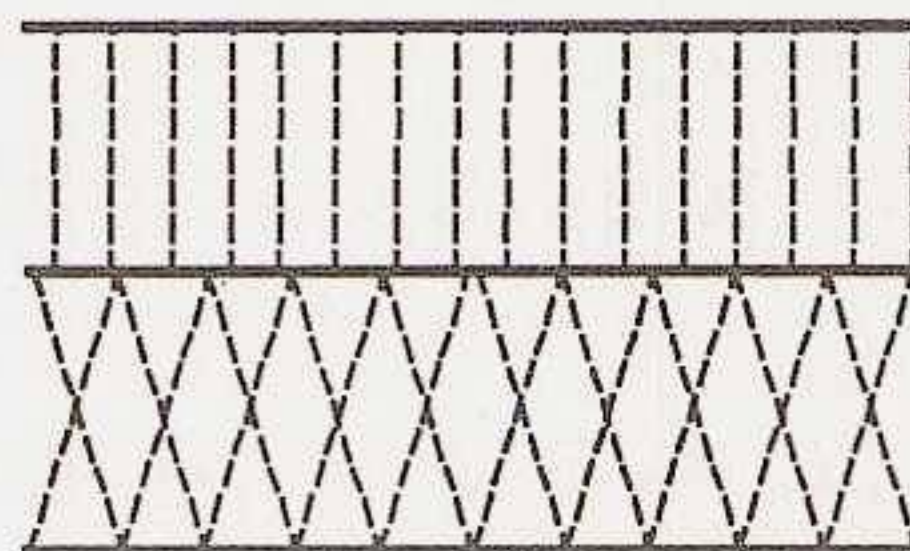
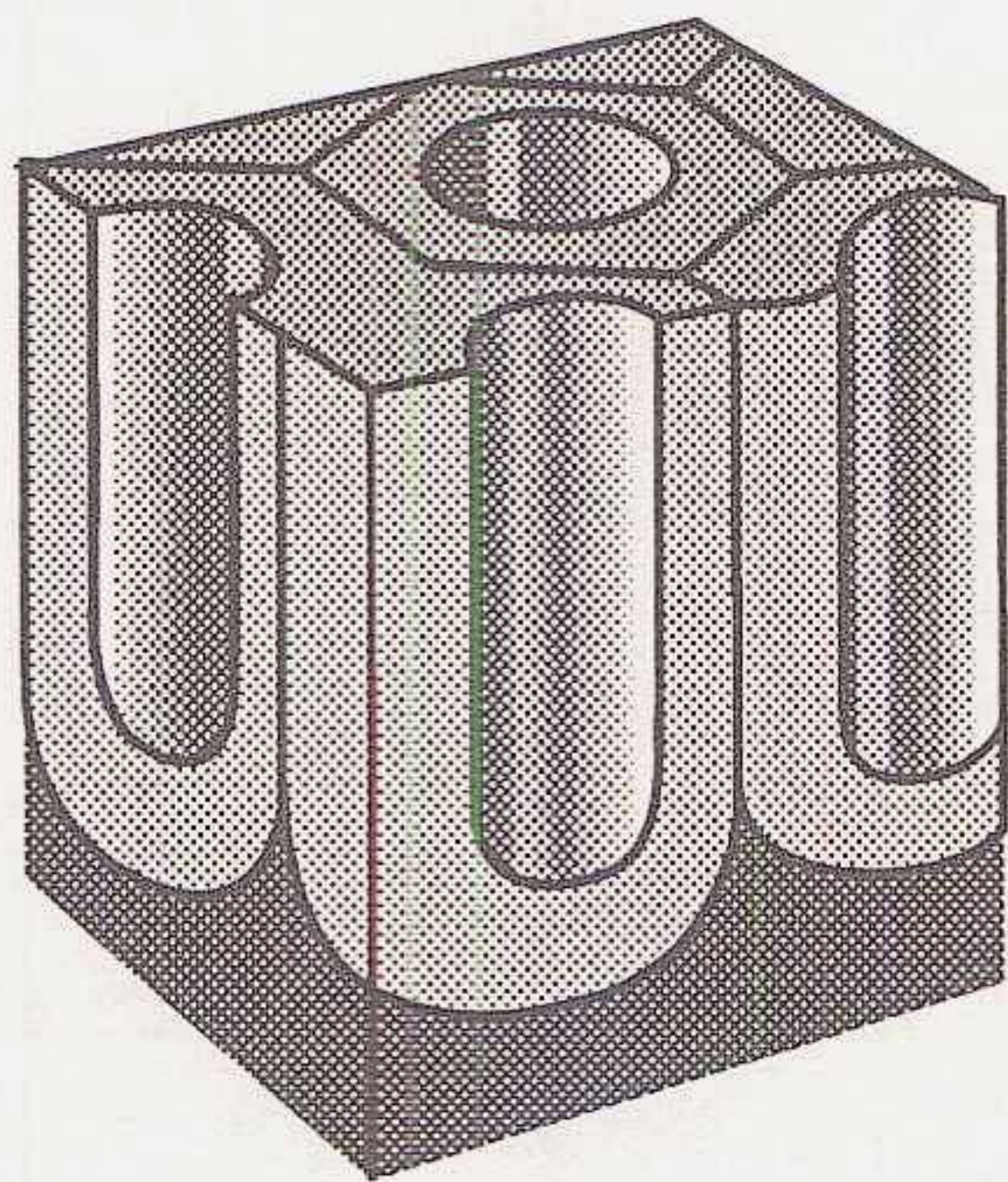


Fig. A.- Capa de aluminio antes de anodizar.

Fig. B.- La capa superior indica el anodizado.

La capa inferior indica el aluminio base

La capa de óxido de aluminio que se forma, está constituida por microceldas, tal como se aprecia en el gráfico siguiente, o lo que se podría suponer es una cubierta llena de poros que se forman durante el proceso electrolítico; pero que deben ser cerrados inmediatamente después para completar el proceso y sellar definitivamente la superficie de la pieza, mediante un tratamiento con agua muy caliente por algunos minutos a una temperatura normalmente alrededor del punto de ebullición.



Estructura de una sección de microporos de una capa de anodizado.

También se puede introducir sustancias colorantes en los poros antes del sellado, de modo que se obtiene hermosos acabados de color. En esta operación el pigmento colorante es absorbido dentro de la estructura del poro durante el tiempo que se mantiene las piezas sumergidas en la solución colorante, luego cuando la capa anódica es sellada con agua hirviendo los poros se cierran en la parte superficial dejando atrapado en su interior al colorante el cual trasciende al exterior a través de la capa cristalina. Podemos imaginar lo atractivo y duradero que representa una tapa de olla de aluminio, por ejemplo, con una coloración roja o azul, pero que no está sobre la superficie, sino debajo de ella.

Este acabado de color, su brillo y tonalidad depende siempre de la constitución metalúrgica del material, la cual es determinante sobre el grado de transparencia que tendrá finalmente dicha capa cristalina.

En el proceso de sellado de los poros, el óxido se convierte en óxido cristalino de aluminio. $Al_2O_3 \cdot H_2O$.

El coloreado de la capa de anodizado, permite también realizar aplicaciones decorativas o artísticas, gracias a la posibilidad de aplicar efectos multicolores en la capa de anodizado, coloreando localmente ciertas zonas a voluntad, con pigmentos de diferentes colores y siguiendo formas definidas o artísticas. Con este procedimiento es posible realizar pinturas artísticas de objetos, paisajes, animales, etc.

En todos los casos el coloreado se realiza antes del sellado de los poros con agua caliente.

Como ejemplos de las aplicaciones de anodizado podemos citar a muchos artículos fabricados de aluminio que se usan en el hogar, algunos de ellos coloreados, tales como ollas, azucareras, espumaderas, cucharones, etc., también los perfiles para las ventanas de aluminio, pines, dispositivos de cerrojo de puertas, manijas, etc. Otras aplicaciones muy importantes son aquellas de uso aeronáutico por su dureza y resistencia al desgaste, tanto en los motores como en la estructura del avión, destacando el hecho de que algunos de los aviones supersónicos tienen anodizada toda la estructura superficial.

La especialidad de **Electropulido**, cuyo proceso es muy similar al de anodizado desde el punto de vista de la polaridad de la corriente, pero con soluciones distintas, se utiliza con la finalidad de obtener un acabado uniforme y brillante de las piezas procesadas; pero no necesariamente por la formación de óxido del material tratado, sino fundamentalmente por el alisamiento de las piezas por acción de la corriente eléctrica en una solución apropiada, provocando la pérdida de todo aquel material que se considera como protuberancias e imperfecciones, que normalmente tienen las piezas como consecuencia de las operaciones de fabricación. Dicho de otro modo, el proceso de electropulido consiste en provocar la disolución controlada de las asperezas de las piezas, para obtener superficies lisas y brillantes, que puede ser como acabado final o como proceso intermedio para recubrimientos electrolíticos posteriores.

El material que se somete al proceso de electropulido, actúa como ánodo sumergido en un electrolito constituido generalmente por una mezcla de ácidos concentrados, la misma que se selecciona según el tipo de material que debe ser procesado.

Al paso de la corriente eléctrica se forma una película viscosa de alta resistividad eléctrica que tiende a acumularse en los desniveles del material en proceso. La disolución del material se producirá con mayor rapidez en las zonas donde dicha película es más delgada o no exista, es decir en las protuberancias del metal. De esta manera se disuelven primero todas las puntas y bordes de la pieza que se está procesando, luego continúa hacia toda la extensión de la pieza hasta el momento que se considera electropulida a satisfacción y se paraliza el proceso.

Mediante este procedimiento se efectúa el pulido electrolítico de muchos objetos en la industria, en especial aquellos fabricados de acero inoxidable, obteniéndose piezas con la superficie muy lisa y brillante, aunque éstas sean de forma laberíntica y por lo tanto muy difícil de pulir por el método mecánico. También se procesan piezas de aluminio y sus aleaciones, de cobre y sus aleaciones, etc. Se usa mucho en la fabricación de vajilla y utensilios de cocina como son cucharas, tenedores, fuentes, cucharones, etc.

Durante el proceso se produce fuerte desprendimiento de gases, por lo que se debe contar con adecuado sistema de extracción de gases y neutralización. Además, es conveniente considerar en el diseño un sistema de agitación del baño, sea mecánico o por insuflación de aire para propiciar la homogeneización de la solución y obtener un proceso uniforme y constante.

En los cuatro casos señalados, el proceso electrolítico se desarrolla fundamentalmente en la celda electrolítica ya descrita, aunque en las especialidades de galvanostegia y galvanoplastia se puede considerar como que son procesos catódicos, por cuanto las piezas que son tratadas funcionan como cátodo; en tanto que las especialidades de anodizado y electropulido son procesos anódicos, por cuanto las piezas que se tratan actúan como ánodos.

Las instalaciones que se utilizan son diseñadas de acuerdo al tipo de proceso y al tamaño y cantidad de piezas que se desea procesar en tiempo determinado.

Factores muy importantes, que entre muchos otros son tomados en cuenta por el diseñador de la planta para elaborar el proyecto correspondiente.

Ahora bien, a manera de ilustración podemos señalar que las instalaciones galvanotécnicas que existen en el mundo se pueden agrupar en tres grandes tipos de plantas:

- Plantas manuales
- Plantas semiautomatizadas, y
- Plantas automatizadas

En el primer caso están las plantas pequeñas, donde el operador lleva las piezas de tina en tina; en el segundo caso se agrupan las plantas que utilizan en muchos casos grúas o monorrieles para transportar las piezas, operación que la realiza a voluntad el operador; y en el tercer caso están aquellas plantas de proceso continuo, en las cuales los operadores participan solamente en la carga y descarga de las piezas, quedando al control de "autómatas" o cerebros electrónicos el manejo y control de las diferentes operaciones.

Las plantas automatizadas son generalmente de gran capacidad de producción y se emplea mucho en los países industrializados para su producción en serie; claro que en muchos países en vías de desarrollo también existen algunas plantas automatizadas. Su diseño y empleo es perfectamente factible para cualquier país, dependiendo fundamentalmente de la inversión como consecuencia de la política industrial y el empuje empresarial de sus miembros y el apoyo de los gobiernos. Para nosotros, los peruanos es un reto instalar la tecnología de punta en este campo para incorporarnos plenamente en la economía globalizada y podamos competir con las mismas reglas de juego que demanda la tecnología actual; capacidad técnica la tenemos, y esperamos que las políticas financieras y económicas que se pongan en práctica, estén claramente encaminadas hacia este objetivo. A manera de ejemplo podemos detallar algunos gráficos de distribución de planta que visualizan mejor lo manifestado:

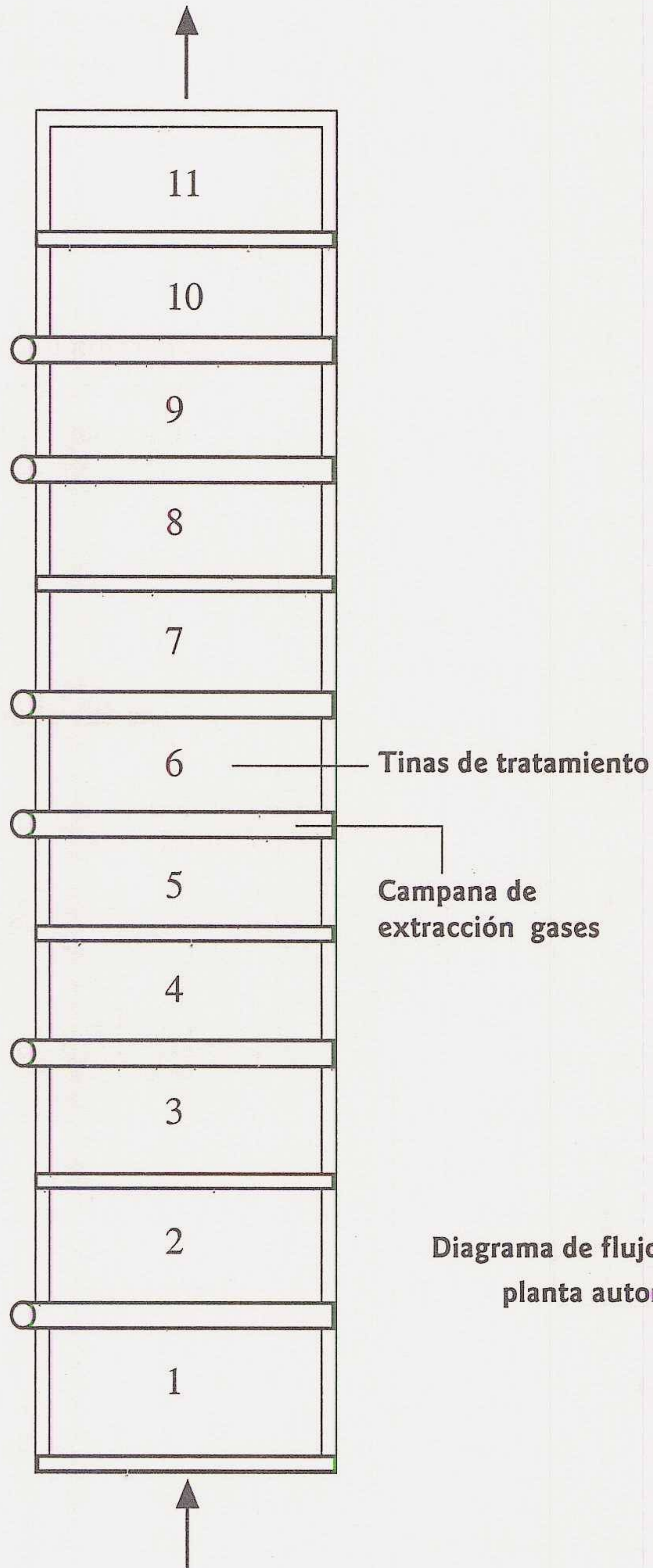
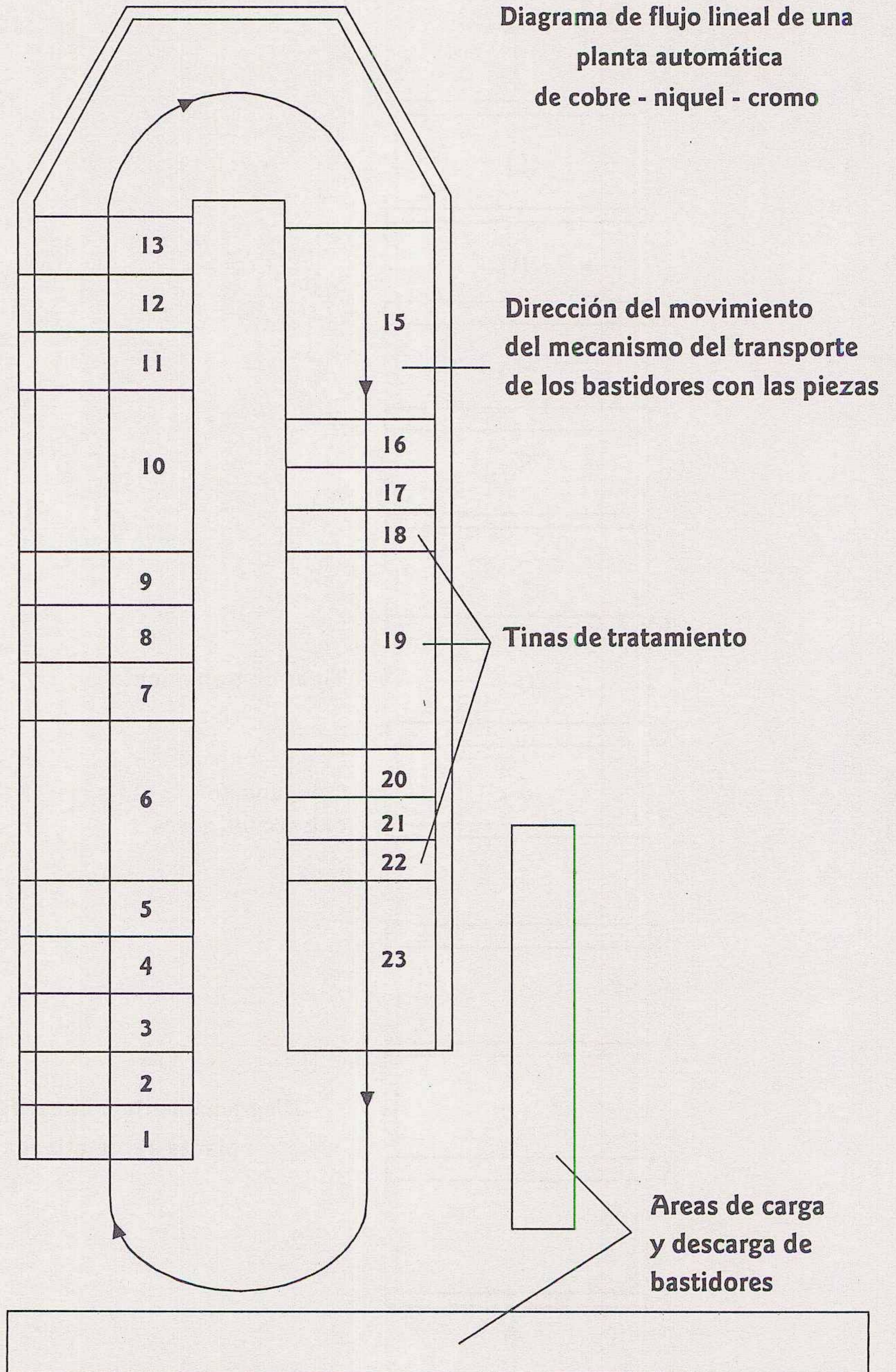
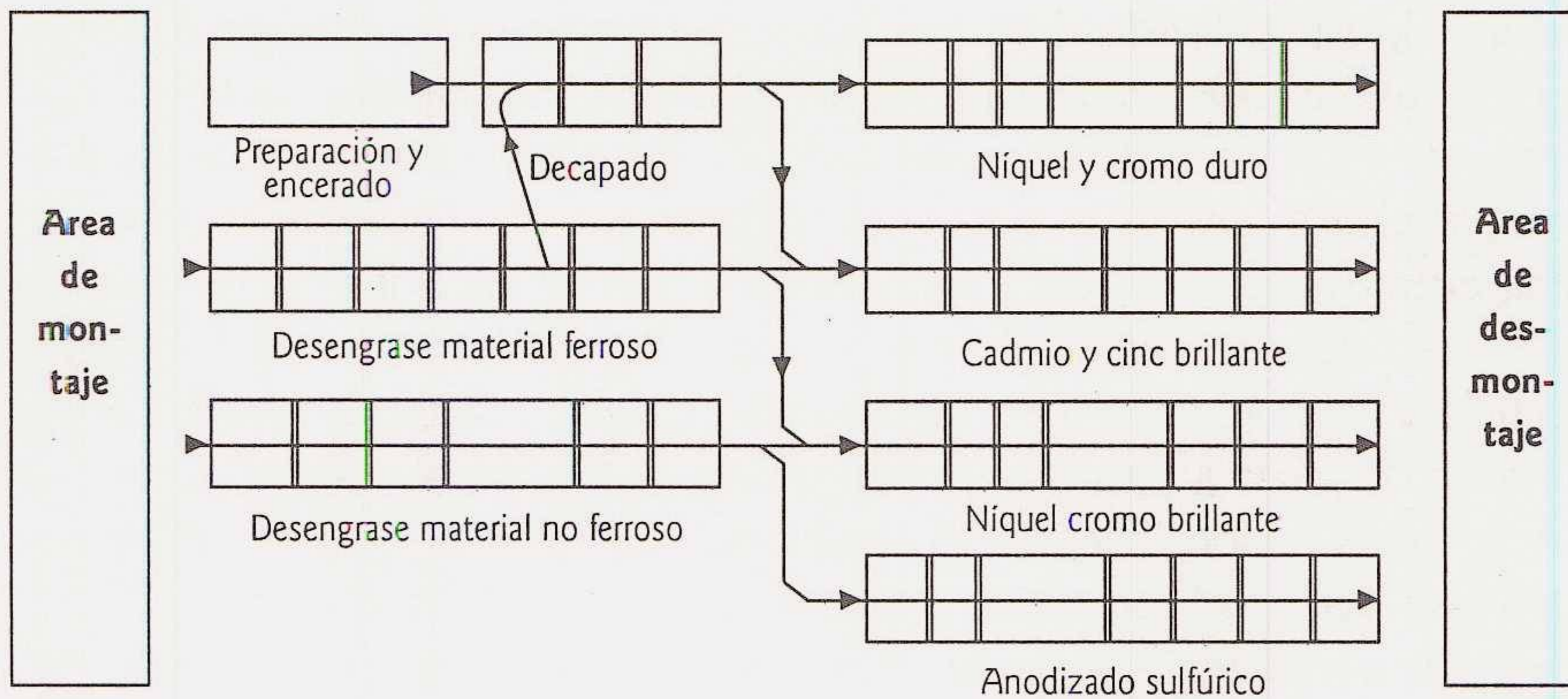


Diagrama de flujo lineal de una planta automatizada





Ahora pasaremos a ver un poco sobre la normalización y la necesidad de realizar los trabajos con calidad como requisito fundamental para obtener productos que puedan competir con los fabricados en cualquier parte del mundo.

Como primer enfoque debemos hacernos siempre la pregunta..... ¿Contamos con todos los elementos necesarios para realizar trabajos de calidad?..... Tal vez nos encontremos con algunas sorpresas y nada agradables por cierto. En primer lugar debemos reconocer y aclarar que lamentablemente existen algunas costumbres que poco o nada contribuyen en este propósito. Si evaluamos desde la perspectiva de que la calidad final del producto es el resultado de numerosas operaciones que los hombres y las máquinas realizamos con el propósito de obtener el producto planeado, y si vemos que los resultados no siempre son conforme a lo esperado o que faltan ciertos elementos, muchas veces definidos, pero no se utilizan porque existen limitaciones financieras u otras que hacen variar la ortodoxia de los procedimientos. Si nos ponemos a meditar detenidamente sobre las causas de tales imposibilidades podríamos llegar a conclusiones no muy satisfactorias; pero no por ello podemos dejar de analizar y reflexionar sobre los aspectos que involucran la calidad, todo lo contrario, debemos analizar y establecer estrategias para perfeccionar los procedimientos y equipamiento que permitan obtener siempre productos de buena calidad.

El concepto de calidad es global, la cual no solo depende de la calidad de las piezas fabricadas, sino también del conjunto de acciones que involucran el desenvolvimiento de la empresa, es decir la organización en función de satisfacer a

plenitud la demanda del cliente, pero la empresa también son las personas sea cual fuere el puesto que le toca desempeñar en ella, tales como logística, finanzas, producción, etc; de modo tal que las acciones que realicen cada persona contribuirá en la calidad final del producto que la empresa venda. Si vemos un poco más atrás diremos que las personas miembros de la empresa se comportan generalmente influenciadas por las costumbres y modos de vida social, como el hogar, la escuela, el colegio, la universidad, el barrio, etc. De modo que esta reflexión nos lleva a comprobar que la calidad es consecuencia de todas las acciones y comportamiento del personal, además de los procedimientos y el equipamiento que se emplea y que la calidad de las empresas se refleja en la calidad del país y por consecuencia repercute en la calidad de vida que nos prodigamos. Todo ello sólo nos lleva a definir que la calidad debe estar presente en todos nuestros actos y que la mejor manera de lograrla es practicando la cultura de la calidad, la cual se debe cultivar y perfeccionar en todo momento.

Ahora bien, ¿Cómo logramos la cultura de la calidad? Antes diremos que la calidad es el conjunto de cualidades de las personas o de las cosas, y que las cualidades son cultivadas a lo largo del proceso de formación o de fabricación. Las cualidades son evaluables y mensurables tanto en las personas como en las cosas; así se puede evaluar la honradez, la puntualidad, la eficiencia, etc en las personas, o el volumen, la superficie, dureza, brillo, etc en las cosas; pero para medirlas o compararlas se requiere del establecimiento de reglas, parámetros de comparación a las que se les denomina normas, que se establecen previamente. Entonces podemos responder a dicha pregunta señalando que logramos obtener la cultura de la calidad mediante el cumplimiento de normas, muchas de ellas de acción automática y enmarcada dentro del hábito personal; es decir practicando también la cultura de la norma.

A través de los años de existencia de la humanidad, el hombre se ha preocupado de establecer numerosas normas, tanto para regular el comportamiento humano como para elaborar los productos de toda índole, y lógicamente que mientras mejor se cumplan las normas, la calidad de las acciones y el resultado de los trabajos será mejor. Entonces diremos que la tarea más importante para lograr la calidad es el cumplimiento de las normas.

Si profundizamos un poco en la parte técnica, podemos afirmar que para la fabricación de partes diversas con las cualidades de calidad aceptables, se deben

observar fielmente las diferentes normas que involucran su fabricación y verificaciones de calidad. Solo así es posible que nuestros productos puedan compararse con los productos equivalentes que se fabriquen en otras partes del mundo, o intercambiarse con ellos, o que se puedan introducir en la línea de montaje de diferentes equipos en otros países; y por lógica, las mayores posibilidades de éxito se tiene si los productos cumplen con las normas, igual o mejor que los productos de la competencia, mejor aún si se logra la excelencia de la calidad de nuestros productos, es decir que sean los mejores de los productos equivalentes.

Estas normas ligadas al proceso de fabricación generalmente se conocen como normas técnicas que no son otra cosa que las leyes técnicas, las leyes que se dictan para las cosas y los trabajos de manufactura; y por lo tanto su cumplimiento por parte de los humanos que las manipulan será el mejor exponente de la certificación de calidad.

Entonces ¿Qué es una norma técnica? Es una publicación técnica concertada y aprobada por organismo competente. Sencillo verdad?... Es cierto que elaborar una norma técnica es muy fácil, basta con reunir un equipo de gente calificada de manera muy similar a lo que ocurre en el Parlamento y otorgarles las facilidades para la elaboración de las leyes técnicas.

Otra pregunta inmediata es ¿Qué contiene la norma técnica? ¿Qué la hace tan importante y a la vez fácil de elaborar? ... Diremos entonces que la norma técnica contiene la definición del trabajo que comprende, los objetivos y el alcance del mismo, los campos de aplicación, la definición de los principales términos que se emplean y el significado de dichos vocablos, los atributos del trabajo que deben ser medidos, los métodos y aparatos de medición, su descripción, los procedimientos de medición, los modos de evaluación y determinación del diagnóstico final.

El órgano oficial de normalización en el Perú es el INDECOPI, entidad que se encarga de aprobar las normas técnicas peruanas de carácter recomendable; y por lo tanto, tiene numerosas normas técnicas aprobadas en diferentes materias, sin llegar a cubrir actualmente la totalidad del campo industrial, pero que se incrementan progresivamente en la medida que lo demande el sector industrial. Ahora bien, el hecho de que no existan normas técnicas peruanas en todas las áreas de la indus-

tria, especialmente en el área de galvanotecnia, no significa que no se pueda utilizar las normas técnicas como instrumentos de calidad. Existen procedimientos alternos, que pueden hacer que su empleo sea un poco más difícil, pero igualmente válidos y muy necesarios si se quiere lanzar al mercado productos de calidad reconocida y capaz de competir con productos extranjeros. Para esto se puede recurrir a las normas internacionales como las normas ISO, o las normas equivalentes establecidas en otros países, tales como las normas ASTM, AINSI, MIL de EEUU, AFNOR de Francia, BSI de Inglaterra, CSA de Canadá, UNE de España, DIN de Alemania, IRAM de Argentina, ABNT de Brasil, etc.

En el Perú las normas técnicas llevan por nombre genérico NORMAS TÉCNICAS PERUANAS, cuyas siglas son NTP.

Como una manera de contribuir al incremento de las normas técnicas peruanas y a fin de fomentar e impulsar en lo posible la formación de un comité que se encargue de establecer las normas para las aplicaciones galvanotécnicas en la industria metal mecánica, he propuesto, en mi reciente libro titulado "TRATAMIENTO ELECTROLITICO DE SUPERFICIES", un proyecto de norma técnica denominada "RECUBRIMIENTOS DE NIQUEL-CROMO Y COBRE-NIQUEL-CROMO SOBRE SUPERFICIES METALICAS", haciendo la recomendación para que INDECOPI acogiera esta propuesta y en la medida de lo posible establezca el comité correspondiente y apruebe dicha norma, además de otras normas conexas.

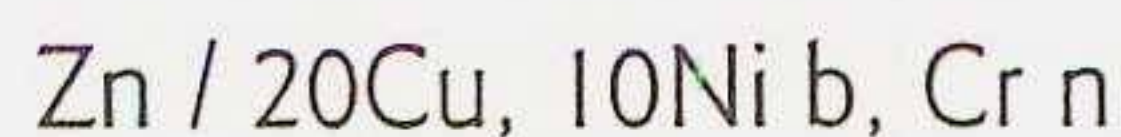
¿Por qué se ha hecho esta propuesta y considero que es muy necesario su aprobación y empleo?... Son varias las razones para ello, entre otras se puede mencionar que la principal, tal vez, sea la necesidad de darle nombre y apellido a cada trabajo galvanotécnico, es decir la necesidad de definir y diferenciar un trabajo de otro para evitar confusión y mal empleo de los procesos con repercusiones de fallas de calidad en el empleo de las piezas tratadas en algunos casos, o elevación innecesaria de costos en otros casos; por ejemplo un recubrimiento de oro para bisutería y un recubrimiento también con oro para monturas de anteojos deben ser diferentes en espesor, por su empleo y costos, lógicamente.

Para aclarar esta figura diremos que es posible obtener dos piezas aparentemente idénticas a simple vista, pero que no son exactamente iguales cuando se miden sus atributos.

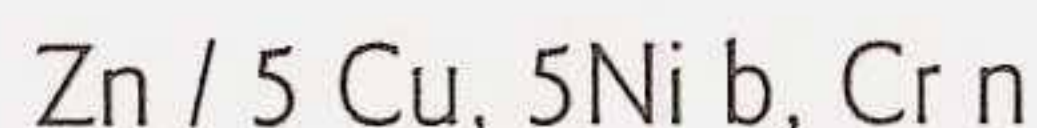
Otro ejemplo de esta situación, que ocurre cuando no existe diferenciación de los trabajos, puede ser cuando dos piezas han sido cobreadas, niqueladas y finalmente cromadas, pero si medimos los espesores de cada capa, es posible que una sea más gruesa que la otra, en cuyo caso el comportamiento será diferente en el trabajo. No olvidemos que el espesor de una capa de protección de cobre-níquel-cromo, debe ser diferente en una pieza que trabaja en la puerta de una casa, comparado con el espesor requerido en otra pieza que trabaja en una puerta instalada en un barco, donde el ambiente salino es muy agresivo y acelera la corrosión; pero si no conocemos que espesor le corresponde a cada caso, podemos incurrir en errores lamentables que se contraponen a la calidad de los productos. Es evidente que si la pieza con capa delgada la ponemos a trabajar en un ambiente agresivo, como el marino por ejemplo, se malogrará muy rápidamente. Entonces lo correcto es darle el espesor de capa adecuado y previamente establecido para cada caso, debiendo ser determinado y aplicado sin confusión alguna; lo cual sólo se logra mediante la utilización de la norma técnica como herramienta.

Entonces podemos afirmar que cada trabajo debe tener su nombre y apellido propio para diferenciarlos unos de otros, aunque sean parecidos en el concepto general, es decir que deben tener sus propios atributos que pueden ser medidos y verificados en las operaciones de control de calidad.

A manera de ejemplo se puede mencionar la nominación simbólica para un determinado trabajo, que consiste en depositar sobre las piezas fabricadas de aleaciones de cinc, una capa compuesta de 20 micrones de cobre, 10 micrones de níquel tipo brillante, y cromo tipo normal, cuyo espesor es de 0.3 micrones. Este trabajo se puede representar de la siguiente manera:



Otro trabajo que puede ser válido para piezas que operan en ambientes menos agresivos, siendo estas fabricadas del mismo material de cinc, se puede representar como sigue:



Cuando hablamos de ambientes más o menos agresivos estamos hablando de las condiciones de servicio, es decir las características del medio ambiente donde

deben operar las piezas terminadas, y que como ya hemos dicho pueden ser diferentes. Estas condiciones de servicio se pueden clasificar en:

1. Muy suave
2. Suave
3. Moderado
4. Severo
5. Muy severo

La clasificación 1 corresponde a un medio ambiente seco y no agresivo, en tanto que la clasificación 5 corresponde a un ambiente agresivo como el salino del mar, o de algunas plantas industriales.

La norma técnica por lo tanto contempla todos estos factores y los recubrimientos que se apliquen sobre las piezas, deben hacerse haciendo referencia a tal o cual nomenclatura de la norma, como los ejemplos indicados, lo que significa que dichos recubrimientos deben cumplir las especificaciones que ella representa, y deben pasar las pruebas de calidad igualmente fijadas en la norma; y por lo tanto también sirve para establecer las dirimencias en caso de conflicto entre el usuario y el productor.

Para terminar solo deseo hacer una exhortación a todos ustedes para reflexionar sobre la importancia que tiene el empleo de la norma técnica y lo indispensable que resulta utilizarla si queremos realizar trabajos con calidad aceptables en cualquier parte del mundo, ahora que la economía globalizada obliga a competir con productos que igualmente pueden provenir de otras latitudes.

Gracias.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Celda Electrolítica Galvanotécnica

Es un conjunto de elementos conformado por el recipiente, la solución (baño electrolítico) y los electrodos (ánodos y cátodos), donde, por acción de cierta cantidad de energía eléctrica externa, se producen una serie de reacciones químicas que dan lugar a la formación de un recubrimiento metálico sobre el cátodo, o a la formación de una capa de óxido metálico sobre el ánodo. Algunas veces se produce solamente un alisamiento de la superficie de las piezas. Todos ellos con fines industriales o artísticos en beneficio de la humanidad.

El diagrama típico de una celda electrolítica se detalla en la Fig. 1.

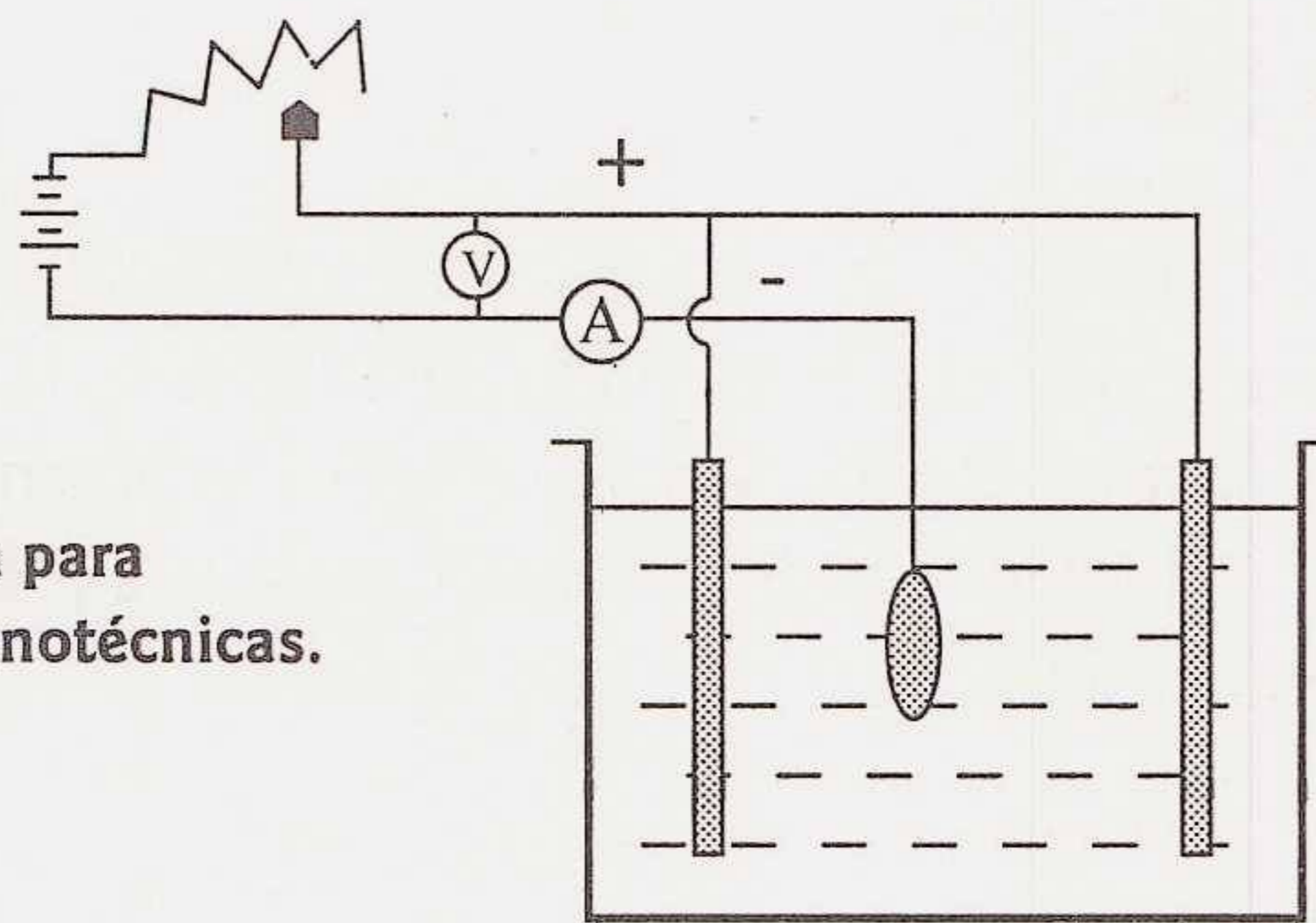


Fig 1.- Celda electrolítica para aplicaciones galvanotécnicas.

Principios de la electrodeposición

Los principios de la electrodeposición fueron investigados por Faraday, expresándose en los enunciados siguientes:

a) El peso (W) de un metal depositado es proporcional a la cantidad de electricidad consumida en un tiempo determinado.

$$W = I \times t$$

La Intensidad I se expresa en Amperios y el tiempo t se expresa en segundos.

b) Para la misma cantidad de corriente, el peso del material depositado es proporcional a sus equivalentes químicos.

Peso equivalente es el peso de un elemento o radical que combinará o reemplazará a ocho partes por peso de oxígeno en una reacción química específica. También se considera como peso equivalente, al peso atómico de un elemento, dividido entre su valencia. La Capacidad que tiene un elemento para combinarse, o sea reemplazar uno o más átomos de hidrógeno en una reacción, se llama Valencia.

Mediante la aplicación de estos principios, se han fabricado diversos equipos para propiciar y controlar las diferentes variables (cantidad de corriente, voltaje, tiempo de deposición, etc.), y también se han diseñado muchísimas fórmulas para la preparación de los baños que se necesitan en un proceso electrolítico; lo cual permite realizar la eletrodeposición en la cantidad y el acabado que uno desea y calcula de acuerdo a los estudios previamente realizados.

Potencial de celda

El voltaje (V) entre el ánodo y el cátodo de una celda electrolítica se llama Potencial de Celda, que está constituido por la sumatoria de la diferencia de potencial que existe entre el cátodo y la solución (Z_c), el potencial que cae a través de la solución (Z_s) y la diferencia de potencial entre el ánodo y la solución (Z_a). Se puede representar mediante la ecuación siguiente:

$$V = Z_c + Z_s + Z_a$$

La caída de potencial entre el ánodo y el cátodo dependerá de las sales disueltas en la solución. A mayor concentración de sales, la caída de potencial será menor. La diferencia de potencial entre el cátodo, la solución y el ánodo es factor determinante en el comportamiento químico de los electrodos.

Densidad de la corriente eléctrica

Cuando la corriente eléctrica aplicada en un proceso electrolítico es referida a un área específica, se le denomina densidad de corriente; la misma que usualmente se expresa en una cantidad de amperios por el área seleccionada. Esta puede ser expresada en varias unidades de medida, por ejemplo amperios por decímetro cua-

drado (amp/dm^2), o amperios por pulgada cuadrada ($\text{amp}/\text{sq in}$), etc.

Los valores de la densidad de corriente que se apliquen durante el proceso están en función del proceso mismo, la composición del baño, la temperatura, la cantidad de piezas, etc.; los mismos que deben ser conocidos y tomados en cuenta por el diseñador del proceso y los operadores, para una selección correcta.

Como regla general, la distribución del depósito es más uniforme cuando se trabaja a baja densidad de corriente que dentro de los rangos altos; pero también debe tenerse en cuenta que la velocidad de deposición es mayor cuando se utiliza mayor densidad de corriente.

Estos extremos encierran un amplio rango entre el cual debe moverse el galvanoplasta para la ejecución del trabajo, el mismo que será más eficiente en la medida que se conozcan y utilicen adecuadamente los diferentes factores que influyen en el proceso.

Reacciones químicas

Durante el proceso electrolítico, que en la práctica resulta fácil de realizar, se producen una serie de reacciones químicas de oxidación y reducción, cuyo desarrollo trataremos de explicar en lo posible, de manera simple, tomando como ejemplo las reacciones que se producen cuando se realiza un recubrimiento de cobre sobre una superficie metálica sumergida en solución de sulfato de cobre.

El sulfato de cobre en contacto con el agua, se disocia de acuerdo a la siguiente reacción:



De igual manera el agua también se disocia dando origen a la siguiente reacción:



Estos iones pueden existir independientemente unos de otros en la solución, pero siempre deberán estar eléctricamente en equilibrio; es decir que el número de cargas positivas y negativas deben ser iguales.

Si a esta solución se aplica un potencial de corriente eléctrica continua entre dos electrodos sumergidos, uno de ellos con corriente positiva y el otro con corriente negativa, tal como se puede apreciar en la Fig. 1; entonces se producirán cambios en su interior, de modo que los iones efectuarán un desplazamiento dentro de la solución para encontrarse con los electrodos de carga opuesta. Así se podrá observar que los iones cargados positivamente viajarán al cátodo o electrodo negativo, donde se descargan y depositan como metal o forman hidrógeno gaseoso al ganar electrones cedidos por el cátodo; mientras tanto los iones cargados negativamente viajarán al ánodo o electrodo positivo donde completan otras reacciones y ceden sus electrones para formar oxígeno. Si los ánodos son solubles pierden electrones para dar origen a los iones metálicos correspondientes, que pasan a la solución. Estas reacciones se pueden expresar gráficamente en la fig. 2.

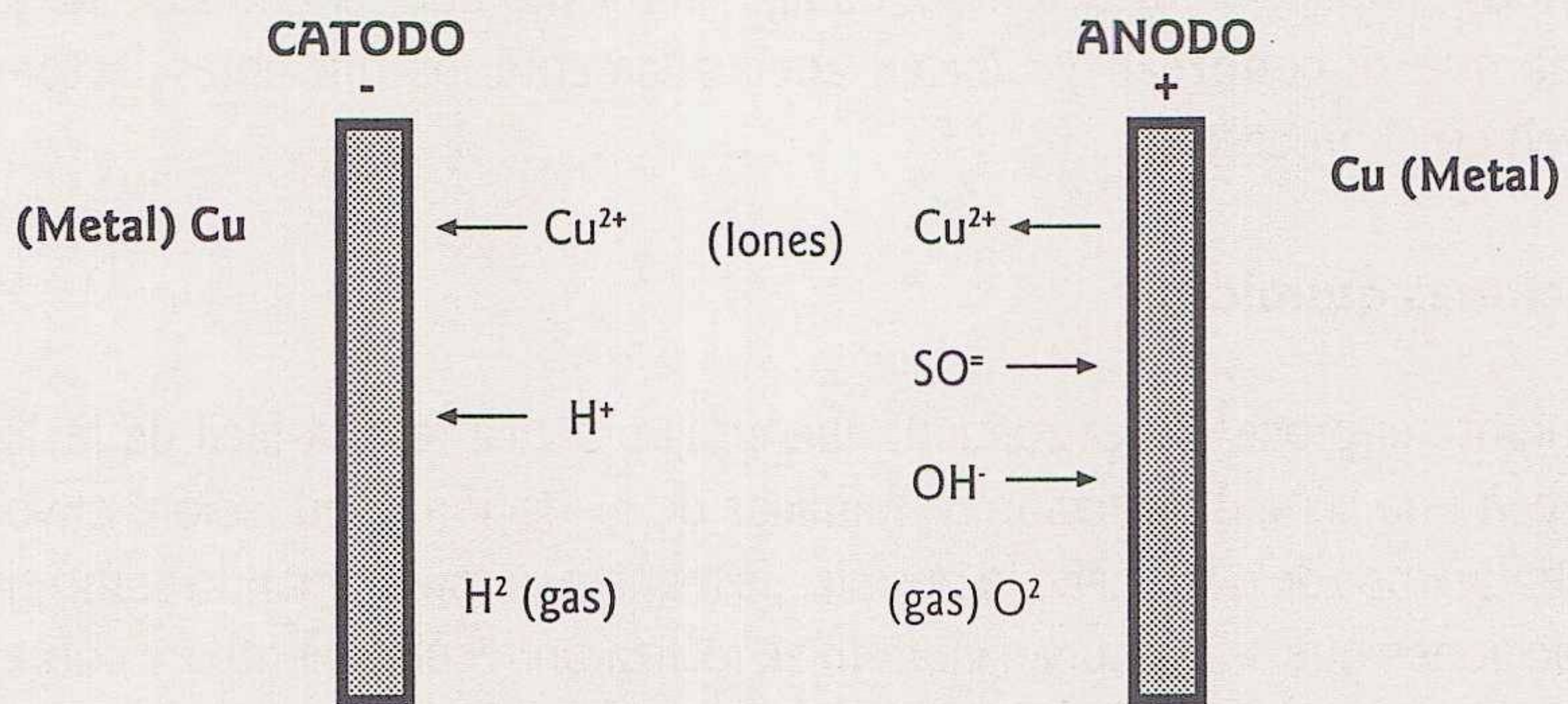


Fig. 2

Los iones de cobre (Cu^{2+}) se descargan en el cátodo mediante una reacción química de reducción en la cual dichos iones ganan dos electrones. Esta reacción se puede representar mediante la siguiente ecuación:



Este cobre descargado sobre el cátodo forma una capa metálica cuya estructura se adhiere fuertemente a la pieza.

Los iones de hidrógeno que son atraídos sobre el cátodo ganan electrones proporcionados por la corriente eléctrica, descargándose en forma de gas que

finalmente asciende hasta la superficie de la solución. Esta reacción se puede representar mediante las siguientes ecuaciones:



Es de particular importancia el hecho de que parte de este hidrógeno gaseoso que se forma en el cátodo, aunque en pequeña escala, puede ser ocluido dentro de la estructura del depósito, lo cual puede causar disturbios en el acabado final hasta hacerlo frágil y quebradizo, según la cantidad de gas atrapado.

En el ánodo, las reacciones se producirán de acuerdo al material de que esté constituido, ya sea soluble como es el cobre en el caso del ejemplo, o insoluble como cuando se emplea ánodos de acero inoxidable, plomo etc. Cuando el ánodo es insoluble, los iones metálicos que se depositan sobre el cátodo provienen íntegramente de la solución electrolítica, en la cual previamente se han disuelto las sales que contienen el metal que se desea depositar.

Al mismo tiempo que se producen las reacciones químicas en el cátodo, los iones $(\text{OH})^-$, así como los iones $(\text{SO}_4)^=$, se desplazan al ánodo.

Si la corriente eléctrica aplicada es de bajo potencial, se produce solamente la disolución del ánodo, mediante la reacción siguiente:



Pero si el potencial de celda se incrementa, se producen otras reacciones y por consecuencia se descarga el ion hidroxilo, dando lugar a la formación de oxígeno, de acuerdo a la siguiente reacción:



Los iones $(\text{SO}_4)^=$ que también son atraídos por el ánodo, no alcanzan a ser descargados en las condiciones normales de trabajo, debido al bajo potencial de corriente eléctrica que se aplica; aunque siempre existe la posibilidad de provocarlo si se trabaja con potencial de corriente más alto.

Los electrones cedidos al ánodo mediante las reacciones señaladas, viajan luego hasta el cátodo por el circuito externo a la celda electrolítica de ensayo.

Cuando en el baño se encuentran otros constituyentes metálicos, como parte de su composición original o por contaminación, es lógico de suponer que también se producen con ellos reacciones similares a las descritas.

Si la cantidad de cobre que se deposita en el cátodo es igual a la que se disuelve en el ánodo, el contenido de cobre en la solución permanecerá constante; aunque, como es fácil de comprender en la zona adyacente al ánodo habrá gran concentración de iones de cobre, en tanto que en la vecindad del cátodo habrá deficiencia de iones metálicos, en la medida que éstos se depositan como cobre metálico en dicho cátodo. Entonces para favorecer el proceso, usualmente se agita la solución a fin de mantenerla homogénea. Para ello se pueden emplear métodos mecánicos por agitación de las piezas en el baño electrolítico, o por insuflación de aire, propiciando la llegada eficaz de los iones de cobre a la zona del cátodo o de electrodeposición.

Cuando se emplean ánodos insolubles, se producen reacciones similares al caso anterior, excepto las concernientes a la disolución del ánodo que obviamente no se produce.

pH de una solución

El pH es una forma conveniente de expresar la concentración del ion hidrógeno libre en una solución, por consiguiente es la manera de medir su acidez o alcalinidad. La escala de medición del pH es convencional y se extiende de 0 a 14, considerándose como neutro el valor de pH 7, que a su vez corresponde al pH del agua, cuya concentración de iones de hidrógeno activo es de 0.0000001, o sea $(10)^{-7}$ iones gramo por litro. El incremento de iones hidrógeno activos en el agua, a causa de algún ácido que se agregue, produce el correspondiente incremento de la acidez, lo cual significa que el agua modifica sus propiedades y por lo tanto deja de comportarse como tal, para convertirse en una solución ácida. También puede convertirse en una solución alcalina cuando por efecto de alguna sustancia disminuye su concentración de iones hidrógeno activos.

Para mayor facilidad en la medida del pH, se han inventado dispositivos y aparatos que miden la acidez o alcalinidad de las soluciones en función del logaritmo

negativo de la concentración de los iones de hidrógeno, expresado de la siguiente manera:

$$\text{pH} = -\log_{10}(\text{H}^+)$$

Por consiguiente si el pH 7=0.0000001 iones gramo por litro, el pH 4 será igual a 0.0001 iones gramo por litro. De esta manera se ha creado las escalas correspondientes entendiéndose que en el rango del 0 al 6.999, el pH será ácido y en el rango del 7.001 al 14 el pH será alcalino; siendo mayor la acidez en la medida que su valor se aproxima al 0 y por el contrario será mayor la alcalinidad en la medida que el pH se aproxima a 14.

Disociación iónica

Se conoce como disociación iónica al proceso en el cual una sustancia es disuelta en el agua mediante una reacción reversible. La disociación puede ser total o parcial, variando de una sustancia a otra de acuerdo a las propiedades de la misma, a su concentración, y a ciertas condiciones externas como la temperatura, agitación, etc.

La disociación iónica tiene influencia sobre la conductividad eléctrica, produciendo efectos diferentes de acuerdo a la concentración molecular. Así por ejemplo se tiene que una solución de ácido sulfúrico tendrá mayor conductividad eléctrica que el mismo ácido cuando se encuentra concentrado. Caso similar ocurre con otras sustancias como las sales o hidróxidos.

La pobre conductividad en soluciones muy concentradas se debe a que existe superpoblación de iones que limitan su libertad de movimiento ante la aplicación de la corriente eléctrica.

Este fenómeno de la disociación química también tiene influencia sobre la actividad química de las sustancias; así por ejemplo, se tiene que la normalmente débil disociación del ácido bórico, llamada también «reserva de acidez» en los electrolitos como las soluciones de niquelado, continúa con una reacción remanente, aún después de que gran parte de los iones hidrógeno se agotan en la solución como consecuencia del proceso mismo, disminuyendo la acidez de la solución. Entonces esta «reserva de acidez» provee nuevos iones hidrógeno produ-

cidos por la disociación de parte del ácido bórico que hasta entonces no fue disociado, prolongando la acidez de la solución a niveles adecuados para el trabajo del baño electrolítico. Es por ésta razón que el ácido bórico se emplea en los baños de niquelado como regulador de la acidez del baño.

Soluciones Tampón

Conocidas también como buffers. Son compuestos químicos que se disocian parcialmente en la solución. Se utilizan en galvanotecnia para reducir los cambios bruscos que se pueden presentar cuando se agregan ácidos o álcalis fuertes a las soluciones con la finalidad de controlar el pH, produciéndose un efecto de autorregulación de la solución, y actuando fundamentalmente en las zonas donde se producen los cambios con mayor rapidez, como son las proximidades del cátodo donde se produce el hidrógeno como gas y por consecuencia se desprende de la solución enrareciéndola de iones hidrógeno.

Cuando el pH de las soluciones electrolíticas que trabajan en el rango ácido, se eleva bruscamente hasta tornarse alcalinas, es posible que se presente una precipitación de los hidróxidos que se forman, ocasionando por consecuencia disturbios en el proceso electrolítico; los cuales se pueden evitar, en gran parte, mediante el empleo de las soluciones tampón.

Eficiencia de la corriente eléctrica

Se considera como eficiencia de la corriente eléctrica a la proporción del total de corriente aplicada, que realmente se consume en el proceso galvánico. Esta puede ser catódica y anódica.

Eficiencia catódica es la proporción de corriente eléctrica que es empleada para la deposición del metal sobre el cátodo. Su cálculo se basa en la medición de la corriente que fluye a través del baño durante el proceso, para lo cual se puede utilizar un culombímetro colocado en serie con la barra catódica. La medición de la corriente consumida durante el proceso, permite calcular el peso teórico que corresponde a dicha lectura; que luego es comparada con el peso real del depósito obtenido en el proceso señalado. De esta manera se obtiene el porcentaje de eficiencia en esas condiciones de trabajo. La eficiencia de la corriente varía también según las condiciones de operación que se emplean durante el proceso; así por

ejemplo influyen en la eficiencia de la corriente eléctrica la densidad de corriente que se emplea, el pH del baño, la temperatura de trabajo, la concentración metálica en el baño, etc.

La Eficiencia Anódica, de igual forma, puede ser expresada como la relación entre el peso real del ánodo que se disuelve durante el proceso y el peso teórico del mismo que se obtiene como consecuencia de la medición de la corriente eléctrica que fluye por el baño, expresado en porcentaje.

Tiempo y velocidad de la electrodeposición

Para obtener un espesor deseado de electrodepósito, es posible calcular el tiempo requerido conociendo la eficiencia catódica y la velocidad de deposición; así es posible calcular también, la cantidad de amperios-minuto por aplicarse para obtener dicho espesor. La eficiencia catódica y la velocidad de deposición depende de la composición del baño, temperatura, densidad de corriente. etc.

Por ejemplo, si se trata de cromar una superficie de un decímetro cuadrado (dm^2), hasta lograr un espesor de depósito de un micrón (1 μ) se pueden efectuar los siguientes cálculos:

$$\text{Volumen del depósito} = 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 0.001 \text{ mm} = 10 \text{ mm}^3$$

Entonces, conociendo que la densidad del cromo de 6.92 gr/cm^3 , se tiene que:

$$10 \text{ mm}^3 \text{ de cromo} = 69.2 \text{ mg de peso}$$

Para un cálculo teórico sobre un baño de cromo en el cual; se considera hipotéticamente una eficiencia de 100%, cuya deposición se estima en 356 mg/hora, al aplicar un amperio de corriente por decímetro cuadrado durante un minuto, la deposición de cromo sería de:

$$1 \text{ amperio-minuto} = 356/60 = 5.93 \text{ mg de cromo}$$

de donde se desprende que para depositar los 69.2 mg que pesa un decímetro cuadrado (dm^2) de una capa de cromo con un espesor de 1 micrón, y con 1 amp. de corriente se necesitan 11.67 minutos (11.67 amperio-minuto). Sin embargo en la práctica, la eficiencia de la corriente en el cromado es de 19 %, por lo que sería

necesario ($11.67 \times 100/19$) 61.42 amperio- minutos; pero si se aplica 40 amperios en lugar de uno, entonces el tiempo requerido para depositar el mismo espesor de un micrón será de $(61.42/40)$ 1.54 minutos, o sea 1 minuto con 32 segundos.

Estos cálculos, aunque teóricos son de aplicación práctica, con las modificaciones que introducen las variables de rendimiento o eficiencia que a su vez están condicionados por la composición del baño, la temperatura, etc.

FORMACION DE UN DEPOSITO ELECTROLITICO

La capa que se deposita mediante un proceso galvánico, está constituida por cristales cuya formación y textura determinarán finalmente las características y comportamiento de la misma.

En todo proceso de cristalización se observan dos etapas fundamentales:

- La formación de los gérmenes cristalinos
- El desarrollo de los mismos hasta lograr la estructura final.

La primera etapa se desarrolla según la teoría de Blum y Rawdon de acuerdo a los tres principios siguientes:

1) La descarga de los iones sobre el cátodo y la cristalización del metal que se deposita, son simultáneas; mediante la cual el ion metálico pierde su carga solamente cuando ha entrado en contacto con el cátodo, fijándose entonces en dicho punto.

2) La tensión de disolución depende del tamaño del cristal metálico, de tal manera que las fuerzas atractivas que fijan los átomos del metal que se deposita sobre el cátodo, debe contrarrestar la tendencia de ellos, a pasar a la solución.

3) La descarga de los iones se realiza en los puntos del cátodo donde la diferencia de potencial solución-cátodo es mínima.

Los iones inicialmente se descargan en toda la superficie del cátodo a manera de «siembra» de átomos insolubles que sirven de primeros gérmenes cristalinos.

Una vez formados los gérmenes cristalinos, continúa la segunda etapa en la cual se forma la estructura definitiva del depósito y dependerá de las velocidades respectivas de crecimiento y otros factores que condicionan la formación de nuevos cristales. De esta manera los nuevos átomos que se descarguen lo harán en una posición y orientación característica, que pueden contribuir al crecimiento uniforme de los cristales existentes; o en posiciones independientes al orden cristalino establecido, si se dan las condiciones para ello, dando lugar a nuevos cristales y características especiales del recubrimiento final. La orientación del crecimiento de los cristales en una u otra posición dependerá de la velocidad de empobrecimiento de la capa líquida que envuelve al cátodo, es decir, que si el empobrecimiento es débil, no se formarán nuevos cristales y por lo tanto el crecimiento continuará sobre la base de los cristales ya existentes. Por el contrario si el empobrecimiento de la capa que envuelve al cátodo es bastante alta, se producirá rápidamente la formación de nuevos cristales con el riesgo de obtener un acabado final no nivelado.

CLASIFICACION DE LOS RECUBRIMIENTOS POR SU ESTRUCTURA

Los depósitos electrolíticos, por la naturaleza de su estructura cristalina pueden dividirse en tres grupos:

- El primer grupo comprende aquellas estructuras cristalinas cuyo crecimiento ha sido continuo, sobre la base de todos los gérmenes, sin que se hayan formado nuevos cristales. Estos depósitos son por lo general brillantes y lisos, de buen acabado. La estructura de este tipo de depósito se puede representar gráficamente en la figura Nro.3.

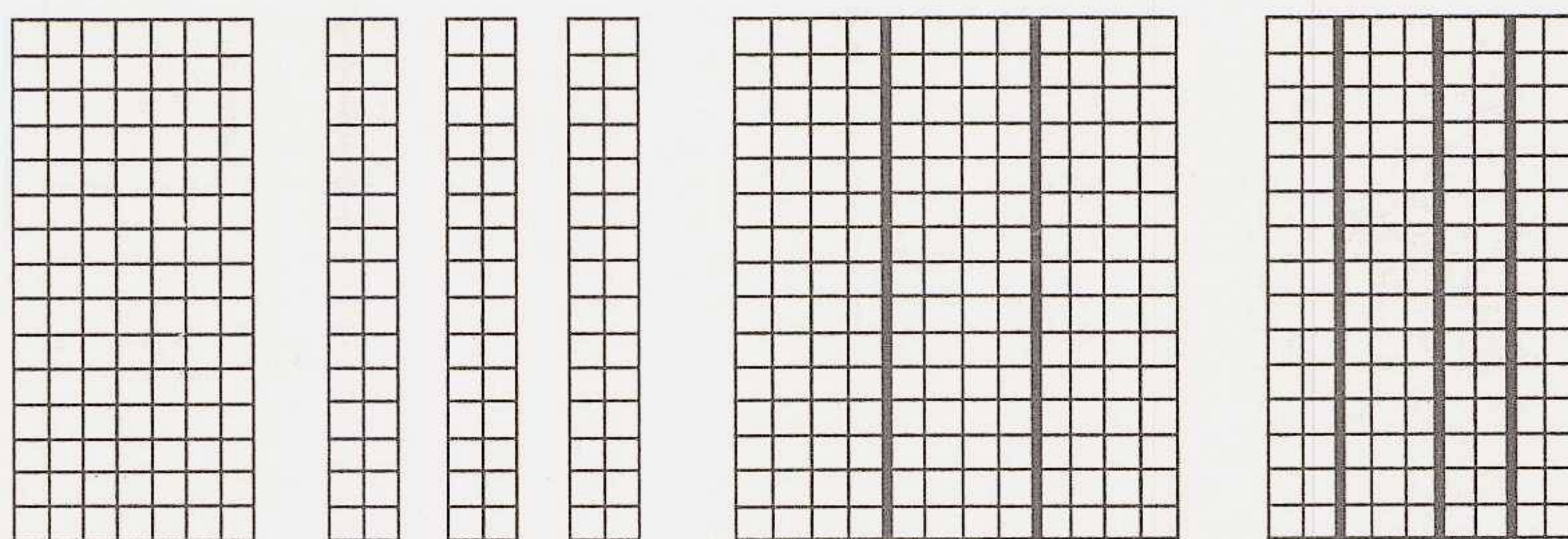


Fig. 3.- Estructura cristalina de un depósito de crecimiento continuo

En el segundo grupo se consideran aquellos depósitos en los que solamente una parte de los gérmenes cristalinos iniciales crecen hasta el final del recubrimiento, el resto se queda truncado en el interior y no llegan hasta la superficie. El acabado final puede ser liso, pero con tendencia a la fragilidad; tal como se puede expresar gráficamente en la Fig. Nro. 4.

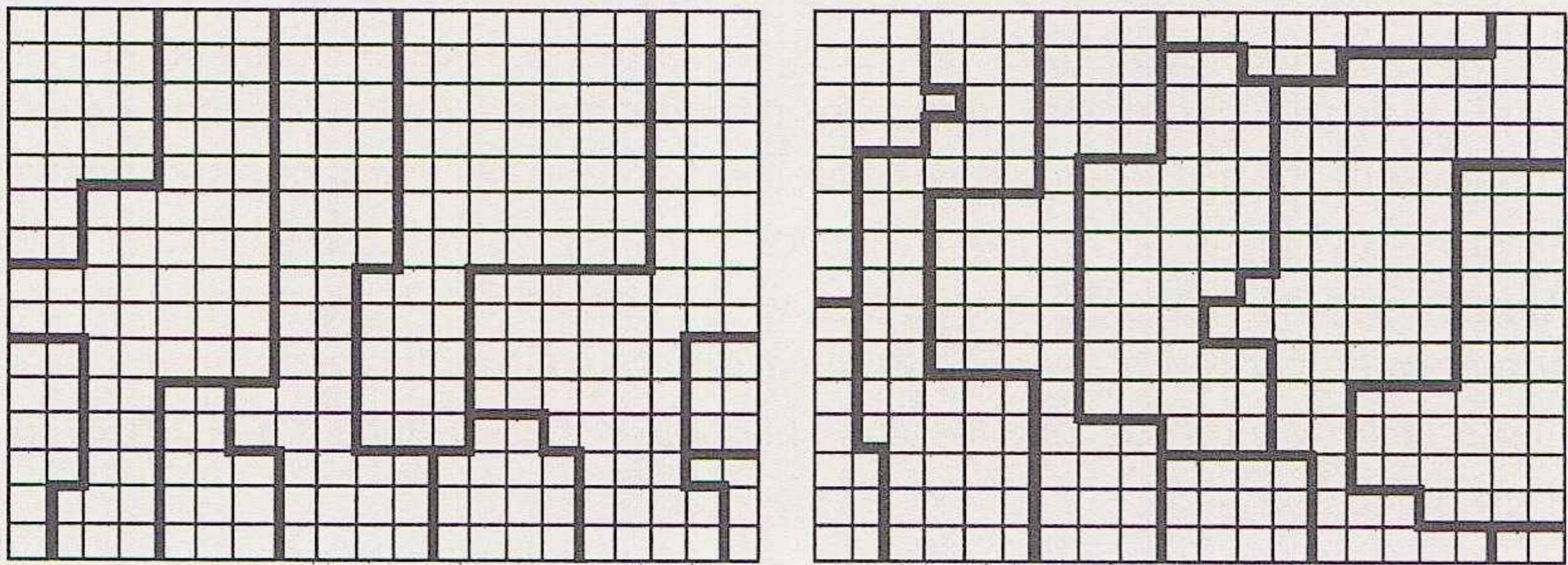


Fig. 4.-Diagrama de la estructura cristalina de un depósito de crecimiento continuo.

En el tercer grupo se consideran a todos aquellos depósitos, cuyos gérmenes cristalinos apenas se han desarrollado a causa de la formación continua de nuevos cristales, dando como resultado una estructura arborescente, esponjosa o quebradiza. Esta estructura se puede expresar gráficamente en la Fig. 5.

46

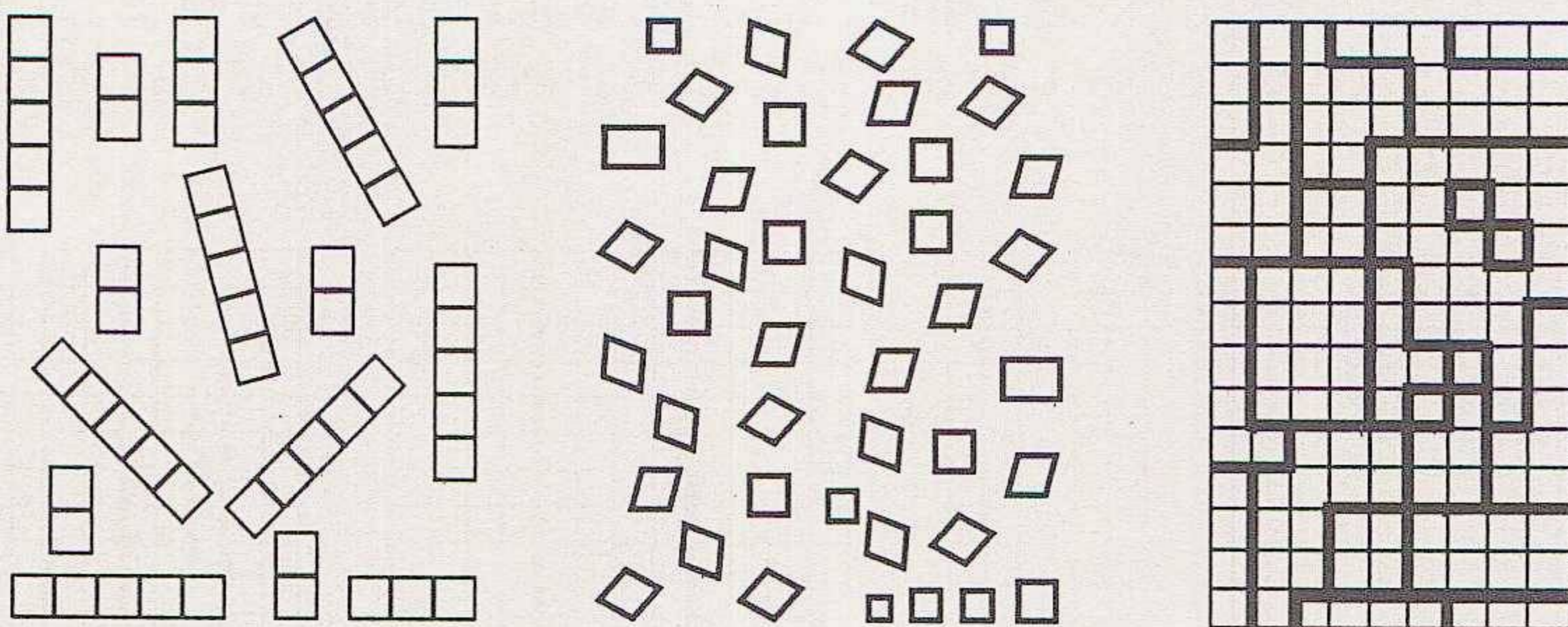


Fig. 5.-Diagramas de estructuras cristalinas en aquellos depósitos en los cuales los cristales no crecen de manera uniforme.

DEPOSITOS ELECTROLITICOS BRILLANTES

Se caracterizan éstos porque reflejan los rayos luminosos en un haz ordenado a manera de espejo. De acuerdo a las leyes de la reflexión de la luz, una superficie es más brillante cuanto menos difunda la luz y por ende cuanto más la refleje. La diferencia entre la reflexión real de una superficie metálica y la reflexión geométrica depende de la rugosidad de la superficie; de tal manera que se entiende que un depósito de gran brillo deberá corresponder a aquella superficie que sea de rugosidad casi imperceptible, en la que la altura de rugosidad sea muy inferior a la longitud de onda de la luz visible, aproximadamente 20 veces más pequeña.

Longitud de onda de luz visible : 5000 Unidades Armstrong = 0.5 μ (micrones).

Altura de rugosidad para depósito especular : 0.025 μ

Para conseguir este brillo en los recubrimientos es necesario manejar cuidadosamente todos los elementos que intervienen en el proceso, tales como la superficie a recubrir, la corriente, temperatura, los aditivos que se agregan, nivelantes, abrillantadores, etc. Por tal razón, a continuación estudiaremos brevemente la manera como influyen cada uno de estos factores:

1) Influencia de aditivos al baño

Con el nombre de aditivos se conoce a aquellas sustancias que se agregan a los baños electrolíticos, generalmente en cantidades muy pequeñas pero que son capaces de modificar la estructura cristalina del depósito, haciéndola más fina y uniforme, lo cual evita la formación esponjosa del depósito y de nódulos sobre la superficie. Por tal razón, a los aditivos se les conoce de manera general como «abrillantadores».

Sin embargo, también existen otros aditivos que modifican la tensión superficial de la solución para evitar picaduras en el depósito final; así como aditivos complejantes de los iones metálicos que se introducen como impurezas en el baño, además de otras aplicaciones específicas para favorecer al proceso y eliminar diferentes perturbaciones que se pudieren producir.

A través de los años, numerosas personas e instituciones han realizado diversos trabajos de investigación para encontrar los aditivos más apropiados que se

pueden agregar a los diferentes baños electrolíticos, de manera muy específica para cada tipo de trabajo. La mayor parte de estos aditivos han sido patentados para su comercialización consiguiente, conociéndose en el mercado mayormente por su nombre comercial, sus efectos y dosificaciones.

Debido a la gran cantidad de aditivos que han sido lanzados al mercado, existen diferentes maneras de clasificación; así por ejemplo algunos investigadores los han clasificado por su naturaleza en orgánicos e inorgánicos; otros los clasifican de acuerdo a la intensidad de brillo que producen, o también de acuerdo al modo de acción sobre el depósito, como por ejemplo la capacidad de descargarse en el cátodo junto con el depósito metálico o formar cortinas viscosas alrededor del mismo para evitar las corrientes de convección líquida.

Una clasificación práctica se puede definir en función del trabajo que realizan los aditivos durante el proceso, la cual puede considerar, por consiguiente, dos grandes grupos:

-Aditivos acondicionadores, que actúan sobre la solución como agentes primarios de brillo o reforzadores del agente abrillantador principal; También actúan como limpiadores de la solución, acomplejando las impurezas y llevándolas al fondo del baño o como agentes para disminuir la sensibilidad a las impurezas que pudieran perturbar el proceso, o como agentes para modificar y disminuir la tensión superficial del baño para impedir el picado del depósito.

-Aditivos abrillantadores propiamente dichos, que actúan directamente sobre el depósito influyendo determinantemente sobre la formación de la textura cristalina para producir acabados muy lisos y uniformes de gran poder de reflexión de la luz.

2) Influencia de la superficie

Del estado de la superficie antes del recubrimiento, depende en gran medida las características de brillo final, especialmente si el depósito es muy delgado, y por lo tanto no alcanza a rellenar los poros, obteniéndose la superficie del depósito con la misma rugosidad de la superficie del metal recubierto. Si la superficie de la pieza que se va a recubrir, está bien pulida y brillante antes del proceso, la capa que se deposite tenderá a ser brillante también. El brillo de un recubrimiento es mayor en una pieza bien pulida que cuando se recubre otra pieza no pulida en el mismo baño.

3) Influencia del espesor de capa

Normalmente un depósito electrolítico, obtenido en un baño galvánico sin aditivos especiales, es brillante cuando está constituido por una capa muy delgada; luego existe la tendencia a tornarse opaco en la medida que aumenta el espesor de capa. Una manera de alterar este comportamiento natural, y obtener depósitos brillantes aunque tengan mayor espesor es mediante el empleo de aditivos o abrillantadores los cuales provocan el comportamiento inverso de modo que los depósitos serán mas brillantes cuanto mayor espesor tengan.

4) Influencia de la densidad de corriente

Con el aumento de la cantidad de corriente que se aplica en un proceso electrolítico de recubrimiento, se logra un mayor empobrecimiento de la capa líquida alrededor del cátodo, lo cual favorece a la continua aparición de los gérmenes cristalinos que crecen sobre la estructura de los originalmente formados, aumentando por consecuencia el brillo del depósito; sin embargo, esta tendencia se produce solamente hasta cierto límite de densidad de corriente, puesto que con el exceso, los depósitos tenderán a ser quebradizos debido a la estructura cristalina esponjosa que se forma, ya que los cristales no alcanzan a desarrollarse adecuadamente, debido a la alta velocidad de deposición. Por tal razón, la cantidad de corriente que se aplica por área de superficie que se procesa debe ser dosificada y específica para cada tipo de proceso galvanotécnico, la cual varía en función del baño electrolítico, la temperatura de trabajo, la cantidad de piezas, agitación de la solución, etc.

5) Influencia de la agitación del baño

La agitación de la solución, durante el proceso, favorece a la homogenización y al rejuvenecimiento en la capa de solución electrolítica adyacente al cátodo, la misma que se empobrece en el contenido de iones durante el proceso, ofreciendo mejores condiciones para la deposición nivelada y brillante. También permite remover parcialmente las burbujas de hidrógeno que se forman en la superficie del cátodo, mejorando las condiciones para trabajar con altas densidades de corriente.

6) Influencia de la temperatura

Con el incremento de la temperatura, cuando se trata de baños ácidos, la estructura del depósito tiende a formar cristales más gruesos sobre la superficie catódica y acondiciona también al baño para soportar mayores densidades de corriente sin que se altere el acabado final; pero, en algunos casos de electrodepositos en baños cianurados, como por ejemplo el de cincado al cianuro, se producen perturbaciones en la formación del depósito a medida que se incrementa la temperatura. Este incremento de temperatura es espontáneo con el trabajo y será mayor en la medida que se emplee mayor densidad de corriente. Por tal razón es necesario diseñar la planta con los dispositivos necesarios de calentamiento o de enfriamiento según sea el caso.

7) Influencia de la concentración de sales

La composición ideal de una solución electrolítica, será aquella que tenga pocos iones que depositar y muchas moléculas no disociadas, pero dispuestas a realizarlo rápidamente, de acuerdo a las necesidades durante el proceso, liberando iones metálicos que sustituirán a los que son descargados en el cátodo. La concentración de los iones metálicos en el baño electrolítico durante el proceso se mantiene por la disolución de los ánodos siempre y cuando se mantenga la relación apropiada, generalmente de 2 a 1 entre ánodo y cátodo.

En el caso de baños electrolíticos que operan con ánodos insolubles, el mantenimiento de la concentración de los iones metálicos debe realizarse mediante el agregado de las sales correspondientes.

8) Influencia de la concentración de iones hidrógeno

En los baños electrolíticos del tipo ácido, la presencia de los iones hidrógeno (H^+) en la solución evita la formación de hidratos y sales básicas poco solubles que pueden dar lugar a la formación de depósitos esponjosos, en especial cuando el metal que se va a depositar es electronegativo. Se regula la concentración de iones hidrógeno mediante el empleo de soluciones «tampon» conforme se explicara anteriormente.

PROPUESTA DE NORMA TECNICA PERUANA

RECUBRIMIENTOS DE NIQUEL-CROMO, Y COBRE-NIQUEL-CROMO SOBRE SUPERFICIES METALICAS

1 OBJETO

Esta norma tiene por objeto definir y reglamentar los tipos de recubrimientos electrolíticos conformados por capas de cobre, níquel y cromo, que se apliquen sobre diferentes materiales de base; así como las condiciones especiales para su trabajo en las diferentes condiciones ambientales de servicio. Asimismo, tiene por objeto definir sus propiedades y características, además de los métodos de verificación y control más convenientes.

2 ALCANCE Y CAMPO DE APLICACION

Estas especificaciones se aplican a los recubrimientos de níquel-cromo y cobre-níquel-cromo, que se realizan sobre los metales y sus aleaciones con fines anticorrosivos y decorativos; para las diferentes condiciones de servicio, clasificadas de la siguiente manera:

- Níquel-cromo y cobre-níquel-cromo sobre hierro y sus aleaciones.
- Cobre-níquel-cromo sobre cinc y sus aleaciones.
- Níquel-cromo sobre cobre y sus aleaciones.
- Níquel-cromo sobre aluminio y sus aleaciones.

Esta norma no es aplicable a recubrimientos sobre chapas o flejes delgados, o alambres que deban sufrir deformación posterior. Tampoco es aplicable a resortes ni piezas roscadas con diámetro inferior a 19 mm.

3 DEFINICIONES

3.1 Usuario

Persona natural o jurídica que contrata los servicios de recubrimientos galvanotécnicos, o beneficiario final de las piezas recubiertas con depósitos metálicos.

3.2 Productor

Empresa que tiene la planta de los procesos electrolíticos encargada de la realización de los electrorecubrimientos.

3.3 Pieza objeto

Se le denomina así a la pieza o el conjunto de piezas del mismo material, formas y medidas, que son sometidas a un proceso de recubrimiento electrolítico, las cuales se toman en cuenta para la aplicación de la presente norma.

3.4 Superficie representativa

Se designa con esta expresión a una parte o al total de la superficie de una pieza cubierta con un electrodeposición de modo tal que ella signifique la mejor expresión del aspecto del recubrimiento o de la función esencial de la pieza en servicio, a controlar de acuerdo a los procedimientos establecidos en esta norma. En caso especial, la superficie representativa puede ser claramente definida de acuerdo mutuo entre el usuario y el productor, para lo cual el usuario deberá indicarlo en los planos correspondientes, o señalar directamente sobre una pieza objeto del recubrimiento.

3.5 Espesor mínimo

Es el espesor expresamente indicado para un recubrimiento determinado que se debe encontrar en una superficie representativa. Los métodos de ensayo serán los indicados en la presente norma. Solamente se podrán exigir el espesor mínimo sobre aquellas superficies representativas que puedan ser tocadas adecuadamente por el instrumento que se utilice en la medición.

3.6 Espesor medio

Es el valor equivalente al cociente del volumen del total del metal depositado en el recubrimiento entre el área de la superficie recubierta correspondiente.

3.6 Espesor local

Es el espesor medido en una zona determinada de la pieza objeto, cuya extensión no sea superior a 1 cm².

4 SIMBOLOGIA

Para objetivar la comunicación y definir los términos de negociación en las mejores condiciones para el usuario y el productor; así como establecer los parámetros de los electrorecubrimientos, la presente norma considera las denominaciones simbólicas, que simplifican las características de los electrodepositos, el material de base y las condiciones de servicio. Estos símbolos sintetizan los requerimientos que debe cumplir el producto final, a solicitud y definición por parte del usuario, quien puede elegir por fijar todos y cada uno de los requisitos que debe reunir el producto final, o simplemente hacer referencia a ciertas características, como el espesor, apariencia o las condiciones de servicio. Corresponde al productor completar el resto de los requisitos, basándose en las especificaciones que señala la simbología de la presente norma.

Salvo que sea expresamente indicado por el usuario, los métodos de procedimientos para la obtención de los electrorecubrimientos, deben ser a elección del productor.

La nominación simbólica, está constituida por letras y números, que indican el metal de base, los constituyentes del recubrimiento y sus especificaciones de espesor individuales; así como la codificación de las condiciones de servicio y ciertas características especiales para los depósitos de cromo.

4.1 Nominación simbólica del metal de base

El metal de base de la pieza objeto será identificado con los siguientes símbolos:

-Para hierro y aceros	: Fe
-Para cobre y sus aleaciones	: Cu
-Para cinc y sus aleaciones	: Zn
-Para aluminio y sus aleaciones	: Al

4.2 Nominación simbólica de la composición y el espesor del recubrimiento

Será de acuerdo a la composición del depósito total, en función de los constituyentes, para lo cual se colocan los respectivos símbolos, uno a continuación del otro; teniendo en cuenta las siguientes especificaciones:

4.2.1 Nominación simbólica del depósito de cobre

Estará indicada por el símbolo del cobre, Cu, antepuesto por un número igual al número de micrones que debe tener el espesor mínimo. Para el caso de los depósitos que no tienen capa de cobre no se coloca dicho símbolo en su nominación.

4.2.2 Nominación simbólica del depósito de níquel

Estará conformada por el símbolo del níquel, Ni, antepuesto por un número igual a la cantidad de micrones del espesor mínimo y luego de una letra, separada por un espacio en blanco, que indica el tipo del depósito de níquel, de acuerdo a la siguiente clave:

b : Para el caso depósitos de níquel brillante.

s : Para señalar a los depósitos de níquel semibrillante; es decir aquellos depósitos que requieren pulido posterior si se requiere niquelado de alto brillo. Este depósito debe tener una ductilidad mayor de 8 % de elongación.

d : Para depósitos de doble capa de níquel, en el cual la capa inferior debe ser de una ductilidad con elongación mayor del 8 %. El espesor de la capa inferior no debe ser menor del 60 % del espesor total de la capa de níquel, y el espesor de la capa superior no debe ser menor del 20 % del total de capa.

t : Para depósitos de triple capa de níquel, en la cual, la capa inferior debe ser de una ductilidad con elongación mayor del 8 %. El espesor de la capa inferior no

debe ser menor del 50 % del espesor total, y el espesor de la capa superior no debe ser menor del 20 % del espesor total. La capa intermedia no debe exceder del 10 % del espesor total de níquel.

El tipo de depósito de níquel se determina por un examen microscópico de una sección pulida.

4.2.3 Nominación simbólica del depósito de cromo

Estará conformado por el símbolo del elemento cromo (Cr), seguido de un espacio en blanco, luego una letra o una letra y un número para señalar el tipo y las características del depósito de cromo, de acuerdo a la siguiente clave:

- n** : Depósito de cromo normal de tipo convencional, que tiene un espesor mínimo de 0.3 micrones.
- f** : Depósito de cromo sin grietas, con un espesor mínimo de 0.8 micrones.
- m1** : Depósito de cromo microagrietado, con espesor mínimo de 0.3 micrones.
- m2** : Depósito de cromo microagrietado, con espesor mínimo de 0.8 micrones.

4.3 Expresión simbólica del recubrimiento

Es la configuración de la denominación simbólica para expresar las características del metal de base y del recubrimiento, codificado para las diferentes condiciones de servicio. Para ello se colocan los símbolos de izquierda a derecha siguiendo el ordenamiento siguiente:

En primer lugar se coloca el símbolo que identifica al material de base, de acuerdo al lo señalado en 4.1; luego se coloca una barra diagonal y a continuación se registra un número igual a la cantidad de micrones que debe tener la capa inferior, próxima al metal de base, seguido del símbolo del metal que se coloca en dicha capa inferior; por ejemplo, el símbolo será Cu si la capa es de cobre, o Ni si la capa es de níquel. Luego se coloca una coma para separar las especificaciones de la segunda capa metálica que se debe recubrir. A continuación se escribe el número igual a la cantidad de micrones que se desea obtener en la segunda capa metálica, seguido del símbolo correspondiente al metal, que puede ser Ni si se trata de

níquel, y luego una letra, separada por un espacio en blanco, que corresponde a la codificación descrita en el numeral 4.2.2.

Después se anota la coma de separación de la segunda capa, para registrar a continuación, el símbolo metálico del metal de la tercera capa metálica requerida, que puede ser Cr, si el depósito es de cromo; luego se deja un espacio en blanco, y se escribe a continuación, una letra o una letra y un número, para indicar el tipo de cromo que se desea, según corresponda, de acuerdo a la clave señalada en el numeral 4.2.3.

4.4 Ejemplo

La representación simbólica de un recubrimiento sobre piezas de aleación de cinc, conformado por 25 micrones de cobre, 10 micrones de níquel brillante y una capa de cromo de tipo normal de 0.3 micrones, será como sigue:

Zn/25Cu,10Ni b,Cr n

5 NOMINACION CODIFICADA DE LAS CONDICIONES DE SERVICIO

Según las condiciones ambientales donde deben operar las piezas recubiertas con el depósito electrolítico, o condiciones de servicio, los recubrimientos tendrán diferentes espesores y características especiales, adecuadas para cada caso, con la finalidad de proporcionar recubrimientos eficaces al más bajo costo. Para el efecto, las condiciones de servicio donde deben operar los recubrimientos se clasificarán de acuerdo al siguiente código:

Muy suave	: 1	Severo	: 4
Suave	: 2	Muy severo	: 5
Moderado	: 3		

6 CLASIFICACION Y TABLAS DE RECUBRIMIENTO

En condiciones normales de negociación entre usuario y productor, es posible seleccionar el recubrimiento apropiado para cada caso de condiciones de servicio, de acuerdo a las tablas siguientes:

Tabla I : Recubrimientos de níquel-cromo sobre hierro y aleaciones de hierro.

Tabla II : Recubrimientos de cobre-níquel-cromo sobre hierro y aleaciones de hierro.

Tabla III : Recubrimientos de níquel-cromo sobre cobre y aleaciones de cobre.

Tabla IV : Recubrimientos de cobre-níquel-cromo sobre cinc y aleaciones de cinc.

Tabla V : Recubrimientos de níquel-cromo sobre aluminio y aleaciones de aluminio.

Tabla I	
Condiciones de servicio	Expresión simbólica
1	Fe/5Ni b,Cr n
2	Fe/10Ni b,Cr n
3	Fe/20Ni b,Cr n
4	Fe/25Ni b,Cr n Fe/25Ni b,Cr f Fe/25Ni s,Cr f Fe/25Ni b,Cr m1 Fe/30Ni b,Cr n Fe/30Ni s,Cr f Fe/30Ni d,Cr m1 Fe/30Ni d,Cr m2 Fe/30Ni t,Cr m1
5	Fe/35Ni b,Cr n Fe/35Ni s,Cr n Fe/35Ni d,Cr f Fe/35Ni t,Cr f Fe/35Ni d,Cr m2 Fe/35Ni t,Cr m1 Fe/40Ni s,Cr f Fe/40Ni d,Cr m1

El níquel b y cromo n pueden sustituir al níquel s, o cromo f, o m1 para las condiciones de servicio código 4.

Tabla II	
Condiciones de servicio	Expresión simbólica
1	Fe/5Cu,5Ni b,Cr n
2	Fe/10Cu,5Ni b,Cr n
3	Fe/10Cu,10Ni b,Cr n
4	Fe/15Cu,10Ni b,Cr n Fe/15Cu,10Ni s,Cr f Fe/15Cu,15Ni b,Cr m1 Fe/15Cu,20Ni s,Cr n Fe/15Cu,20Ni b,Cr f Fe/15Cu,20Ni b,Cr m1 Fe/20Cu,20Ni d,Cr m1 Fe/20Cu,25Ni b,Cr n Fe/20Cu,25Ni s,Cr m1
5	Fe/20Cu,25Ni s,Cr m2 Fe/20Cu,25Ni b,Cr n Fe/20Cu,25Ni b,Cr f Fe/20Cu,25Ni s,Cr m1 Fe/20Cu,25Ni s,Cr m2 Fe/20Cu,30Ni d,Cr f Fe/20Cu,30Ni d,Cr m1 Fe/20Cu,30Ni t,Cr m1

El níquel b y cromo n pueden sustituir al níquel s, o cromo f, o m1 y m2 para las condiciones de servicio código 4.

Tabla III	
Condiciones de servicio	Expresión simbólica
1	Cu/3Ni b,Cr n
2	Cu/5Ni b,Cr n
3	Cu/10Ni b,Cr n
4	Cu/15Ni b,Cr n Cu/20Ni b,Cr n
5	Cu/25Ni b,Cr n Cu/25Ni b,Cr f Cu/25Ni s,Cr ml Cu/30Ni s,Cr f Cu/25Ni s,Cr ml Cu/30Ni d,Cr ml Cu/30Ni d,Cr n Cu/30Ni d,Cr f
<p>El níquel s ó d y el cromo f ó ml, pueden sustituir al níquel b y al cromo n, en los recubrimientos para las condiciones de servicio 1, 2, 3 y 4.</p>	

Tabla IV	
Condiciones de servicio	Expresión simbólica
1	Zn/1Cu,3Ni b,Cr n
2	Zn/5Cu,5Ni b,Cr n
3	Zn/10Cu,10Ni b,Cr n
4	Zn/15Cu,15Ni b,Cr n Zn/15Cu,15Ni b,Cr ml Zn/15Cu,20Ni b,Cr n Zn/15Cu,20Ni b,Cr f Zn/15Cu,15Ni s,Cr ml Zn/15Cu,20Ni s,Cr ml Zn/20Cu,20Ni b,Cr n Zn/20Cu,20Ni s,Cr f
5	Zn/20Cu,25Ni b,Cr n Zn/20Cu,25Ni s,Cr n Zn/20Cu,25Ni b,Cr ml Zn/20Cu,30Ni b,Cr n Zn/20Cu,30Ni s,Cr f Zn/20Cu,30Ni d,Cr f Zn/30Cu,30Ni t,Cr ml Zn/30Cu,35Ni t,Cr m2

Tabla V	
Condiciones de servicio	Expresión simbólica
1	Al/5Ni b,Cr n
2	Al/10Ni b,Cr n
3	Al/20Ni b,Cr n
4	Al/25Ni b,Cr n Al/25Ni s,Cr n Al/30Ni b,Cr n Al/30Ni s,Cr f Al/30Ni s,Cr m1
5	Al/35Ni b,Cr n Al/35Ni d,Cr m1 Al/45Ni d,Cr n Al/45Ni d,Cr m2

7 EMPLEO CONTRACTUAL DE LA NORMA

La presente norma se aplica desde el momento en que el usuario solicita la realización de un trabajo, para lo cual deberá hacer referencia a la norma e indicar algunos requisitos necesarios para definir el tipo de trabajo que solicita. Estos son los datos concernientes a la clase de recubrimiento, especificación del material de base y el número correspondiente al código de servicio. Con estos datos el productor debe seleccionar el tipo de recubrimiento, de acuerdo a las tablas de especificaciones que se indican el numeral 6.

Cuando lo juzgue necesario, el usuario puede señalar además de los datos indicados la expresión simbólica del recubrimiento que solicita, para precisar las características del depósito, en especial si fueran diferentes a las de las tablas indicadas.

Los procedimientos de trabajo y métodos del proceso que se elijan para cumplir con las especificaciones del producto final, solicitado por el usuario, quedarán a

elección del productor; salvo que el usuario señale algún procedimiento diferente y que sea aceptado por el productor.

8 PROPIEDADES DE LOS RECUBRIMIENTOS

8.1 Generalidades

La identificación de las propiedades de los recubrimientos sirven para definir las características del producto final, acordes con la calidad deseada, y de manera especial sirven también para que el usuario y el productor puedan fijar los criterios para definir los términos de lotes de material, tamaño de cada uno, las piezas que se deben ensayar por cada lote, características que se deban verificar, métodos de verificación, muestreo de las piezas para los ensayos, evaluación y porcentaje de piezas defectuosas para considerar el rechazo de un lote; o cualquier otro requisito que se considere necesario para la contratación del trabajo y aceptación dentro de los términos de buena calidad, aunque se trate de diferentes secciones de una misma empresa.

8.2 Aspecto

Durante la inspección de las piezas ya procesadas con recubrimientos aplicados en concordancia con la presente norma, se deberá verificar que se encuentren libres de defectos visibles, como ampollas, picaduras, grietas, asperezas, levantamiento de capa, manchas y zonas sin recubrir.

El grado de brillo del recubrimiento estará sujeto a las especificaciones pactadas, puesto que ello depende de los requerimientos de brillo del usuario, según el trabajo que las piezas deben realizar posteriormente.

8.3 Adherencia

Los recubrimientos deben estar fuertemente adheridos al material de base y entre sus propias capas, si fuera el caso, sean de un mismo elemento o de diferentes metales.

La adherencia de un recubrimiento se puede verificar mediante la realización de los métodos de ensayo que se detallan en el numeral 9.

8.4 Resistencia a la corrosión

Las piezas recubiertas electrolíticamente deben pasar suficientemente las prue-

bas de resistencia a la corrosión y ausencia de poros. Sus parámetros de medición serán seleccionados de acuerdo a las condiciones de servicio establecidas para la operación de dichas piezas.

Las pruebas de resistencia a la corrosión deberán realizarse de acuerdo a los métodos de ensayo que se describen en el numeral 10, según las condiciones de servicio y tiempos de exposición que se indican en la tabla VI.

Dichos ensayos permiten obtener una apreciación de la calidad del recubrimiento, pero no necesariamente determinan el tiempo de duración en buen estado de las piezas en servicio.

8.5 Espesor

El espesor de un recubrimiento y de sus componentes deberá ser medido sobre una superficie representativa de área suficiente para recepcionar al instrumento de medición.

Estas mediciones se realizarán en uno o más puntos de la superficie, según sea acordado entre usuario y productor, seleccionándose cualquiera de los métodos establecidos para ello, tales como los métodos magnéticos, de rayos X, micrográfico, coulombimétrico, etc.

En caso de dirimencia, se usará los métodos micrográfico para medir el espesor de las capas de níquel y capas subyacentes que sean mayores de 10 micrones.

Para medir las capas de cromo o de níquel con espesores menores de 10 micrones, se utilizará el método coulombimétrico.

Los métodos de medición que se indican en el numeral 11, deben ser empleados para verificar los valores de las diferentes capas de recubrimiento, a fin de cumplir con los requisitos acordados entre usuario y productor, según los parámetros que se indican en las tablas del numeral 6.

8.6 Ductilidad del recubrimiento de níquel

Los electrorecubrimientos de níquel deben cumplir con los requisitos de ductilidad que se especifican en el numeral 4.2.2; o sea tener una elongación superior a 8 %.

El método a emplearse es el del tipo mandril, que se describe en el numeral 12.

8.7 Microagrietamiento del cromo

Los electrorecubrimientos de cromo pueden ser del tipo normal o del tipo microagrietado, de acuerdo a las especificaciones que se indican en el numeral 4.2.3.

Los métodos que se utilizarán para la verificación del microagrietamiento son:

- Examen visual, con ayuda de un microscopio.
- Método del cobre electrodepositado, mediante el cual se aplica una capa de cobre electrolítico para la revelación de las microgrietas, conforme se describen en el numeral 13.

9 PRUEBAS DE ADHERENCIA

9.1 Prueba de limado

Consiste en realizar un limado sobre la pieza con el recubrimiento para verificar la buena adherencia.

Para ello se fija la pieza que se va a ensayar, o un trozo de ella previamente cortado, en un tornillo de banco. Luego se aplica el limado sobre alguna de sus aristas, efectuando movimientos de la lima siempre en el mismo sentido con un ángulo aproximado de 45 grados sobre la superficie y tratando de separar el recubrimiento del material de base. El limado se realiza hasta la aparición del metal de base, y se observa que no exista levantamiento de la capa de recubrimiento. Se repite esta operación en tres puntos diferentes. Si no existe levantamiento del recubrimiento, la adherencia es satisfactoria; caso contrario es insuficiente.

En caso de superficies convexas, no se encontrará arista para el limado, entonces se realizará en cualquier punto de la superficie, ejecutando movimientos tangenciales, siempre en un mismo sentido, hasta la aparición del metal de base. Los criterios de evaluación son iguales a los del caso anterior.

9.2 Prueba del choque térmico

Consiste en verificar la adherencia del recubrimiento en condiciones de cambio brusco de temperatura. Para ello se calientan las piezas recubiertas en un horno eléctrico, durante una hora, a una temperatura que dependerá del material de base conforme a continuación se indica:

Piezas de hierro y aceros	:	300 °C
Piezas de cobre y sus aleaciones	:	250 °C
Piezas de cinc o aleaciones de cinc	:	150 °C

El grado de tolerancia de la temperatura debe ser de más o menos 10 °C con relación a la temperatura requerida.

Luego se introduce la pieza en agua a 20 °C con tolerancia de más o menos 5 °C.

Después se inspecciona el recubrimiento por fallas e imperfecciones. Se considera buena adherencia cuando no se observa desprendimiento de la capa depositada.

10 PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA CORROSION

10.1 Generalidades

Estas pruebas se realizan para verificar el grado de resistencia a la corrosión que tienen los electrorecubrimientos, y por lo tanto, su grado de protección a las piezas procesadas; así como la porosidad de los mismos.

Consiste en exponer las piezas recubiertas a la acción de una atmósfera corrosiva, dentro de una cámara de prueba, por un tiempo determinado. La composición de la atmósfera corrosiva, varía según el tipo de prueba que se debe realizar.

10.2 Cámara de prueba

También se le llama cámara de ensayo. Es un ambiente cerrado donde se crea la atmósfera corrosiva o niebla (llamada también niebla salina), en la cual estarán expuestas las piezas durante la prueba. Debe estar fabricada o forrada con material resistente al agente corrosivo que se emplea para la prueba y contar con los dispositivos adecuados para el suministro de aire a presión, que permitan formar la niebla, además de los dispositivos de control de humedad y temperatura correspondientes. Los inyectores interiores de la cámara no deben proyectar su flujo hacia las piezas en tratamiento, sino hacia un espacio libre de piezas, que tenga la cámara.

10.3 Prueba de niebla salina acética

10.3.1 Condiciones de la prueba

La temperatura del interior de la cámara debe mantenerse $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. La velocidad de inyección del líquido formador de niebla, debe ser suficiente para recoger $1.5\text{ ml} \pm 0.5$ mililitros por hora de líquido, sobre una superficie horizontal de 80 cm^2 .

10.3.2 Preparación de la solución de ensayo

Se disuelven $50\text{ gr} \pm 5\text{ gr}$ de cloruro de sodio en un litro de agua destilada, o tratada, que contenga menos de 100 partes por millón (ppm) de sólidos. A esta solución se añade ácido acético glacial hasta obtener un pH de 3.2 ± 0.1 . El cloruro de sodio no debe contener más de 0.1 % de yoduro de sodio y no más de 0.3 % de impurezas totales.

10.3.3 Procedimiento

Limpiar bien la pieza con pasta de óxido de magnesio u otro desengrasante fisicoquímico, enjuagando luego con agua limpia. A continuación se coloca la pieza dentro de la cámara de prueba, en soporte adecuado, en lo posible, de modo tal que las superficies representativas, formen ángulo de 15-30 grados con la vertical.

Debe evitarse que la solución corrosiva gotee sobre las piezas en ensayo.

Al costado de las piezas se colocarán dos vasos colectores, para recoger la niebla, cuidando de que no recojan los líquidos que gotean de otras piezas o de las paredes de la cámara. No se debe recircular la solución corrosiva.

Durante el ensayo se mantiene constante la temperatura y humedad.

El tiempo de duración para cada caso de condición de servicio será de acuerdo a lo estipulado en la Tabla VI.

Al término de la exposición de la pieza en la niebla salina, se retira de la cámara, se limpia para eliminar los depósitos de sal y se seca. Luego se examina dicha pieza, para contar la cantidad de manchas de corrosión, que representan al grado de ataque del material, debido a la acción de la niebla corrosiva que ha penetrado a través de la capa de recubrimiento.

Tabla VI

Metal de base	Condición de servicio	Duración de la prueba de corrosión en horas		
		Prueba salina Acética	Prueba de Corrodokote	Prueba CASS
Hierro y acero	1	-	-	-
	2	8	-	-
	3	48	8	8
	4	96	16	16
	5	144	2 x 16	24
Cobre y sus aleaciones	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	8	-	-
	4	24	-	-
	5	96	-	16
Cinc y sus aleaciones	1	-	-	-
	2	8	-	-
	3	24	8	8
	4	96	16	16
	5	144	2 x 16	24
Aluminio y sus aleaciones	1	-	-	-
	2	8	-	-
	3	48	8	8
	4	96	16	16
	5	144	2 x 16	24

10.4 Prueba de Corrodkote

10.4.1 Generalidades

Esta prueba consiste en aplicar sobre la pieza objeto una pasta corrosiva que luego se hace secar, y después se somete la pieza a la acción de una atmósfera húmeda y caliente por tiempo determinado; al cabo del cual se ponen de manifiesto puntos de corrosión por los poros del depósito, que luego de ser contados, permiten identificar el grado de resistencia a la corrosión del depósito ensayado.

0.4.2 Preparación de la pasta de ensayo

Se mezclan los productos siguientes:

- 8 ml de solución de nitrato de cobre al 5 %
- 34 ml de solución de cloruro férrico al 5 %
- 10 ml de solución de cloruro de amonio al 10 %

Luego se agrega 30 gramos de caolín y se mezcla bien con una varilla de vidrio hasta que la pasta se encuentre adecuadamente homogenizada.

10.4.3 Procedimiento

Con una brocha plana y haciendo movimientos circulares en una sola dirección, se aplica la pasta sobre la pieza a ensayar; luego se deja secar durante una hora. A continuación se coloca la pieza en la cámara de prueba donde se le mantiene por el tiempo previamente seleccionado de acuerdo a la tabla VI, a la temperatura de $38\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ y humedad relativa de 92-95 % . Cuando se trata de ciclos repetidos de prueba, al final del primer ensayo, se lava la pieza con agua limpia y una esponja; luego se deja secar y se aplica nueva capa de pasta, repitiéndose el ensayo de acuerdo a lo indicado.

Al término de la prueba, las piezas de acero se dejan secar y se inspeccionan haciéndose un conteo de los puntos de corrosión, que se ponen de manifiesto por las manchas de óxido visibles sobre la pasta.

Si la pieza es de aleación de cinc, se lava con agua limpia y una esponja, luego se inspecciona haciendo un recuento de los puntos de corrosión por los que ha quedado al descubierto el metal de base.

10.5 Prueba de niebla salina cupro-acética (CASS)

10.5.1 Preparación de la solución

Para preparar la solución que se emplea en la generación de la niebla, por inyección a la cámara de prueba, se disuelven en un litro de agua, 50 ± 5 gramos de cloruro de sodio y 0.26 ± 0.02 gramos de cloruro cúprico, luego se añade ácido acético glacial hasta conseguir un pH de 3.2 ± 0.1 .

El cloruro de sodio no debe contener más de 0.1 % de yoduro de sodio y no más de 0.3 % de impurezas totales.

10.5.2 Condiciones de la prueba

Durante la prueba, la temperatura en el interior de la cámara debe mantenerse en $50 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$ y el flujo de inyección de la solución, debe ser lo suficiente para recoger 1.5 ± 0.5 ml/hr sobre una superficie horizontal de 80 cm^2 , obtenidos como la media de por lo menos 16 hrs de ensayo. El tiempo de ensayo será seleccionado de acuerdo a la Tabla VI.

10.5.3 Procedimiento de la prueba

Limpiar bien la pieza con pasta de óxido de magnesio u otro desengrasante fisico-químico, enjuagando luego con agua limpia. A continuación se coloca la pieza dentro de la cámara de prueba y se procede de manera similar a lo señalado en el numeral 10.3.3. Al término de la exposición de la pieza en la niebla salina, se retira de la cámara, se limpia para eliminar los depósitos de sal y se seca. Luego se examina para determinar la frecuencia de las manchas de corrosión, como evidencia de que el material de base ha sido atacado por la niebla corrosiva que penetra a través de los poros de la capa de recubrimiento, y se identifica el grado de corrosión.

10.6 Evaluación de resultados

10.6.1 Generalidades

La existencia de corrosión de una pieza con electrorecubrimiento metálico será puesta de manifiesto por la aparición de manchas características sobre los puntos

donde se ha producido el ataque al metal de base por acción de la atmósfera corrosiva. No deben considerarse como manchas de corrosión, las decoloraciones u otros defectos superficiales que no correspondan a una perforación del recubrimiento.

La verificación de manchas de corrosión, solo es aplicable para los casos en que las piezas no han sido previamente rechazadas por otras características del recubrimiento o defectos del mismo.

En todos los casos la prueba de resistencia a la corrosión debe realizarse sobre piezas que tengan una superficie representativa superior a 25 mm².

10.6.2 Tamaño de la muestra

Para la realización de la prueba, se debe elegir una o varias piezas que tengan en total una superficie representativa de 50 cm² o más.

10.6.3 Procedimiento de evaluación

Después de terminado el tiempo de exposición se deja secar la pieza de ensayo, para realizar la inspección por manchas de corrosión. Algunas veces es necesario lavar la pieza con agua corriente para eliminar los residuos del medio corrosivo.

Luego se procede a dividir la superficie de ensayo, en pequeños cuadrados de 5 mm de lado, colocando sobre ella una hoja transparente flexible marcada en forma cuadrículada, tratando de abarcar la zona de mayor incidencia de puntos de corrosión en la superficie representativa.

Enseguida se cuenta el número de estos cuadraditos que contienen una o varias manchas de corrosión, cuyo valor se denomina m ; y la cantidad total de dichos cuadrados que tiene la zona inspeccionada, a la que se le denomina M .

Para mejor precisión respecto a la cantidad total de cuadraditos, que tiene la superficie representativa medida, se deben considerar como válidos, a aquellos que se encuentren ocupados en más de la mitad. También debe tenerse en cuenta que si una mancha abarca dos o más de dichos cuadraditos, solo se cuenta uno de ellos como parte del valor de m , pero si la mancha corresponde a una grieta o fisura que abarca más de uno, se cuentan todos los cuadrados afectados.

10.6.4 Índice de corrosión

Es la valoración convencional del 0 al 10 que se otorga a la cantidad relativa de puntos o manchas de corrosión en la zona inspeccionada. Esta cantidad relativa de puntos de corrosión se le denomina Frecuencia de Corrosión, y se determina por la siguiente fórmula:

$$\text{Frecuencia} = \frac{m}{M} \times 100$$

La correspondencia entre los valores de frecuencia e índice de corrosión se detallan en la Tabla VII.

Indice	Frecuencia (%)	Indice	Frecuencia (%)
10	0	4	De 4 a 8
9	De 0 a 0.25	3	De 8 a 16
8	De 0.25 a 0.50	2	De 16 a 32
7	De 0.50 a 1	1	De 32 a 64
6	De 1 a 2	0	Más de 64
5	De 2 a 4		

10.6.5 Criterios de aceptación

Por lo general las piezas ensayadas deben estar prácticamente exentas o con muy pocas y pequeñas manchas o puntos de corrosión para ser aceptadas. Si existe una mancha de corrosión o grieta con más de 2.5 mm², la pieza debe ser rechazada. Si el índice de corrosión es inferior a 8, igualmente la pieza debe ser rechazada. Cuando se trata de una pieza con gran superficie representativa, superior a 500 cm², se debe buscar dentro de ella, una superficie de 25 cm² (100 pequeños cuadrados de 5 mm por lado) que tenga el mayor número de manchas de corrosión. Si al colocar la hoja transparente cuadrículada, se observa que por lo menos 20 de estos cuadraditos presentan manchas de corrosión, la pieza debe ser rechazada.

Si el valor de m es igual a 10 y el índice de corrosión es inferior a 9, la pieza debe ser rechazada.

II MEDICION DEL ESPESOR

II.1 Generalidades

Para verificar el espesor de los recubrimientos se puede utilizar cualquiera de los instrumentos y métodos que existen en el mercado, previo acuerdo entre usuario y productor; pero las dirimencias en caso necesario se realizarán mediante los métodos micrográfico y culombimétrico.

El espesor local del recubrimiento en cualquier punto de la superficie representativa, no debe ser menor del espesor mínimo.

II.2 Método micrográfico

II.2.1 Fundamentación

Este método se basa en la observación con la ayuda del microscopio, de una sección transversal de la pieza objeto y la capa de recubrimiento, previamente preparada de manera conveniente para medir el espesor del recubrimiento con una precisión de ± 0.8 micrones.

II.2.2 Obtención de la muestra

Para la obtención de la muestra, se corta la pieza transversalmente al recubrimiento en una o varias partes de la superficie representativa. El corte deberá efectuarse con una cortadora de disco abrasivo especial a velocidad regulada para que no se altere el espesor del recubrimiento.

II.2.3 Montaje y preparación de la probeta

Después de que se obtiene la muestra, se procede al montaje de la probeta. Para esto se coloca la muestra en un dispositivo especial, de modo que la sección transversal quede firmemente sujeta y en posición perpendicular respecto del recubrimiento, lo cual se consigue mediante la aplicación de una resina de polímero aparente. Debe tenerse en cuenta que cualquier desviación de la perpendicularidad de la sección transversal conduce a errores en la medición. A manera de ilustración se puede decir que una desviación de 15 grados puede representar un error de 3 % en la medida del espesor.

Una vez montada la muestra en la probeta, se le aplica un pulido minucioso para mayor perfección en la observación al microscopio. Se obtiene mejores condiciones de contraste entre el recubrimiento y el metal de base, si a la superficie pulida se le realiza un ataque químico con una solución corrosiva, que además elimina las trazas de cualquier otro metal que hubiere podido adherirse a la superficie durante las operaciones de pulido.

El reactivo a emplearse en el ataque de la muestra puede ser cualquiera de los siguientes:

- Ácido nítrico ($d=1.38$) mezclado con ácido acético glacial en partes iguales.
- Solución de cianuro de sodio y persulfato sódico o amónico.

Debe tenerse la precaución de realizar la mezcla en campana con extracción de gases, debido a que se desprenden gases tóxicos durante la preparación.

11.2.4 Medición

Para ello se emplea el microscopio metalográfico, provisto de un ocular micrométrico de escala graduada. También pueden emplearse de manera alterna, equipos que proyectan la imagen aumentada, sobre un vidrio deslustrado con referencias de medición.

El procedimiento en cada caso dependerá del equipo a emplearse y de las características del recubrimiento. En todo caso, el número y distribución de las mediciones con el microscopio sobre la sección del recubrimiento, deberá indicarse en los reportes correspondientes.

11.3 Método coulombimétrico

Con frecuencia se le emplea para las mediciones del espesor de los recubrimientos de cromo. Consiste básicamente, en la medición de la cantidad de electricidad necesaria para disolver anódicamente un recubrimiento sobre una área conocida.

El electrolito a emplearse debe estar constituido por 62 ml de ácido ortofosfórico ($d=1.75$) diluidos en un litro de agua destilada o desmineralizada.

11.3.1 Equipo a utilizarse

Para esta prueba se utiliza un pequeño rectificador de corriente de uso en laboratorio, con sus correspondientes dispositivos de regulación, y un culombímetro o contador de culombios. Este último se aplica sobre la pieza que actúa como ánodo, que se coloca dentro de un electrolito, encerrado en un recipiente plástico de forma cilíndrica, el cual contiene también, el cátodo de forma anular incorporado.

11.3.2 Procedimiento

Como primera medida debe efectuarse una buena limpieza de la zona a ensayar, con un paño humedecido con solvente orgánico; luego se forma la célula electrolítica vertiendo dentro de ella la solución electrolito. Si fuera necesario, dependiendo del equipo a emplearse y del espesor del recubrimiento, se coloca dentro de ella, un agitador para homogenizar el electrolito durante el proceso de electrólisis.

A continuación se procede a la electrólisis, mediante la cual se produce la disolución del recubrimiento de la pieza, que actúa como ánodo. El proceso se continúa hasta que se observa un cambio brusco de potencial anódico, como señal de que todo el metal del depósito ha sido disuelto, dándose por terminada la prueba, teniendo cuidado de examinar la superficie atacada, para verificar visualmente que todo el material se ha disuelto.

11.3.3 Cálculo del espesor

Se realiza considerando el rendimiento de la corriente eléctrica como 100 %, utilizando la siguiente fórmula:

$$e = 0.126 \frac{Q}{A}$$

en donde:

e = Espesor de la capa del metal depositado expresado en micrones

Q = Cantidad de electricidad en culombios

A = Area atacada, en centímetros cuadrados

12 PRUEBA DE DUCTILIDAD DE LA CAPA DE NIQUEL

12.1 Objeto

La prueba de ductilidad sobre depósitos de níquel, tiene por objeto verificar que el recubrimiento de níquel cumple con la condición de tener una elongación mayor del 8 %.

12.2 Procedimiento

Se toma una plancha de 1 mm de espesor y dimensiones de 200 x 60 mm, preparada del mismo material que el metal de base, o de latón blando, cuando se trata de aleaciones de cinc. Luego se pule bien por una cara de la plancha, se desengrasa, se activa por inmersión en ácido diluido, de acuerdo a los métodos de preparación de los metales para los electrorecubrimientos y finalmente se le aplica el recubrimiento de níquel en la cara pulida, hasta obtener un espesor de 25 micrones, en el mismo baño y bajo las mismas condiciones de electrólisis que se aplica sobre una producción normal.

Luego se corta con guillotina, una tira de 150 x 10 mm tratando de que sea de la parte central, dejando margen de 25 mm en cada lado. Se achaflan los bordes en los lados más largos, por el lado recubierto, mediante operaciones de limado o esmerilado.

A continuación se dobla la muestra gradualmente sobre un mandril de 11.5 mm de diámetro, teniendo cuidado de hacerlo con la parte recubierta hacia el exterior; hasta que los extremos de la tira se encuentren en posición paralela. Durante la prueba se debe de mantener siempre contacto entre la tira y el mandril.

12.3 Evaluación de la prueba

Durante la prueba se observa si se presentan grietas por el lado convexo, en cuyo caso el recubrimiento no cumple con la elongación de 8 %. En cambio se considera como elongación mayor de 8 %, cuando no existen grietas que se extienden por toda la superficie convexa. No debe tomarse en cuenta las pequeñas grietas que se forman en los bordes de la zona doblada.

13 PRUEBA DEL CROMO MICROAGRIETADO

13.1 Objeto

Determinar, con la ayuda del microscopio, el número de microgrietas que existe en un recubrimiento de cromo aplicado sobre una capa de níquel.

13.2 Método y fundamento.

Se utiliza para ello el método de electrodeposición de cobre sobre la pieza cromada, el cual se manifiesta sobre el níquel que se encuentra debajo de la capa de cromo, al que llega solamente a través de las fisuras del mismo. Esta prueba consiste en aplicar sobre la superficie cromada, el proceso electrolítico para la deposición de cobre, en un área representativa de la pieza objeto. Como consecuencia de la prueba, el cobre se deposita en las zonas donde el níquel puede ser alcanzado por la solución, a través de las fisuras o microgrietas que hubiere en la capa de cromo, las cuales se hacen visibles y por lo tanto se pueden identificar y contar.

13.3 Equipo y solución electrolítica

El equipo a utilizarse en esta prueba está constituido por los aparatos normales que se emplea para las pruebas electrolíticas de laboratorio. La solución electrolítica debe contener los siguientes ingredientes:

- 200 gpl de sulfato de cobre cristalizado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
- 20 gpl de ácido sulfúrico (H_2SO_4)

13.4 Procedimiento

Como primer paso se prepara la pieza objeto recubriendo con un barniz aislante, o cinta adhesiva resistente, las partes que no se va a recubrir con cobre; luego limpiar bien la superficie en ensayo, por inmersión en un desengrasante alcalino a temperatura no mayor de 65 °C hasta que la superficie quede libre de cualquier vestigio de grasa. Puede ser necesario ayudarse con una brocha blanda o paño. Enseguida se enjuaga vigorosamente con agua limpia y se sumerge la pieza, por

5 - 10 segundos, en una solución de ácido sulfúrico al 5 %. Si la prueba se debe realizar varios días después de haberse aplicado el recubrimiento de cromo, se debe activar la superficie, por inmersión de la pieza en una solución conteniendo ácido nítrico 10 - 20 gpl a una temperatura de 65 °C, por un tiempo aproximado de 4 minutos.

Después se conecta la pieza y el ánodo a la fuente de corriente continua y se les introduce en la solución electrolítica. Se regula la corriente a 0.3 amp/dm² y se produce la electrodeposición de cobre, la misma que debe realizarse por un tiempo de 3 a 5 minutos a la temperatura de 18 a 24 °C.

Se saca la pieza de la solución, se enjuaga bien con agua fría primero, luego con agua caliente y se deja secar. No debe frotarse la pieza con trapo, para no quitar el cobre depositado.

13.5 Inspección y evaluación

Se emplea para ello un microscopio con lente de por lo menos 100 aumentos, arreglado con una retícula graduada que permita efectuar el conteo de las microgrietas en un área determinada. Este valor se compara con los valores de una pieza patrón con microgrietas, lo cual otorga el criterio de aceptación de la capa de cromo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Freddy Paredes Carrasco

TRATAMIENTO ELECTROLITICO DE SUPERFICIES

Edit. Mundocoop. Lima. Perú. 1996.

J. Glayman y G. Farkas

AIDE MEMOIRE DE GALVANOPLASTIE

Ed. Eyrolles. París. 1967

H. Silman

ACABADO QUIMICO Y GALVANOPLASTICO DE LOS METALES

Ed. José Montesó. Barcelona 1961

Kenneth E. Langford

ANÁLISIS DE BAÑOS ELECTROLITICOS

Versión española de Francisco J. Castaño. 1963.

American Society for Testing Materials (A.S.T.M.)

ESPECIFICACIONES

Enrique Julve Salvadó

RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS BRILLANTES

Ed. Cedel. Barcelona. 1963

J. Salauze

TRAITÉ DE GALVANOPLASTIE

Dunod. 1956

P. Morisset

CHROMAGE DUR ET DÉCORATIF

París. 1961

J. Glayman

POUR PROTÉGER LES METAUX.

Dunod. 1960

Dufils et Tournier
PROTECTION DES MATÉRIAUX
Synthèse. 1966

S. Field y A. Dudley
RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS
Ed. E. Gili. Barcelona 1955

E. Julve
RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS DE RODIO
Ed. cedel. Barcelona. 1960

G. Schwrzenbach
METODOS COMPLEXOMETRICOS. 1948.
Siegfried A. G. Zofingen. Suiza. 1948

G. D. Hiscox y A. A. Hopkins
RECETARIO INDUSTRIAL.
Ed. G. Gili. Barcelona. 1953

Fedotiev - Grilijes
ELECTROPULIDO Y ANODIZACION DE METALES

Y. M. Kolthoff y E. B. Sandell.
TRATADO DE QUIMICA ANALITICA CUANTITATIVA.
Ed. Nigar. Buenos Aires. 1952

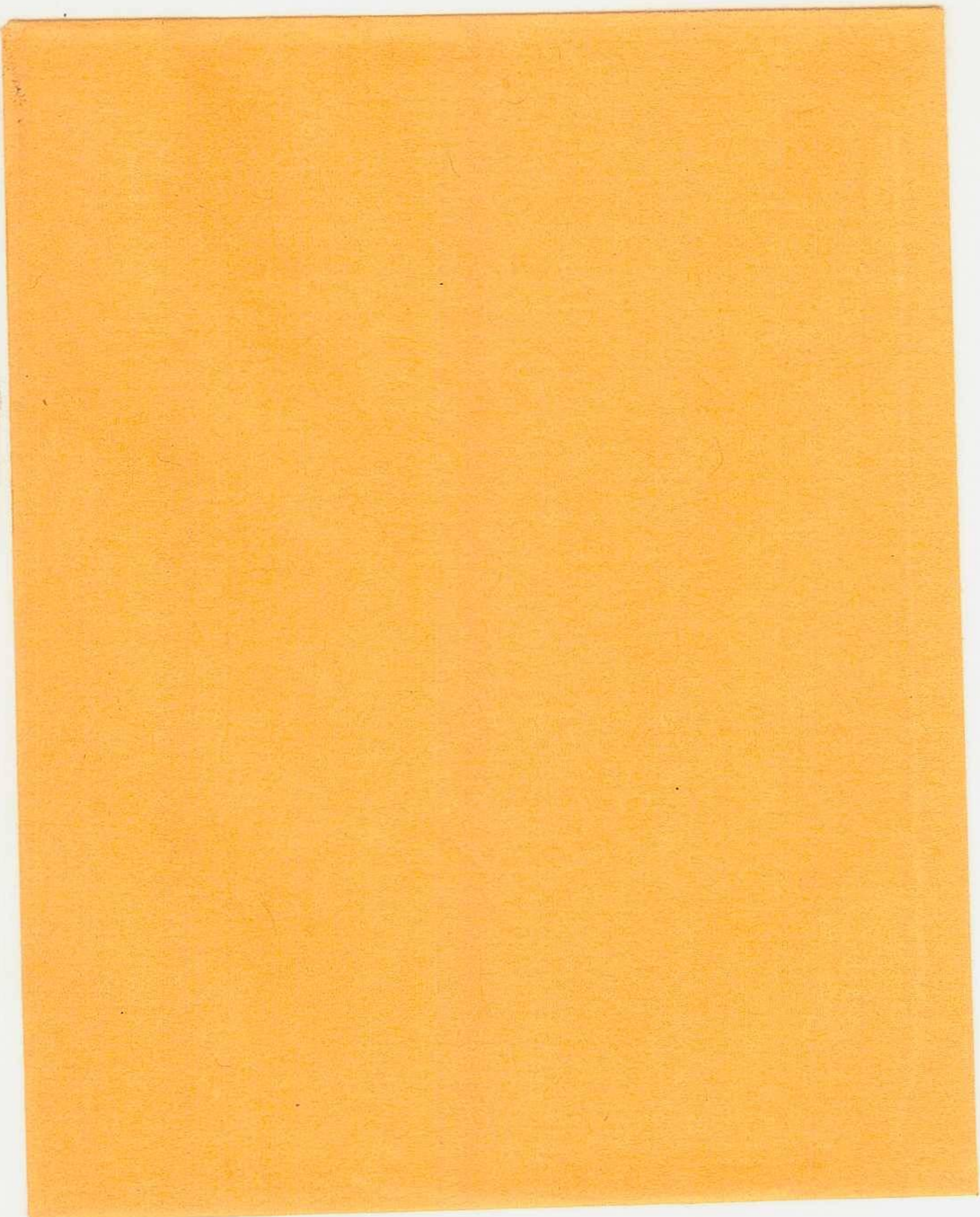
E. Bertorelle.
TRATTATO DI GALVANOTECNICA
Ed. Hoepli. Milano. 1960

A. Ollanrd y F. B. Smith
HANDBOOK OF INDUSTRIAL ELECTROPLATING
Ed. por Metal Industry-Iliffe & Sons Ltd. Londres. 1954

T. H. Chamberlain y G. B. Hogaboom
PLATER'S GUIDEBOOK - METAL INDUSTRY
New York. 1938

Bibliografía

**ODA-PATRIMONIO
CONCYTEC
INVENTARIO
AÑO 2002**



Tratamiento electrolítico de superficies

FREDDY PAREDES CARRASCO

El tratamiento electrolítico de superficies es un proceso muy antiguo que se emplea en la industria con fines diversos en beneficio de la humanidad, ya sea para otorgar a ciertos materiales cualidades extraordinarias de resistencia a la corrosión, conductividad, dureza, propiedades antifriccionantes y contra el agarrotamiento de las piezas que trabajan con altas temperaturas. También para reponer las medidas originales de piezas gastadas y reconstruir maquinaria, o en la fabricación de circuitos impresos para la industria electrónica, etc; o simplemente para otorgar a los objetos, hermosos acabado que mejoran notablemente la calidad final.

Por la gran importancia que tiene en la industria, es que muchos investigadores continúan hoy trabajando para encontrar nuevas formulaciones y ofrecer cada vez mejores productos y procedimientos diversos para optimizar el trabajo galvanotécnico. Estos productos y procedimientos, generalmente se complementan y manejan dentro de la tecnología clásica, es decir, bajo los mismos principios de operación que se describen en el libro TRATAMIENTO ELECTROLITICO DE SUPERFICIES del mismo autor.