

**ELABORACIÓN DE UNA CELDA PROTOTIPO PARA LA REALIZACIÓN DE
ANODIZADO INDUSTRIAL BAJO PROCEDIMIENTO STANDARD**

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

**JORGE ELIECER DAVID CAMPO
LUIS GERMAN GUARNIZO PERTUZ**



**Universidad
Tecnológica de Bolívar**
CARTAGENA DE INDIAS

2004

**ELABORACIÓN DE UNA CELDA PROTOTIPO PARA LA REALIZACIÓN DE
ANODIZADO INDUSTRIAL BAJO PROCEDIMIENTO STANDARD**

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

**JORGE ELIECER DAVID CAMPO
LUIS GERMAN GUARNIZO PERTUZ**

**ING. BENJAMIN ARANGO Z.
DIRECTOR**

Monografía Presentada Para Optar El Título De Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR
MINORS EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL
CARTAGENA D. T. Y C – BOLIVAR**

2004.

Cartagena, Mayo 28 de 2004

Señores:

Comité de Evaluación de Proyectos

Universidad Tecnológica De Bolívar

Programa de Ingeniería Mecánica

La ciudad

Respetados señores:

Por medio de la presente me permito ratificar la accesoria, y presentarles como director, la monografía **“ELABORACION DE UNA CELDA PROTOTIPO PARA LA REALIZACION DE ANODIZADO INDUSTRIAL BAJO PROCEDIMIENTO ESTANDAR”**, elaborada por los alumnos Jorge Eliécer David Campo y Luis German Guarnizo Pertuz, como requisito para aprobar el “Minor de Mantenimiento Industrial” y optar el titulo de Ingeniero Mecánico

Cordialmente,

Benjamín Arango
Ingeniero Metalúrgico
Director

Cartagena, Mayo 28 de 2004

Señores:

Comité de Evaluación de Proyectos

Universidad Tecnológica De Bolívar

Programa de Ingeniería Mecánica

La ciudad

Respetados señores:

Muy atentamente nos dirigimos a ustedes para presentarles a su consideración, estudio y aprobación, el proyecto de monografía titulado “**ELABORACION DE UNA CELDA PROTOTIPO PARA LA REALIZACION DE ANODIZADO INDUSTRIAL BAJO PROCEDIMIENTO ESTANDAR**”, como requisito parcial para optar el título de ingenieros mecánicos

Agradeciendo de antemano la atención prestada de su sabia decisión

Cordialmente sus autores,

Jorge Eliécer David Campo
CC.13872456 Bucaramanga-Santander

Luis German Guarnizo Pertuz
CC. 73197294 Cartagena-Bolívar

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

DEDICATORIA

A mi Padre Jorge y a Madre Elizabeth por todo el apoyo y esfuerzo durante toda la carrera.

A mi Hermano: Elías por sus enseñanzas.

A mi novia Ana Karina por ser un gran pilar para mi formación como persona.

A toda mi familia por el apoyo que me brindaron.

JORGE

DEDICATORIA

A mi padre Gregorio y a mi madre Margarita por todo el esfuerzo y fe que pusieron en mí para lograr alcanzar mis metas.

A mi hermana Adriana, por su ayuda y apoyo, y demás familiares.

LUIS GERMAN

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

A **BENJAMIN ARANGO**, Ing. Metalúrgico, Director de la monografía.

A **REMBERTO HERNANDEZ**, asistente laboratorio de metalografía, por su participación y colaboración en los ensayos practicadas.

A **JHONNY**, Asistente laboratorios de electrónica, por toda la ayuda prestada para realizar el proceso eléctrico de la practica.

NOTA DE ACEPTACION

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Fecha, _____

Universidad Tecnológica de Bolívar

Cartagena D.T. y C, Junio del 2004

RESUMEN

El proceso de Anodizado, es un proceso electroquímico, mediante el cual se le forma una capa (llamada capa anódica) a la superficie del aluminio, previamente acondicionado. En color natural se denomina Anodizado natural.

Cuando escuchamos este termino, Anodizado, lo primero que se nos cruza por la cabeza es el coloreado del aluminio, pues algo de eso tiene, pero en si el proceso de Anodizado es una forma de proteger el aluminio contra los agentes atmosféricos. Luego del extruido o decapado, este material entra en contacto con el aire y forma por si solo una delgada película de oxido con un espesor mas o menos regular de 0,01 micrones denominada oxido de aluminio, esta tiene algunas mínimas propiedades protectoras.

El proceso de Anodizado consiste en obtener de manera artificial películas de oxido de mucho mas espesor y con mejores características de protección que las capas naturales, estas se obtienen mediante procesos químicos y electrolíticos. Artificialmente se pueden obtener películas en las que el espesor es de 25/30 micrones en el tratamiento de protección o decoración y de casi 100 micrones con el procedimiento de endurecimiento superficial (Anodizado Duro).

Podemos decir que el proceso de Anodizado consiste en formar artificialmente una capa de oxido de aluminio en la superficie del metal, este procedimiento llevado a cabo en un medio sulfúrico produce la oxidación del material desde la superficie hacia el interior, como dijimos anteriormente el material que produce la oxidación, es oxido de aluminio, muy característico por su excelente resistencia a los agentes químicos, dureza, baja conductividad eléctrica y estructura molecular porosa, esta ultima junto con las anteriores, es la que nos permite darle una excelente terminación, características que la hacen adecuada y valiosa a la hora de elegir un medio de protección para este elemento.

LISTA DE CONTENIDO

	Paginas
INTRODUCCIÓN	
1. EL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES	2
1.1 CRECIMIENTO COMERCIAL DEL ALUMINIO	2
1.2 APLICACIONES	3
1.2.1 Transporte terrestre	8
1.2.2 Ferrocarriles	10
1.2.3 Aviación	11
1.2.4 Ingeniería en general	13
1.2.5 Agronomía	13
1.2.6 Ingeniería eléctrica	14
1.2.7 Ingeniería marina	16
1.2.8 Aplicaciones militares	16
1.2.9 Construcción de viviendas	17
1.2.10 Ingeniería estructural	20
1.2.11 Ingeniería de minas	21
1.2.12 Tecnologías de alimentos	22
1.2.13 Otros artículos de uso domestico	22
2. ELECTROLISIS	24

2.1 PRINCIPIOS GENERALES DE LA ELECTROLISIS	24
2.2 LEYES DE LA ELECTROLISIS	26
2.3 EQUIVALENTE ELECTROQUIMICO	27
2.4 VALOR DE UN FARADAY	27
3. ANODIZACIÓN DEL ALUMINIO	29
3.1 CONCEPTOS GENERALES	29
3.2 METODOS DE ANODIZACIÓN	31
3.2.1 Anodización con ácido sulfúrico	32
3.2.2 Anodización con ácido crómico	32
3.2.3 Anodización con ácido fosfórico	33
3.2.4 Anodización con ácido oxálico	33
3.2.5 Otros métodos se anodización	34
3.3 CARACTERISTICAS A TENER EN CUENTA EN LA REALIZACIÓN DEL ANODIZADO	35
3.3.1 Electrolito	35
3.3.2 Preparación de la Superficie	35
3.3.3 Neutralización	36
3.3.4 Anodizado	37
3.3.5 Suspensión de las Piezas	38
3.4 FACTORES Y VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA ELECTROLISIS Y ANODIZADO	38

3.4.1 Electrolito y conservación	39
3.4.2 Temperatura	41
3.4.3 PH	43
3.4.4 Concentración de Iones del Metal	43
3.4.5 Distancia Entre Electrodo	44
3.4.6 Agitación del Electrolito	45
3.4.7 Densidad De Corriente	46
3.4.8 Conductividad	48
3.4.9 Tiempo de duración del tratamiento	49
4. MATERIALES Y EQUIPO UTILIZADO	50
4.1 MATERIALES UTILIZADOS	50
4.1.1 Electrodo y preparación de ellos	50
4.1.2 Cuba electrolítica	54
4.1.3 Equipo utilizado	55
4.1.4 Comprobación del fijado	58
5. EL ANODIZADO FRENTE A OTROS RECUBRIMIENTOS	60
5.1 VENTAJAS DEL ANODIZADO	60
5.2 CARACTERISTICAS DEL METAL DESPUES DEL PROCESO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN	61
5.3 IMPLICACIONES AMBIENTALES	63
6. EXPERIENCIAS Y RESULTADOS OBTENIDOS	65

6.1 EXPERIENCIA PRELIMINAR	65
6.2 SEGUNDA EXPERIENCIA	65
6.2.1 Resultados	67
6.3 TERCERA EXPERIENCIA	67
6.3.1 Resultados de la tercera experiencia	68
6.3.2 Análisis de los resultados	69
6.4 CUARTA EXPERIENCIA	70
6.4.1 Cambios efectuados	71
6.4.2 Resultados de la cuarta experiencia	71
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	74
BIBLIOGRAFIA	76

LISTA DE TABLAS

	Paginas
TABLA 1. Algunas aleaciones forjadas que se utilizan en diferentes aplicaciones	7
TABLA 2. Análisis de los usos finales de los vaciados de aleaciones de aluminio	8
TABLA 3. Principales procesos para oxidación anódica	34
TABLA 4. Características del baño 2	67
TABLA 5. Características del baño 3	69
TABLA 6. Características del baño 4	70

LISTA DE FIGURAS

	Paginas
FIGURA 1. Celda de anodización de aluminio	24
FIGURA 2. Estructura celular de las películas de oxido porosas que se forman mediante la anodización	30
FIGURA 3. Grafica influencia de la concentración del electrolito en el espesor del anodizado del aluminio	40
FIGURA 4. Grafica influencia de la temperatura en el espesor de la capa de anodizado del aluminio	41
FIGURA 5. Montaje del equipo, para el proceso de anodizado	57
FIGURA 6. Diagrama de flujo estándar del proceso de anodizado	59

ANEXOS

	Paginas
ANEXO A. Fotografías del proceso de anodizado.	78
ANEXO B. Fotografías del circuito eléctrico y acabado de las piezas.	80

INTRODUCCION

Esta monografía trata como tema principal la anodización del aluminio, este trabajo lo hemos dividido en seis capítulos en los que se trataran temas relacionados con el anodizado.

Primero se hablara del aluminio, el material base sobre el cual se realiza el proceso, mencionaremos sus múltiples aplicaciones y también su crecimiento comercial que ha tenido en los ultimas años. Segundo como el anodizado es un proceso electrolítico, tomaremos un capítulo para hablar de los principios generales de la electrolisis. Posteriormente se abarcara el tema central de la monografía, el anodizado, hablaremos de los fundamentos, del proceso en general, de los distintos métodos de anodización. En le cuarto capítulo comprende los materiales y equipos utilizados en el proceso del anodizado. El quinto, como el anodizado es un recubrimiento metálico para prevenir la corrosión del aluminio, se hablara de la corrosión contra el aluminio, y por último contaremos nuestras experiencias vividas en la práctica del anodizado.

1. EL ALUMINIO Y SUS APLICACIONES

1.1 CRECIMIENTO COMERCIAL DEL ALUMINIO

Durante los períodos correspondientes a las dos Guerras Mundiales hubo un gran aumento en la demanda del aluminio, el cual fue seguido por un abatimiento en las ventas. Al contar ya con la capacidad de reducción instalada para solventar los requerimientos en tiempo de guerra, se recurrió a toda clase de incentivos para hallar salida a la capacidad de producción de estas plantas. Después de la Segunda Guerra Mundial se hizo frente a este desafío no sólo con el descubrimiento de nuevas aleaciones, sino también con la búsqueda de otros usos para las aleaciones existentes y con el diseño de prácticas y procesos encaminados a mejorar la calidad y la productividad. Grandes tonelajes de metal recuperado de los aviones destruidos u obsoletos se usaron para la fabricación de viviendas temporales prefabricadas y, al mismo tiempo, hubo una creciente demanda de material laminado para la manufactura de utensilios domésticos y de productos de aleaciones para los vehículos de transporte, la ingeniería estructural y de edificación, la distribución de energía eléctrica y las aplicaciones marinas.

1.2 APLICACIONES

El aluminio y sus aleaciones poseen propiedades que los hacen adecuados para una gran variedad de aplicaciones. El metal está disponible en una diversidad de formas que van desde planchas gruesas (250 mm) hasta hojas delgadas en extremo (0.005mm); de secciones de servicio pesado para estructuras ingenieriles hasta moldes pequeños para adornos decorativos, varillas de gran diámetro y barras que llegan a finos alambres. Los materiales están disponibles en revenidos diferentes para satisfacer los requerimientos de resistencia y formabilidad combinados con una baja densidad, en tanto que algunos tienen buenas conductividades térmicas y eléctricas. Su capacidad para resistir la corrosión y adquirir una gama de acabados distintos es en particular una ventaja.

El aluminio es un ejemplo de interés especial en el perfeccionamiento del empleo de un metal que es útil en una etapa moderna dentro del contexto histórico de los materiales capaces de llenar las necesidades de la humanidad, ya que da un testimonio casi único sobre el efecto de los factores industriales cambiantes. Los metales más antiguos, hierro y acero, cobre, latón y bronce, plomo, estaño y, por supuesto, oro y plata, se han usado durante cientos de años, han cambiado gradualmente y se han sustituido o complementado de vez en cuando con los materiales actuales. El aluminio ha alcanzado su actual diversidad de aplicación

en gran escala al sustituir en parte a los antiguos metales ya establecidos y también al unirse con los nuevos de las nuevas industrias que utilizan la tecnología moderna. En sus primeros tiempos, el aluminio tenía la desventaja de considerarse como un metal precioso cuyo uso, principal era para estatuas, objetos de arte, joyería y costosos accesorios personales. A medida que bajó su costo, se amplió el alcance de posibles usos, aunque su potencial no fue del todo apreciado hasta que las demandas de las nuevas invenciones hicieron que los ingenieros y diseñadores apreciaran la combinación de sus propiedades. Así era cuando la aviación inició su carrera espectacular en los primeros días del siglo XX, que fue cuando sobresalió el valor de su bajo peso, pero también se reconocieron sus ventajas en el mismo período cuando el motor de combustión interna hizo posible el automóvil de motor y otros vehículos de carretera. Fue entonces que debido a que se le necesitaba se pudo explotar al aluminio, debido al descubrimiento del endurecimiento por envejecimiento para obtener aleaciones resistentes.

La demanda creciente de los constructores de aviones y fabricantes de motores, condujo a importantes proyectos de investigación para mejorar aún más las aleaciones de aluminio y a su vez, dieron por resultado más aplicaciones a los materiales más resistentes capaces de resistir temperaturas más elevadas. Una de las primeras observaciones, la capacidad del aluminio para resistir la corrosión atmosférica, constituyó la base de muchos usos; en la década de los años 30, la serie de aluminio -magnesio inició la adopción en gran escala de dichas

aleaciones para utilizarse en ambientes marinos. La versatilidad de los procesos aplicados con éxito al aluminio, desde vaciados simples realizados por artesanos hasta las complejas secciones sometidas a extrusión, dio más oportunidades para competir con otros materiales y para que se le dieran otros usos.

A través de la historia, parecía que el aluminio tenía la desventaja significativa de un elevado precio por tonelada en relación con otros metales, en especial, hierro y acero, pero como los metales se utilizan más en base al volumen, la baja densidad y la facilidad de trabajo le ayudan a competir. La explotación de otras ventajas como la capacidad de producir una película anódica protectora y también decorativa en cierta forma, abrieron otros campos de aplicación. Se requirió más aluminio como resultado de las guerras de 1914 -1918 y 1935 - 1945 y los nuevos conocimientos de las propiedades de diseño y material fueron del todo empleados en el tiempo de paz, en particular a partir de la Segunda Guerra Mundial (en construcciones, desde modestos bungalows hasta manzanas gigantes con edificios de varios pisos, desde botes de remos hasta los barcos de gran tonelaje, desde la cafetera de aluminio vaciado de Chales Martín Hall hasta las enormes plantas construidas con aluminio soldado para uso en la industria química y las aplicaciones criogénicas actuales).

Durante los primeros cien años de su aplicación como un metal industrial, ha habido cambios continuos en los porcentajes del consumo anual del metal que se utiliza para las diferentes aplicaciones. Mientras que el aluminio ha sustituido

al cobre en muchas aplicaciones eléctricas como las líneas de energía de alta tensión y las barras de distribución conductoras, se ha visto también desafiado por las mejoras en los aceros para las estructuras de peso ligero o para las aplicaciones criogénicas como los tanques para el transporte del gas natural licuado. Las películas orgánicas sintéticas sustituyen a las hojas delgadas de aluminio como material para envolver algunas mercancías como el tabaco. En la construcción de aviones, las aleaciones de aluminio tienen que enfrentarse al reto del titanio y sus aleaciones y a las resinas reforzadas con fibras. La tecnología de las fibras ópticas que utilizan vidrio, reemplaza a los conductores metálicos en las telecomunicaciones.

En la tabla 1 Se presenta una lista de aleaciones forjadas y sus aplicaciones; En la tabla 2 se da el porcentaje aproximado de cada uso en la industria mundial de las aleaciones vaciadas.

Tabla 1. Algunas aleaciones forjadas que se utilizan en diferentes aplicaciones.

		Aplicaciones	Aleaciones
Transporte	Carros, camiones de carga, furgones, autobuses	Tablones para pisos,	2014A, 6061,
		Miembros del chasis	6082, 7020,
		Bastidores de recipientes	3103, 5154A
	Aviones	Carrocerías	
		Estructuras	2014A, 2034,
		Motores	7075, 7079, 7178
Marino	Superestructuras	2018, 2618	
		5154A, 5454 6061	
Ingeniería	General	Estructuras soldadas	5154A
		Estructuras esforzadas	2014A, 5083, 6061, 6082
		Remaches	1050A, 2014A, 5056, 5754A
		Pernos y tornillos	2014A, 5056A, 6061, 6082
	Eléctrica	Conductores	1350, 5005, 6061, 6101A
			2014A, 6061,
	Construcción	Estructuras	6063, 6082
			Techados y placas para paredes
		Artículos relacionados con la lluvia	3105
		Accesorios arquitectónicos	6063, 6082
Casa móviles		3105	
Artículos de uso doméstico	Prensado y conformación	1200, 3103 5005	
Empaque de alimentos	Hojas delgadas	1200	
	Latas para bebidas y refrescos	5182	
Equipos químicos	Tanques de almacenamiento	3003, 3004 5254, 5652	
		Recipientes a presión	3003, 5456
	Recipientes a presión que no se someten a calentamiento		
		5083	
Hojas pintadas		1100, 3003, 3105, 5005, 5050, 5052	

Tabla 2. Análisis de los usos finales de los vaciados de aleaciones de aluminio.

	Porcentaje
Aviación	6
Construcción	6
Utensilios y artefactos domésticos	11
Plantas y equipos eléctricos	9
Herramientas mecánicas y otras relacionadas con la Ingeniería mecánica	6
Equipos de oficina	2
Ferrocarriles	2
Vehículos de carretera (principalmente en los motores de combustión interna)	50
Construcción de barcos e ingeniería marina	5
Plantas textiles	3

1.2.1 Transporte terrestre

Las ventajas de la alta relación de resistencia/peso se han aplicado a todas las formas de transporte como los vagones de ferrocarril, carros y camiones de carga, furgones y autobuses, así como los principales elementos de las estructuras de barcos. El aluminio se utilizó en la mayoría de los primeros automóviles para la carrocería así como para los componentes del motor, pero con el advenimiento del automóvil producido en masa, la cantidad por vehículos ha permanecido relativamente estática no así para los vehículos más costosos. Esto se puede atribuir a diversos factores, en particular al costo que de hecho es más elevado comparado con el acero y a los problemas iniciales con la soldadura y la reparación en caso de daños. Otra consideración significativa, en la que concierne a los fabricantes de automóviles, ha sido el poder disponer de

materiales del tamaño necesario, la calidad y cantidad cuando menos de dos proveedores distintos.

La expansión rápida de la producción del aluminio primario en los últimos cincuenta años y la instalación de servicios de laminación capaces de manipular rollos pesados de un material ancho para muchas aleaciones endurecidas por trabajo y tratables térmicamente, ofrecen soluciones a los problemas de suministro. Los avances en las técnicas de soldadura y unión y en las aleaciones apropiadas para estos métodos de ensamblaje abren el campo a un amplio uso del aluminio en todo el campo del transporte. Los materiales poliméricos quizás sean una opción variable ante el acero para los paneles de la carrocería y parece que en un futuro cercano el principal incremento en el empleo del aluminio en los carros se deberá a los componentes del motor, las ruedas, los miembros del chasis y los bastidores de la carrocería. Más de la mitad de los automóviles producidos en Europa ya cuentan con radiadores de aluminio que sustituye al cobre a un costo menor y con un provechoso ahorro en el peso. En realidad, todo costo mayor que se deba al precio inicial del aluminio comparado con las opciones más baratas puede compensarse con los ahorros en el combustible que pueden llegar a un 10%.

Las aleaciones de aluminio han dado resultados satisfactorios en particular en el mercado de los vehículos comerciales de carretera, donde se ha sustituido el acero y a la madera para la carrocería de los camiones de carga y de furgones

así como también los artículos estructurales del chasis, paneles y asientos en los carros de pasajeros y autobuses. Además, los ahorros en el peso dan por resultado una economía en el combustible y también útiles ahorros en el mantenimiento debido a que no hay corrosión ni pudrición de la madera. Es común un mínimo de 10% de ahorro en el combustible a veces es el doble para vehículos bien diseñados que empleen de manera apropiada las aleaciones de aluminio. En el caso de los motores, la alta conductividad del aluminio es muy valiosa para alcanzar una mayor eficiencia. Un peso considerable de los vaciados de aluminio entra a formar parte de los bloques del motor, pistones, cabezas de los cilindros, cubiertas del cigüeñal y cajas de engranajes; en la actualidad, es posible operar los motores sin corazas de acero. Los camiones tanque para el servicio por carretera usan bastante el aluminio, así como los camiones de mudanzas y otros tipos de casas móviles.

1.2.2 Ferrocarriles

El aluminio se utilizó en el Reino Unido a principios del siglo veinte para los paneles de los techos de los carros de ferrocarril, aunque las aplicaciones principales en esta industria no crecieron sino hasta principios de la década de los años 50, cuando la *British Rail* y, en especial, la *London Transport* adoptaron las aleaciones de aluminio para sus nuevos diseños de carros debido a que los ahorros en el peso redujeron las demandas de energía; por ejemplo, *London*

Transport ahorró un mínimo de 12% de energía eléctrica para sus trenes con carrocerías de aluminio y redujeron el mantenimiento al operar sin pintar dichos "trenes plateados". El casco de la carrocería de los carros de *London Transport* aprovecha muy bien la facilidad con la cual los miembros estructurales complejos se pueden diseñar para producirlos como secciones sometidas a extrusión, mientras que las puertas normales corredizas se vacían en una aleación de aluminio-silicio. Una gran parte de los accesorios interiores en los carros construidos por *British Rail* son también de aluminio, como lo son los principales componentes de las locomotoras diesel.

1.2.3 Aviación

En virtud de su baja densidad relativa y amplio intervalo de propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio, las aleaciones resistentes se aplican mucho en la construcción de aviones, donde representan más del 75% del peso total. Habían componentes de aluminio vaciado el que impulsó el exitoso primer vuelo de los hermanos Wright; el primer aeroplano todo de aluminio fue el "*SilverStreak*", (rayo de plata) en 1921. Las aleaciones de aluminio del tipo "duraluminio", que eran nuevas en esa época proporcionaron la estructura de los "Zeppelines" alemanes de la Primera Guerra Mundial y los perfeccionamientos en la aviación moderna llevaron a muchas nuevas aplicaciones en otros campos. En la década de los años 50, cuando se pronosticó que las velocidades en aviación

aumentarían de tal modo que las aleaciones de aluminio serían incapaces de resistir los esfuerzos a las temperaturas altas resultantes de la fricción del aire a velocidades superiores a Mach 1, pareció que en los avances tecnológicos en dicha industria se usaría menos aluminio, pero las mejoras en las aleaciones, junto con el diseño de ingeniería permitieron la construcción del *Concorde*, constituido de una gran cantidad de materiales elaborados con aluminio, a pesar de que su velocidad excedía el doble de la velocidad del sonido, Mach 2.

En los aeroplanos de principios de los años 80, alrededor del 75% de la estructura se construyeron con aleaciones de aluminio de alta resistencia. En el máximo de la producción, se estimó el consumo en 20000 toneladas de aleación de aluminio para naves terminadas (450 al año) que provenían de comprar, quizás, cinco veces dicha cantidad. Para reducir el peso, muchos componentes de las aeronaves se maquinan a partir de planchas gruesas en vez de ser ensambles de hojas y extrusiones empernadas o remachadas los ahorros en los costos de operación justifican el aumento en los costos de material y construcción.

Debido a que la industria de la aviación demanda combinaciones de una más elevada resistencia, peso y relaciones de rigidez/peso, se ha estimulado la investigación en todos los países industriales y las últimas aleaciones basadas en el sistema aluminio-litio están en su etapa inicial de aplicación. Ofrecen los beneficios de que no sólo satisfacen los requerimientos de resistencia, sino que tienen asimismo un módulo de elasticidad mayor, lo que permite producir elementos estructurales más rígidos con significativos ahorros en el peso. Esta es

la manera normal en que, mediante la investigación, se logran los avances en las nuevas aplicaciones.

1.2.4 Ingeniería en general

El uso de las aleaciones de alta resistencia tratables térmicamente en la ingeniería en general ha estado limitada por lo inapropiado de dichas aleaciones para las uniones por soldadura y no ofrece una solución viable la práctica en la industria de la aviación, maquinar integralmente los componentes atiesados fabricados con planchas. A pesar de esta limitación, los productos de ingeniería en general que se fabrican con aluminio van desde remaches a puentes y antenas de televisión. Como ejemplo de un producto especializado de alta calidad están las hojas litográficas, un producto que ha sustituido materiales competitivos que habían estado en uso durante muchos años.

1.2.5 Agronomía

Las aleaciones de aluminio se utilizan en la agronomía en la forma de hojas corrugadas para el techado y planchas para las paredes de las construcciones y los silos para los granos y corno tubos sometidos a extrusión o de costuras soldadas para irrigación, donde su peso ligero hace mucho más fácil la

manipulación y transporte. El metal también se emplea en la maquinaria de la granja y para los tanques destinados al transporte de leche. Como secciones sometidas a extrusión se usan en las estructuras de los grandes centros comerciales y en los invernaderos cubiertos de vidrio de los jardines, cajas de paredes de cristal (para cubrir plantas jóvenes).

1.2.6 Ingeniería eléctrica

Un tonelaje considerable de aluminio se consume en los cables de transmisión de la energía eléctrica, tanto como en los cables trenzados de aluminio reforzados con acero como para los cables aéreos de alta tensión y cables cubiertos de aluminio para la distribución de la energía generada en tierra. Estos últimos dan por resultado un ahorro en el peso de 20 a 70% en comparación con los cables cubiertos con plomo.

El alambre fabricado con la aleación 6101A de Al-Mg-Si tratable térmicamente tiene una conductividad poco menor, pero propiedades mecánicas más elevadas que el aluminio puro 1350 y se usa en la distribución de energía a baja tensión.

El aluminio y sus aleaciones con su película de óxido natural de alta resistencia eléctrica requieren técnicas especiales de unión como la soldadura a presión en frío.

Las secciones sometidas a extrusión de aluminio se han utilizado, en tonelajes de hecho pequeños, como guías de ondas en la telecomunicación. Las hojas de las aleaciones de aluminio con calidad de prensado y laminadas en frío se emplean en lugar del latón para elaborar las tapas de las lámparas en los focos de luz eléctrica.

Varios accesorios eléctricos como las cajas de cables, cajas de interruptores, cajas de conexiones, codos y tapas, se han vaciado en aleaciones de aluminio.

Debido a la más baja conductividad eléctrica en comparación con el cobre, los conductores de aluminio necesitan una mayor área de sección transversal que la del conductor de cobre equivalente. Este es un factor que se opone al uso del aluminio como cubierta de la instalación alámbrica y para el devanado de los motores o transformadores eléctricos.

Las aleaciones de aluminio 1200, 1350 y 6101A se utilizan en forma de placas laminadas aserradas muy estrechas o con perfiles sometidos a extrusión para barras de distribución.

Las características no magnéticas del aluminio lo hacen útil para protección eléctrica, como son la cubierta de las barras de distribución y la cobertura para otros equipos eléctricos.

1.2.7 Ingeniería marina

Las aleaciones de aluminio-magnesio y de aluminio-magnesio-silicio, con su combinación de buenas propiedades mecánicas y buena resistencia a la corrosión, resultan adecuadas para soldar; se han empleado para pequeñas embarcaciones, superestructura de los trasatlánticos y recipientes para el transporte de gas natural licuado. La producción para los productos laminados y sometidos a extrusión ha disminuido por diversas razones, pero debido principalmente a la introducción de las resinas reforzadas con fibra de vidrio para las embarcaciones pequeñas, el aumento en el transporte aéreo y el diseño de aceros especiales para las aplicaciones a baja temperatura.

1.2.8 Aplicaciones militares

Las aleaciones más favorecidas para la construcción de puentes, vehículos de combate y planchas de blindaje son las de la series de aluminio-zinc-magnesio, puesto que se pueden soldar hasta espesores de 50 mm, tienen baja sensibilidad a la temperatura del tratamiento térmico y tienen baja sensibilidad al templado unidas a las propiedades de envejecimiento natural además pierden muy poca resistencia una vez que haya transcurrido un período de unos treinta días.

1.2.9 Construcción de viviendas

Después de la Segunda Guerra Mundial se utilizaron miles de toneladas de aleaciones de aluminio recuperadas de aviones derribados, en la forma de hojas y secciones sometidas a extrusión para la construcción de las casas AIROH (bungalows prefabricados de aluminio) para dar alojamiento temporal en las áreas y alrededor de las que habían sido sometidas a los bombardeos. Dichas casas se diseñaron para una vida útil de diez años debido a que los materiales empleados no tenían una óptima resistencia a la corrosión, aunque muchas de las 75000 construidas en las anteriores fábricas de aviación del tiempo de guerra, todavía estaban ocupadas después de más de un cuarto de siglo. Muchas de las lecciones aprendidas al diseñar componentes de las casas junto con sus resultados satisfactorios en el servicio dieron la confianza que tienen en la actualidad los arquitectos y constructores para diseñar edificaciones modernas.

Los *bungalows* prefabricados de aluminio tenían, aparte de las hojas del techo, pinturas protectoras; hoy en día cuentan con empanelados, marcos de ventanas, umbrales, puertas y todo lo que los circundan generalmente anodizados, como también lo están las molduras decorativas fabricadas con productos forjados. El uso de los recubrimientos anodizados de color llevó a una gran variedad de acabados de los que pueden disponer el arquitecto. Recubrimiento de 25 mm suministran una protección adecuada aun en atmósferas industriales, en donde las superficies anodizadas reciben una limpieza periódica. El aluminio es

apropiado para los artículos que están expuestos a las lluvias, pero no para servicios de plomería y calefacción.

El aluminio en forma de antepechos vaciados, hojas y secciones sometidas a extrusión se ha utilizado durante muchos años para las fachadas de los edificios. Una propiedad muy importante de los antepechos de aluminio es su carencia de productos corrosivos de color que son causa de manchas y rayas deformes sobre las superficies adyacentes del edificio. Si se desea, los antepechos se pueden anodizar y pintar.

Las hojas de las aleaciones de aluminio del tipo de endurecimiento por trabajo como la 3103 (1.2% de Mn) se usan bastante para techado y las placas, para paredes de los edificios, empleándose una gama de perfiles diferentes de corrugado y método de unión y fijación. Para los guardaguas y las planchas de escurrimiento se dispone de aluminio de elevada pureza (99.99%) no está sujeto a recuperación elástica.

Las edificaciones y las construcciones son donde más se aprovechan los materiales de aluminio sometidos a extrusión. La aleación 6063 se utiliza para secciones delgadas, ya que posee un buen acabado inherente para las ventanas y las puertas. Cuando se necesite una mayor resistencia se deben usar las aleaciones 6061 ó 6082.

El aluminio y sus aleaciones tienen muchas aplicaciones en el diseño de escaleras, balaustras, cubiertas de escaleras eléctricas, elevadores, etc. si se diseñan con la suficiente rigidez.

Las piezas vaciadas se utilizan para sustituir las complicadas monturas remachadas en las estructuras de aluminio. Quizá sea preferible usar forjados cuando se requieran componentes más fuertes y tenaces y las cantidades justifiquen los costos incluidos.

Si se emplea aluminio en construcciones, se necesita evitar la corrosión debida al contacto con los materiales alcalinos de construcción como son ciertos morteros, yesos y cementos, y tomar precauciones en contra de la corrosión galvánica debida al contacto con otros metales.

Los accesorios interiores como los tabiques, puertas, persianas venecianas, rejas, mampara y accesorios para puertas se hacen también con una aleación de aluminio. En la actualidad hay radiadores para calentar el ambiente en los edificios destinados a la vivienda y comercios, fabricados con extrusiones de aluminio. Esta aplicación ha hecho necesario un nuevo enfoque en el ensamble e inhibición de la corrosión por el agua.

El aluminio se emplea en la fabricación de equipos para la industria de la construcción como plumas, grúas, malacates, bombas, encofrados y andamios.

1.2.10 Ingeniería estructural

Los resultados satisfactorios obtenidos en el diseño de los principales componentes estructurales para la aviación militar en la Segunda Guerra Mundial, combinado con el interés suscitado por el programa de construcción de *bungalows* de aluminio, generarán nuevos conceptos en la ingeniería estructural en la cual se aprovechan todas las ventajas de la elevada relación de resistencia/ peso, como se ejemplifica por la construcción de edificios de gran espacio como los hangares de aviación. La facilidad de mantenimiento y versatilidad del proceso de extrusión hicieron adecuado al aluminio para la construcción de escuelas y, más tarde, edificios de varios pisos.

La construcción del *Dome of Discovery* (Domo del descubrimiento), para el festival de exhibiciones británicas en 1951, con un diámetro de 111.5m (365 pies), el más grande del mundo construido con aluminio, fue un gran logro de la ingeniería estructural. Proporcionó un ejemplo único del uso del aluminio, acero tubular y concreto en el diseño de construcciones. Pero antes de esto, ya se había diseñado y construido en el Reino Unido el primer puente levadizo de aluminio del mundo y demostró el valor de la prefabricación junto con la facilidad de manipular tales tipos estructurales.

Para satisfacer los requerimientos de la rigidez torcional y la resistencia al pandeo local, tanto de las vigas como de los puntales, sin aumentar las dimensiones de su sección transversal hasta el punto de hacer que el material no compita con el

acero, la *Aluminum Development Association*, (Asociación de Avances en el Aluminio), diseñó una serie de secciones reforzadas con bordones y filetes. La investigación básica unida a la experiencia adquirida, permitió la recopilación del *Code of Practice for the Structural Use of Aluminum*, (Código de la práctica para el uso estructural del aluminio), publicado en 1969 (con una versión puesta al día en 1987-CP8118).

1.2.11 Ingeniería de minas

El empleo del aluminio y sus aleaciones en las minas de Gran Bretaña está sujeto a la *National Safety Regulations*, (Reglamentos de Seguridad Nacional). Se sabe que el aluminio y sus aleaciones no tienen tendencias a chispar y son adecuados para utilizarlos con materiales explosivos. No obstante, las investigaciones han demostrado que las aleaciones del aluminio que tengan un contenido de magnesio en exceso de un 1% son propensas a producir chispas cuando se ponen en contacto violento con acero oxidado, lo que origina un riesgo de explosión en una atmósfera que contenga metano.

Las aleaciones de aluminio con un contenido de magnesio menos de un 1% se han usado como vaciados para el cuerpo de las herramientas ligeras operadas manualmente, como extrusiones para los soportes de peso ligero en los techos, como una hoja o placa gruesa para el cuerpo de las artesas para el transporte de minerales y como placas y extrusiones para los malacates.

1.2.12 Tecnología de alimentos

El hecho de que el aluminio no sea tóxico y de que posea una alta conductividad térmica lo hace adecuado para utilizarlo en la industria alimenticia para los utensilios de cocina y otros equipos. Asimismo se usa bastante en los equipos domésticos, a pesar de que en años recientes ha tenido que hacerle frente a la competencia de los objetos de acero inoxidable.

La aleación de aluminio 5182 tiene un mercado creciente en las latas para bebidas. Se trata de una aleación de aluminio-magnesio que combina altas propiedades mecánicas para permitir un espesor mínimo en los extremos de las latas, un alto grado de formabilidad y una pérdida mínima de resistencia al secar en el horno después del laqueado que se necesita para asegurar la conservación de los recipientes de la cerveza y las bebidas.

1.2.13 Otros artículos de uso doméstico

El aluminio se emplea en los paneles de enfriamiento de los refrigeradores, en gabinetes, máquinas de lavar, piezas de las aspiradoras, armazones para todo tipo de muebles, reflectores caloríficos y lumínicos, artículos ornamentales anodizados y equipos deportivos.

Los recipientes de aluminio para los alimentos congelados, los moldes para hornear, los alimentos para llevar, etc. han contribuido a consolidar un importante mercado. El papel aluminio se utiliza para envolver el queso y las hojas delgadas laminadas se utilizan también para otros comestibles; también viene en forma de rollos pequeños de unos cuantos metros de largo para uso doméstico en las actividades culinarias.

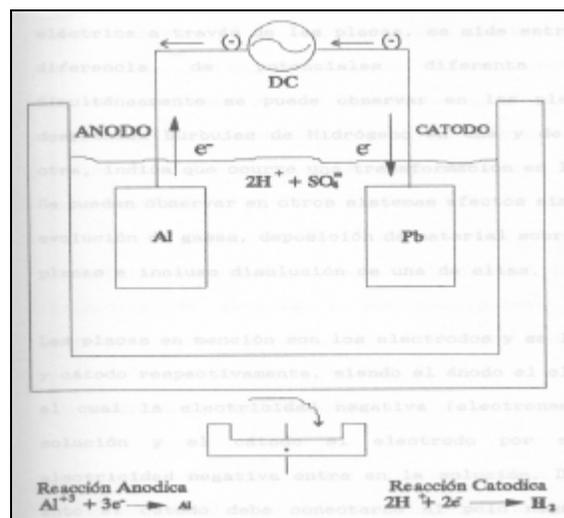
2. ELECTROLISIS

En este capítulo se describe en forma global los principios generales de la electrólisis, el efecto de cada una de las variables que intervienen en el proceso, conceptos generales sobre anodizado y en particular anodización del Aluminio.

2.1 PRINCIPIOS GENERALES DE LA ELECTROLISIS

Cuando se sumergen dos placas en una celda que contiene una solución acuosa y se conectan dos polos de una fuente de tensión, se puede observar un flujo de corriente en el circuito así montado. Ver figura 1.

Figura 1. Celda de anodización del Aluminio.



Si la experiencia consiste en impulsar una corriente eléctrica a través de las placas, se mide entre ellas una diferencia de potenciales diferente de cero. Simultáneamente se puede observar en las placas que se desprenden burbujas de Hidrógeno en una y de Oxígeno en otra, indica que ocurre una transformación en la solución. Se pueden observar en otros sistemas efectos similares como evolución de gases, deposición de material sobre una de las placas e incluso disolución de una de ellas.

Las placas en mención son los electrodos y se llaman ánodo y cátodo respectivamente, siendo el ánodo el electrodo por el cual la electricidad negativa (electrones) deja la solución y el cátodo el electrodo por el cual la electricidad negativa entra en la solución. De acuerdo a esto el cátodo debe conectarse al polo negativo de la fuente de potencia y el ánodo al polo positivo de la misma. Cuando una celda galvánica es conectada en esa forma con un voltaje suficientemente alto la corriente fluirá a través de la celda causando una reacción electroquímica. Este proceso se llama electrólisis. La solución, la cual conduce la corriente entre los electrodos se llama electrolito. Faraday asumió que el flujo de electricidad en el electrolito se debe al movimiento de partículas cargadas a las que se llama iones, llamándose aniones los que se mueven hacia el ánodo teniendo carga negativa y cationes los que se mueven hacia el cátodo teniendo por consiguiente carga positiva.

Este flujo de corriente a través del electrolito origina un transporte de materia y por consiguiente reacciones química.

2.2 LEYES DE LA ELETROLISIS

La relación de la cantidad de electricidad que fluye a través de los límites metal-electrolito, a la cantidad de cambio químico por ella producido, fue investigada por Michael Faraday en 1.833. Los resultados de estas investigaciones se pueden resumir en las dos leyes por él investigadas:

Primera ley: El peso de sustancias depositadas en una electrólisis es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que ha circulado. Siendo la cantidad de electricidad igual a la intensidad (I) por el tiempo (t), luego el peso (G) de sustancia depositada, vendrá expresada por:

$$G = E_q \cdot I \cdot t \quad (1)$$

Donde:

E_q = Equivalente electroquímico práctico (g/Amp-h)

I = Intensidad de corriente (Amperios)

t = Tiempo de permanencia (h)

Segunda ley: La cantidad de electricidad necesaria para depositar un equivalente-gramo o peso-equivalente de una sustancia, es la misma, cualquiera que sea esta. Esta cantidad de electricidad necesaria para depositar un equivalente-gramo (Eg) se le denomina un Faraday (F), el equivalente-gramo es igual al peso atómico (Pa) dividido por el número de valencias (Z) con que actúa.

Ver Ecuación 2.

$$Eg = Pa / Z \quad (2)$$

2.3 EQUIVALENTE ELECTROQUIMICO

El equivalente electroquímico (Eq), de un ion es el numero de gramos depositados cuando ha circulado una cantidad de corriente de un Culombio (C), y viene expresado en gr. / Culombio.

2.4 VALOR DE UN FARADAY

La cantidad de electricidad necesaria para depositar un equivalente-gramo de sustancia, se obtiene dividiendo el equivalente gramo de sustancia por el equivalente electroquímico de la misma, así:

$$\frac{Eg}{Eq} = \frac{Pa \cdot Z^{-1}}{Eq} = 96.490 \text{Columbios} \quad (3)$$

En la práctica se necesita más de un Faraday para la liberación de un equivalente-gramo de una sustancia. Esto no se debe a que fallen las leyes de Faraday, sino a otras causas. Como, Producirse reacciones secundaria en el electrolito, sufrir perdida mecánica los productos de la electrólisis, y originarse reacciones secundarias en los electrodos. Además puede haber fugas de corriente, cortocircuitos, perdidas en forma de calor.

En base a la segunda ley de Faraday se puede deducir la expresión para el equivalente electroquímico de una sustancia cualquiera. Ver ecuación 4.

$$Eq = \frac{Pa}{Z \cdot 96.490} \quad (4)$$

Donde:

Eq = Equivalente electroquímico en gr. / Culombio

Pa = Peso atómico

Z = Numero de valencia

3. ANODIZACIÓN DEL ALUMINIO

3.1 CONCEPTOS GENERALES

La protección y decoración del Aluminio y sus aleaciones ha tomado una importancia de primer orden en nuestros tiempos, que lo ha situado rápidamente entre los metales de interés mundial más destacados.

El recubrimiento del Aluminio por medio de películas de otros metales con mejores o mas adecuadas características físicas y químicas, ha hallado siempre la dificultad que presenta a la deposición electrolítica, la presencia constante en la superficie del Aluminio de una película de oxido fácil de disolver, pero de inmediata formación tan pronto el metal vuelve a entrar en contacto con el oxígeno de las atmósfera.

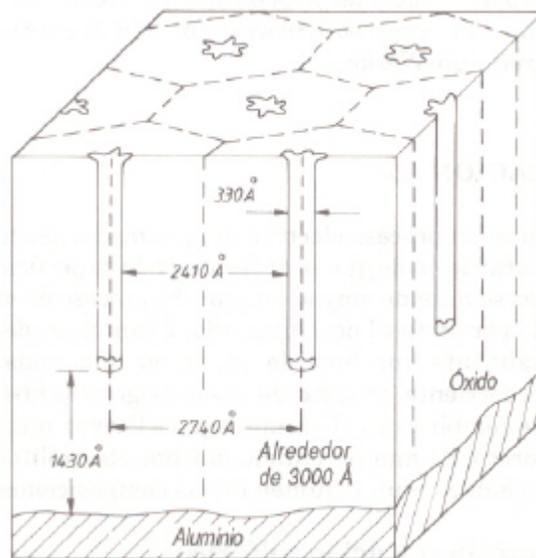
Por ello los problemas de protección y decoración del Aluminio y sus aleaciones han sido orientados siempre hacia el anodizado.

La Anodización del aluminio es un procedimiento mediante el cual se comunica un acabado a superficies lisas u objetos ornamentales de aluminio. Este

revestimiento de acabado se produce con el fin de lograr una mayor resistencia del aluminio frente a la corrosión o al desgaste.

El tratamiento anódico produce una superficie porosa de aproximadamente una centésima de milímetro de espesor, siendo los poros de mil veces mas pequeños y separados entre sí por distancias análogas a sus diámetros, lo que tiene como consecuencia que existen miles de millones de poros por centímetro cuadrado.

Figura 2. Estructura celular de las películas de oxido porosas que se forman mediante la anodización. (Tomado de *EL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES*)



La capa de oxido esta constituida por una estructura cristalina y de fuerte poder absorbente.

Merced a esta ultima cualidad, la película puede impregnarse con cuerpos grasos, colorantes, lacas barnices, etc. Estas aplicaciones cumplen una doble función: la primera es cerrar y obturar los poros de las capas de oxido, ya que, de no producirse esta obturación, inevitablemente se llegaría, en perjuicio de las propiedades de la película de oxido, o una absorción de cuerpos extraños, polvo, humedad, etc.

Evidentemente existe la posibilidad de analizar y colorear este metal, lo que en gran parte ha impulsado su empleo y difusión, desplazando al cobre, latón, y otros metales, lo que va convirtiendo al aluminio en uno de los metales de uso mas extendido en todo el mercado.

3.2 MÉTODOS DE ANODIZACIÓN

Existen varios métodos para realizar los procesos de anodización que se diferencian en cuanto al electrolito usado en el baño y las características obtenidas. Los electrólitos más comunes se elaboran con ácido sulfúrico 15-20 % en peso, pero en el comercio también se emplean otros ácidos como el crómico, fosfórico y oxálico.

3.2.1 Anodización con ácido Sulfúrico.

Usado para incrementar la resistencia a las influencias corrosivas del ambiente, aguas salinas, ciertos productos químicos, orgánicos y alimenticios, siendo esta una de las características mas apreciadas del anodizado.

Por lo común, las temperaturas del baño de ácido sulfúrico se mantienen en el intervalo de 18-25 °C, aunque si se opera entre -5 y +5 °C se obtienen recubrimientos muy duros. Cuando no se requiere coloración la película anodizada se sella por lo general, en vapor de agua o agua en ebullición durante 20 minutos; este tratamiento convierte al óxido en una forma hidratada con mayor volumen específico. El sellado en soluciones acuosas reduce en forma notoria la dureza y la película comúnmente se encera o se impregna con aceite de silicón.

3.2.2 Anodización con ácido crómico

El proceso de anodización con 3% de ácido crómico que se emplea a 40 °C está dentro de las patentes originales de Bengough y Stuart de 1923. Se diseñó con el fin de proteger las piezas de aluminio de los hidroplanos contra la corrosión del agua de mar. La capa delgada es muy adherente y su resistencia se puede mejorar si se "sella" impregnándola con cera o aceite.

3.2.3 Anodización con ácido fosfórico

Las soluciones de anodización con ácido fosfórico producen una estructura de recubrimiento con poros de mayor diámetro que los comunes en el proceso con ácido sulfúrico. Dicha estructura está adaptada en forma ideal para el tratamiento previo destinado al depósito electrolítico del aluminio y como un tratamiento preparatorio para el enlace adhesivo de los componentes del aluminio.

3.2.4 Anodización con ácido oxálico

Las soluciones de anodización con el ácido oxálico de 3 - 5% ó 5 - 10% que se operan a 15 - 40°C y 30 -100 V, tiempo de tratamiento de 10 - 100 minutos, tienen la tendencia a producir recubrimientos duros, amarillentos, translúcidos, resistentes a la abrasión y con un espesor de 0.001- 0.1mm. Este color amarillento se produce sin tener que añadir colorantes o pigmentos.

A continuación la tabla 3 muestra los principales procesos para la oxidación anódica y sus características.

Tabla 3.

PRINCIPALES PROCESOS PARA OXIDACIÓN ANÓDICA						
Tipo de Baño	Aplicación	Composición	Tensión (V)	Densidad de corriente (A/dm ²)	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)
Ácido Sulfúrico	Protección	H ₂ SO ₄ 20% peso	15 – 20	1,2 – 2	18 – 22	30 – 60
Ácido Sulfúrico	Decoración	H ₂ SO ₄ 20% peso	10 – 15	0,6 – 0,8	20 – 22	30
Ácido Sulfúrico	Industrial	H ₂ SO ₄ 10% peso	20 – 120	4 – 5	-4 – 2	60 – 240
Ácido Crómico	Protección	CrO ₂ 6% peso	30 -50	0,3 – 0,6	35 – 40	20
Ácido Oxálico	Protección	C ₂ O ₄ H ₂ 5% peso	30 – 60	1 – 2	15 – 30	30 – 60
Ácido Sulfúrico + Ácido Oxálico	Decoración	H ₂ SO ₄ 12% peso C ₂ O ₂ H ₂ 8% peso	15 – 25	0,5 – 1,5	28	30 – 60

3.2.5 Otros métodos de anodización

- a. Revestimiento Martín Hard o Aluminate. Procedimiento para incrementar la resistencia al desgaste.
- b. Procedimiento del Ácido Bórico. Usado para lograr una aplicación especial como revestimiento dieléctrico.
- c. Procedimiento Brytal. Este se realiza para revestir mediante una película clara, transparente, los reflectores electro-pulimentados.

3.3 CARACTERÍSTICAS A TENER EN CUENTA EN LA REALIZACIÓN DEL ANODIZADO.

3.3.1 Electrolito.

El baño está constituido esencialmente, por una disolución de ácido Sulfúrico, agentes inhibidores, estabilizadores, etc. En agua destilada hasta una determinada densidad.

El empleo de mayores densidades bajo la misma temperatura, corriente y tiempo de exposición, da lugar a la formación de capas más ligeras y facilita, además, ataque químico de la película por parte de la solución o baño.

La disolución debe hacerse vertiendo poco a poco el líquido concentrado sobre el agua y removiendo continuamente para evitar que la elevación de temperatura que se produce en el momento de la mezcla adquiera valores peligrosos.

3.3.2 Preparación de la superficie

Es muy conveniente que las superficies a Anodizar y colorear sean tratadas ya desde un principio con los debidos cuidados, pues algunos defectos no son fáciles de disimilar o eliminar en las operaciones preparatorias. Además, el aluminio es un

metal relativamente blando y como tal, esta sujeto a esfuerzos mecánicos superficiales que pueden afectar notablemente a la calidad y particularmente a la homogeneidad del anodizado.

Los métodos a seguir en la preparación de las superficies varían de conformidad con el tipo acabado deseado pero sea cual fuere este, debe iniciarse con una pulimentación mecánica, con la que se pretende no solo obtener un acabado mas brillante sino, lograr una uniformidad de las superficies que acumule o disimule los efectos de algunas irregularidades del material, lo cual es indispensable para obtener coloración uniforme y agradable.

3.3.3 Neutralización

Las superficies anodizadas arrastran cantidades de baño en mayor escala que en otras aplicaciones galvánicas, debido a la propiedad absorbente de la película. La acidez de estos restos, no solo impediría una coloración perfecta, sino que inutilizaría la solución colorante, y por esto es preciso reparar totalmente los más pequeños vestigios de baño, sumergiendo las piezas en una disolución neutralizante.

Esta neutralización debe estar precedida y seguida por un íntimo y enérgico enjuague efectuado con agua corriente, y en el curso de la misma no deben

tocarse las piezas con las manos ni ponerlas en contacto con otros cuerpos materiales. De vez en cuando debe comprobarse que esta solución neutralizante se conserva francamente alcalina, renovándola en cuanto se observa la menor suciedad o turbiedad.

3.3.4 Anodizado

Una vez preparada las piezas, y previos enjuagues abundantes, deben ser llevados al baño anodizado, cuya temperatura habrá sido antes comprobada y rectificada.

Las piezas deben entrar al baño bajo corriente, y debe cortarse esta hasta después de retirada de la cuba. Además, no es recomendable variar la carga del baño durante el tratamiento, pues, el proceso de formación de la película de óxido se realiza bajo distintas y sucesivas intensidades de corriente, y las oscilaciones producidas en un momento crítico de aquella formación aquella formación pueden dar lugar a interrupciones limitativas en la formación de la película. También debe procederse con cuidado cuando se retira las piezas una por una para evitar que la intensidad de corriente aplicada a las que van quedando en el baño adquiera valores excesivos.

3.3.5 Suspensión de las piezas

El estudio del reporte para las piezas debe hacerse teniendo en cuenta que no se trata simplemente de sostener la pieza, sino también de establecer el camino que deberá seguir la corriente para repartirla lo más uniformemente posible en toda la superficie a tratar. La colocación de la pieza en el baño deberá hacerse de forma que, de existir perfiles o ángulos agudos, estos no queden mucho más próximos al cátodo que el resto de la pieza, o procurando al menos que la diferencia no sea muy notable.

La superficie de contacto entre la pieza y el gancho o soporte debe ser tal que pueda producirse calentamientos que darían lugar a un aumento de resistencia y a un desequilibrio en la formación de la capa de óxido.

3.4 FACTORES Y VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA ELECTROLISIS Y ANODIZADO

Los factores que influyen en la calidad del anodizado del aluminio dependen de la naturaleza del metal, del tipo de electrolito y de las condiciones de trabajo tales como concentración y temperatura del electrolito, voltaje y densidad de corriente, etc. La naturaleza del electrolito, el PH de la solución, la concentración de iones metálicos, la sencillez o complejidad del Ion metálico incluyendo su ionización

primaria y secundaria, así como la presencia de agentes modificadores o de adición, ejercen conjuntamente con influencia en la naturaleza del depósito obtenido y en la eficiencia de corriente.

3.4.1 Electrolito y concentración

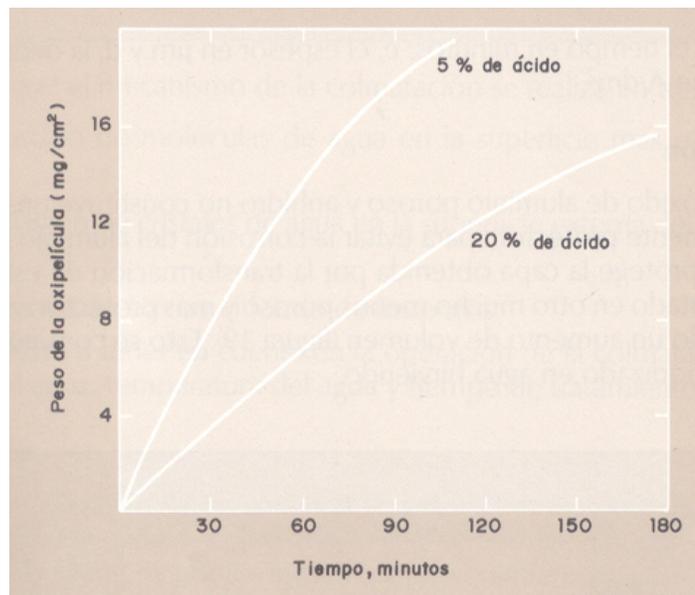
El electrolito es un medio conductor, en el cual el flujo de corriente eléctrica tiene lugar a través de iones que migran. Ciertos autores definen el electrolito como una sustancia, la cual al disolverse en un solvente específico, produce una solución iónicamente conductora.

El tipo de electrolito influye en las reacciones secundarias que tienen lugar en el ánodo, junto con la oxidación del aluminio a anodizar. Estas reacciones inciden en la homogeneidad, en la transparencia y en la coloración del anodizado.

Teóricamente la concentración del electrolito más conveniente es la que presenta menos resistencia óhmica al paso de corriente eléctrica. Pero en la práctica de la anodización ocurre que el ánodo se va disolviendo aumentando la fuerza iónica del electrolito a lo largo del tiempo que dura este procedimiento de protección contra la corrosión. Por este motivo siempre se suele recomendar concentraciones de electrolito a la que implica un máximo de la conductividad iónica. En la figura 3

se aprecia la influencia de la concentración del ácido sulfúrico en el espesor de la capa del anodizado.

FIGURA 3. Grafica influencia de la concentración del electrolito en el espesor del anodizado del aluminio.



El PH electrolito influye en la naturaleza y aspecto del depósito, así como en la eficiencia de corriente. A medida que el electrolito va siendo agotado del metal, aumenta el PH, de modo que el depósito se produce en un amplio margen de condiciones.

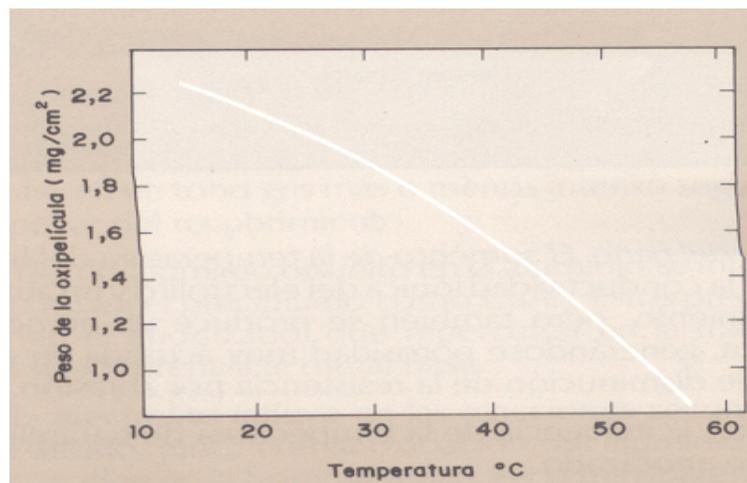
El electrolito por lo general está circulando a través de la celda, para prevenir el decantamiento de los iones metálicos y la saturación de electrolito; la circulación del electrolito minimiza su estratificación y pueden ser circuladas a través de un

sistema central cuando se trata de varias celdas para conseguir concentraciones y temperaturas uniformes.

3.4.2 Temperatura

El aumento de la temperatura del baño implica un aumento de la conductividad iónica del electrolito y un aumento del brillo del recubrimiento, pero también se produce un aumento de la disolución anódica, generándose porosidad muy acusada en el recubrimiento, además de disminución de la resistencia por abrasión. La figura 4, nos muestra la influencia de la temperatura en el espesor de la capa de anodizado del aluminio.

FIGURA 4. Grafica influencia de la temperatura en el espesor de la capa de anodizado del aluminio.



Se observa, pues, que existe una relación estrecha entre la concentración del baño electrolítico y su temperatura, debiendo elegir los parámetros de tal forma que el recubrimiento obtenido reúna las características precisas para la aplicación deseada.

Los aumentos de temperatura hacen crecer ordinariamente la conductividad del electrolito, así como las velocidades de difusión, la disolución química del ánodo y la redisolución del cátodo.

El efecto total es un descenso de la polarización y una caída del voltaje de la celda. El aumento de temperatura estimula el crecimiento de los cristales más que la formación de nuevos núcleos. El descenso de la resistividad del electrolito al subir la temperatura, da como resultado un descenso de la concentración de corriente en los puntos salientes del cátodo de modo que sus irregularidades se desarrollan con menor rapidez, que a temperaturas bajas cuando la polarización varía en razón directa de la densidad de corriente el aumento de la temperatura reduce esta polarización, y puede resultar favorecida la formación de nódulos por el empleo de temperaturas altas; toda vez que puede adoptarse una densidad de corriente más elevada para el mismo valor de la polarización.

El aumento de temperatura la causa del desprendimiento de hidrógeno y de la precipitación de sales contaminadoras. Ambos factores afectan en forma nociva la naturaleza del depósito.

3.4.3 PH

El PH de un electrolito que precipita un metal influye notablemente en la naturaleza y aspecto del depósito, así como en la eficiencia de corriente. No se encuentra ningún problema con especies tan fácilmente reducibles como el Ion Plata; éstas pueden ser eliminadas cuantitativamente de medios muy ácidos sin interferencias. Por el contrario, elementos menos fácilmente reducibles no pueden ser depositados de una solución ácido, debido al desprendimiento simultáneo de Hidrógeno: así, por ejemplo, en algunos procesos industriales como el del Níquel, se añaden amortiguadores, como el ácido Bórico para mantener el PH al nivel deseado. En los procesos de obtención electrolíticas, a medida que el electrolito va siendo agotado del metal, aumenta el PH de modo que el depósito se produce para un amplio rango de condiciones. La disminución del PH influye favorablemente en la conductividad, y aumenta la polarización del depósito. Con ello, queda evitada la precipitación de sales básicas, pero se favorece el desprendimiento de Hidrógeno.

3.4.4 Concentración de iones del metal

La concentración de iones del metal en un electrolito queda afectada por la concentración molar de las sales, por su grado de ionización (que a su vez dependerá de dicha concentración molar), por la temperatura, por la presencia

o ausencia de iones comunes, o de elementos constitutivos del baño que puedan originar iones complejos (los cuales por su parte, originan iones de metal por procesos no primario, sino secundarios). La adición de iones comunes produce solo un cambio relativamente ligero en las concentraciones de metal, sobre toda en las soluciones concentradas, como consecuencia de la limitada solubilidad de las sales que puedan añadirse. La formación de iones estables complejos reduce notablemente la concentración de metal. Las concentraciones molares muy bajas suministran depósitos pulverulentos, incluso con pequeños valores de la densidad de corriente.

La disminución de la concentración de iones del metal hace disminuir también el tamaño de los cristales.

La disociación, la migración iónica, la difusión y la convección influyen en que se presente un gradiente de concentración de iones metálicos, particularmente en la superficie del cátodo.

3.4.5 Distancia entre electrodos

La distancia entre electrodos está determinada por la elección del tamaño del baño y este depende de la cantidad de electrodos suspendidos, tanto ánodos como cátodos. Cuanto menos sea ésta distancia, tanto menor será la resistencia

de la solución, como menor será la tensión aplicada al baño que es igual a la intensidad de la corriente por la resistencia de la solución. Si disminuye la distancia indicada, aumenta la probabilidad que el ánodo cortocircuite con el cátodo y se reduzca por ésta razón eficiencia de corriente.

3.4.6 Agitación del electrolito

La agitación es deseable por que aumenta la densidad de corriente para producir depósitos sanos, previene la estratificación del electrolito y mantiene uniforme la temperatura del baño. Un medio de agitación lo constituye los ultrasonidos, aunque su papel no se ha determinado exactamente; investigadores como Wolfe admiten que el ultrasonido tiene un papel mezclador por micro agitación de las moléculas y partículas, manteniendo un efecto directo sobre la concentración en especial activas cerca del electrodo y en la absorción.

La densidad de corriente permanece constante en la cuba sólo cuando en el baño existe una agitación mínima.

Teóricamente una delimitación entre una capa de difusión estática y un electrolito agitado no puede ocurrir, Puesto que la viscosidad siempre causa un gradiente límite en la rata de flujo. Por lo tanto la transición entre el transporte de masa por

difusión en el interior de la capa de difusión y por convección en el electrolito no puede ser aguda; más aun debe existir una relación en ambos tipos de transporte en las áreas exteriores de la capa de difusión.

El burbujeo de aire es considerado, probablemente la más practica para la polarización del cátodo. La técnica de burbujeo mejora la recirculación del electrolito y reduce el valor del espesor de la capa de difusión.

3.4.7 Densidad de corriente

La densidad de corriente es función de la fuerza electromotriz aplicada, de la intensidad de corriente que circula por el baño y de la superficie del ánodo. Elevadas densidades de corrientes aumentan la velocidad de oxidación anódica, acortando el tiempo necesario para la anodización, pero también aumentan la temperatura de las capas protectoras, lo que implica riesgos para la calidad del recubrimiento.

Un excesivo incremento en la densidad de corriente, trae como resultado un mal deposito en el cátodo, áspero y poroso. El valor de la densidad de corriente en estas condiciones, ha sido tomado como densidad de corriente critica.

La densidad de corriente crítica que es de vital importancia en las operaciones de electro-deposición, es una función de la concentración del Ion en el electrolito, de la transferencia de masa, de la conductividad del electrolito. Algunos de estos factores contribuyen a que se obtenga depósito imperfecto, con un decrecimiento en el valor de la densidad de corriente.

Densidades de corrientes moderadamente altas, generalmente dan depósitos mas satisfactorios, pero se deben evitar los extremos ya que densidades de corrientes muy elevadas conducen a menudo a precipitados irregulares con poca resistencia física, que surgen como estructuras ramificadas de algunos puntos del electrodo, además corrientes muy altas también provocan polarización por concentración y la concomitante formación del gas. El aumento de la densidad de corriente, eleva su capacidad de producción y disminuye el capital invertido en las instalaciones, el espacio ocupado por unidad de producción y los intereses devengado por el capital circulante.

Si sigue aumentando la densidad de corriente aumenta la tensión de la celda y las perdidas por contacto, al paso que disminuye el rendimiento energético. En casi todas las operaciones electroquímicas, la densidad de corriente tiene un límite determinado por cuanto el factor decisivo es la naturaleza física del depósito obtenido.

3.4.8 Conductividad

A muchos baños se agregan sales, ácidos o sales, para que disminuya la resistencia del electrolito. Con ello disminuye la caída de tensión en la celda, para la misma densidad de corriente. Pero es imposible variar la conductividad de un electrolito, sin alterar algunas de sus otras propiedades como la concentración de metal.

Debido a la resistencia del electrolito, ciertas cantidades de energía eléctrica se convierten en calor. Desde el punto de vista práctico, la resistencia del electrolito es importante, porque representa una de las maneras como se consume la energía eléctrica.

En toda celda en que ocurre electrolisis, es evidente que existan resistencias óhmicas en varias partes del sistema, con las consiguientes pérdidas de energía. La conductividad de un electrolito depende del tipo de Ion y naturaleza del solvente, de la temperatura, la concentración y el PH.

3.4.9 Tiempo de duración del tratamiento.

El tiempo de exposición en el anodizado, si bien depende, como en otros procesos, del espesor deseado en este caso limitado por la presencia de reacciones que, no tan solo pueden anular los efectos de una prolongación del tratamiento sino, además, poner en riesgo la integridad y buenas calidades de la película hasta aquel momento obtenida.

El espesor del anodizado depende del tiempo de duración del tratamiento, utilizando las densidades de corrientes convencionales. En una primera aproximación se cumple la siguiente fórmula:

$$t = 3.2 \cdot \frac{e}{d}$$

Donde t es el tiempo en minutos; e, el espesor en μm y d, la densidad de corriente en A/dm^2

4. MATERIALES, PROCESO Y EQUIPO UTILIZADO

En el presente capítulo se describe en forma general como podemos preparar los electrodos el electrolito y demás reactivos utilizados en la experiencia.

Además una descripción del equipo utilizado su respectivo montaje.

4.1 MATERIALES UTILIZADOS

4.1.1 Electrodo y preparación de ellos.

Se utilizó como ánodo una lámina de aluminio en composición del 95% y un 0.5% de silicio y otras impurezas, en un área sumergida de $60 \times 40 \text{ mm}^2$.

Como cátodo se empleó una arandela de Plomo, de 7cm de diámetro exterior y 1.5cm de diámetro interior con composición de 99.99% de pureza.

Para la preparación del ánodo se tomó material base de una placa de Aluminio comercial de 0.5mm con colado especificado de acuerdo a composición química. Sobre el se trazo rectángulos de $9 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$. Por efecto del corte sobre aristas, los cuales no permiten un anodizado completo sobre todo en los bordes, además de que en estos desperfectos se acumulan grasas, haciéndose necesario quitar las

Rebabas y sobre-corte frotando las aristas de la probeta con lija No. 400 y posteriormente lija No. 600.

Posteriormente se hace con marca-metal una línea horizontal a la probeta a la altura de 6cm para garantizar que las probetas son sumergidas siempre durante todos los experimentos la misma cantidad de área.

Cortada la probeta ésta es sumergida a un proceso de desengrase. Este se realiza lavándola con un detergente líquido con PH neutro para eliminar grasas en la superficie a Anodizar.

Seguidamente el ánodo es enjuagado con abundante agua y sometido a un decapado, el cual consiste en sumergir la probeta de Aluminio en una solución compuesta por: 560 gr. De ácido crómico, 76 gr. de Ácido Sulfúrico, 2000 CC de agua a temperatura de 60 a 70 °C.

El propósito de este decapado es eliminar todo vestigio de películas de oxido complejos o productos residuales, que pueden interferir en el proceso de anodizado.

A continuación se realiza el proceso de satinado sobre el ánodo. El propósito de este lograr una superficie suave al tacto y que presente la menor rugosidad posible. Se realiza sumergiendo la probeta en una solución de soda cáustica

trabajando a densidades de corriente baja (de 0.5 a 1 Amp. por dcm^2) y temperatura de 60°C . Previo enjuague con abundante agua se hace un neutralizado con una solución de ácido nítrico por espacio de 3 a 5 segundos.

Debido a que los métodos de pulimentos mecánicos y químicos solo pueden dar un factor de reflexión no superior al 65 %. Es aconsejable un pulimento electrolítico el cual presenta la máxima reflexión (de 85 a un 90 %), siendo esto aconsejable para determinadas aplicaciones.

Este procedimiento se aplica una vez la probeta esté desengrasada y decapada.

La composición para el baño de pulimento electrolítico es la siguiente: 60 % volumen de ácido sulfúrico (H_2SO_4), 25% en volumen de ácido fosfórico (H_3PO_4), 15 % en volumen de agua a una temperatura de 40°C y una densidad de corriente de 8 a 25 Amp x dcm^2 . Si la aplicación no requiere un alto grado de reflexión entonces se puede hacer un baño de pulimento químico el cual está compuesto por lo siguiente: 250 CC de H_2SO_4 , sumergida en la solución compuesta de 60 % de HNO_3 y 40 % de H_2O .

Se utilizó como cátodo una arandela de plomo de 7cm de diámetro exterior y 1.5cm de diámetro interior lo cual se sometió a un a un lavado con detergente

líquido con PH cero y un enjuague con abundante agua, con el objeto de retirar películas de grasa e impurezas.

La celda electrolítica empleada consta de un vaso de precipitado y en él un volumen de 2000cc de electrolito.

Luego de tener la solución electrolítica en la celda se procede al montaje de los electrodos en el porta electrodos, manteniendo el ánodo de aluminio y el cátodo de plomo paralelamente a una distancia de 3 cm. entre ambas placas.

Ya separadas de esta forma se sumergen en la solución electrolítica verificando que el nivel electrolítico quede a la altura de la marca de los 6cm. en la probeta de aluminio.

El cátodo de plomo se conecta al polo negativo de la fuente y el ánodo de aluminio se conecta al lado positivo de la fuente. Se puede intercalar un amperímetro DC en ésta línea si se desea comprobar y comparar la corriente leída por el amperímetro de la fuente, la cual está fluyendo por el circuito. También se conecta en paralelo con la celda para observar el comportamiento del voltaje durante el proceso.

A lo largo del proceso se sumerge dentro del electrolito el termómetro para observar el comportamiento de la temperatura.

Después del tiempo predeterminado por el análisis experimental para el anodizado se interrumpe el circuito, se sustrae el ánodo rápidamente y se enjuaga en abundante agua.

Si se hace coloreada la probeta, se sumerge en un baño de teñido, el cual su composición depende del color a dar al anodizado. Posteriormente se enjuaga Y se somete a un fijado y un secado.

Si la probeta se desea Anodizar al natural, entonces, después del enjuague previo al anodizado se somete al proceso de fijado que consiste introducir la probeta en agua calentada a 70°C por un tiempo de 5 minutos, tiempo en el cual los poros del anodizado se cierran. Finalmente se somete la probeta adecuada para lo cual se usa un secador eléctrico a 60°C

4.1.2. Cuba electrolítica

Baño electrolítico. Se procedió a preparar el baño según la composición de H_2SO_4 dada en el diseño de experimentos agregando cada vez el ácido sulfúrico sobre el agua, muy lentamente y llevando la temperatura según las exigencias de trabajo.

Se agregaron a continuación los demás elementos constituyentes del baño como son: Agente humectante (Trietanolamina al 1 %), sal orgánica estabilizadora e inhibidora en fase ácida (matasilicato de sodio a 3%) y oxalato potasico de titanio 0.6 %.

4.1.3 Equipo utilizado

Se utiliza una fuente de potencia DC regulada en corriente y voltaje, los rangos de voltaje son de 0 - 30 voltios y corriente de 0 - 5 Amp. La cual permite graduar tanto el voltaje por medio de un ajuste ordinario y otro ajuste fino de manera lineal, de igual modo se realiza el ajuste fino de corriente. Lo descrito anteriormente se encuentra en el anexo. chcfhcf

La lectura de la corriente y voltaje dados por la fuente pueden ser leídos a través del voltímetro y amperímetro ubicados en la parte frontal de la fuente.

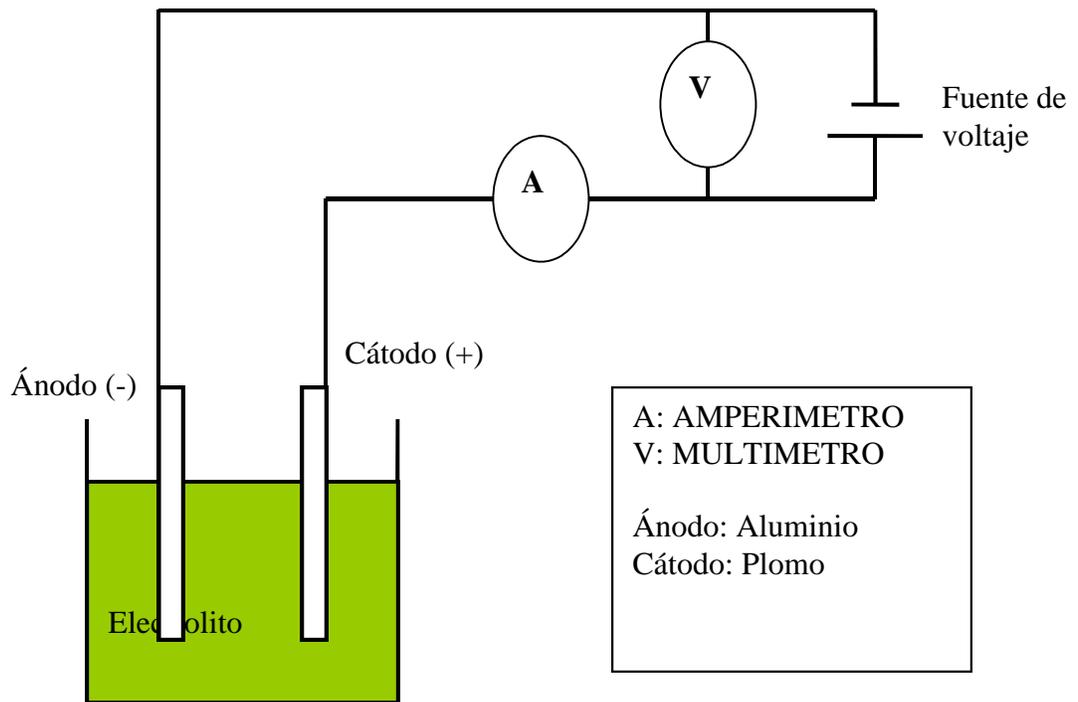
Otros equipos utilizados:

- Probetas.
- Vasos de precipitados con capacidad de 250 cc.
- Probeta aforada (300 cc)
- Vidrios reloj

- Conectores
- Variac
- Termómetro
- Cortadores de lámina
- Porta-electrodos
- Secador
- Reloj
- Mechero Bunsen
- Bornera
- Pinzas plásticas

La distribución y montaje del equipo anteriormente descrito puede verse en la figura 5 y en las fotografías 2 del anexo B.

Figura 5. Montaje del equipo, para el proceso de anodizado.



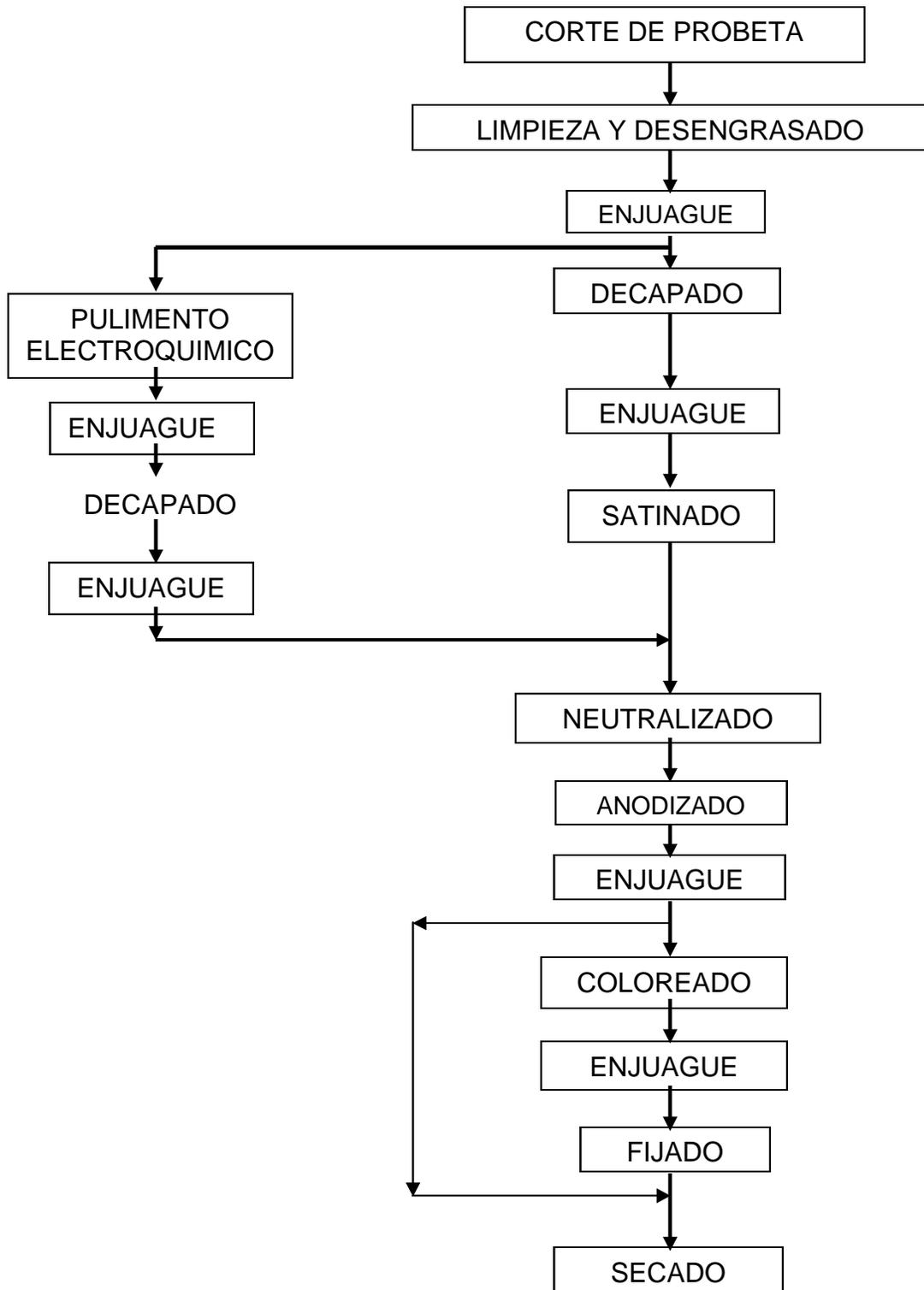
4.1.4 Comprobación del fijado

Se realiza de la siguiente forma:

- a. Después del baño de coloración, la probeta es sometida a un enérgico enjuague y seguidamente es introducida en agua, la cual debe estar a una temperatura entre los 70 y 100°C. Si no se presenta decoloración es indicio de que hubo un buen fijado.

- b. Paralelo a la tensión, y después de un buen enjuague, a la película se agrega una pasta abrillantadora. Si al momento de frotarla con un paño, y no hay decoloración, es por que existió un buen fijado.DE

Figura6. Diagrama de flujo estándar del proceso de anodizado.



5. EL ANODIZADO FRENTE A OTROS RECUBRIMIENTOS

El propósito de este capítulo es el comparar el anodizado con otros tipos de recubrimientos orgánicos, resaltar sus características y establecer desde varios puntos de vista la ventaja que existe en utilizar este procedimiento electroquímico.

5.1 VENTAJAS DEL ANODIZADO

El anodizado posee muchas ventajas frente a los otros recubrimientos, entre las cuales se pueden destacar las siguientes;

1. La capa de anodizado es más dura que la capa obtenida pintando con resina PVDF (polivinil difluoruro). Esta propiedad la hace más útil en zonas donde hay un gran tráfico por lo que es sometida a un abuso físico y en donde se utilicen limpiadores abrasivos.
2. El anodizado no puede ser pelado ni escamado por cuanto la capa forma parte del metal base.

3. El anodizado le da al aluminio una apariencia de superficie metálica muy superior a la que se puede lograr con pinturas orgánicas.

Esto es así porque la capa de anodizado es traslúcida y permite ver al metal base por debajo de la misma. Esta transparencia es la que contribuye al problema de la variación del color, aunque en estos últimos años se nota una mejora muy importante, al incorporar equipos computarizados con los cuales se pueden programar los colores.

4. El anodizado no es afectado por la luz solar. Sin embargo, todos los recubrimientos orgánicos pueden eventualmente fallar debido a la exposición a los rayos ultravioletas.

5. En general el anodizado puede despacharse a plaza en un tiempo más breve.

5.2 CARACTERISTICAS DEL METAL DESPUES DEL PROCESO EN LA INDUSTRIA DE AL CONSTRUCCION.

Dado que en la industria de la construcción no había un conocimiento adecuado de la diferencia que hay entre un buen y mal anodizado, se comparaban pobres anodizados con excelente pinturas.

Si por ejemplo, tomamos el caso de un anodizado con un mal sellado, el mismo tendrá muy mala resistencia química.

Además si no se mide, no puede distinguirse la diferencia de espesor del anodizado dado que la apariencia de un anodizado nuevo de poco espesor es prácticamente igual que uno de gran espesor, con el agravante de que los anodizados de poco espesor no son adecuados para ser aplicados al exterior en frentes vidriados o en techos metálicos.

La ventaja de un anodizado de buen espesor es su durabilidad y gran vida útil. Su mejor propiedad es precisamente la resistencia química.

Después de mucho tiempo, la superficie de un anodizado también puede llegar a ser atacada por los contaminantes ácidos del medio ambiente. Las superficies anodizadas lo mismo que otros componentes deberán ser protegidos de los ataques de los ácidos y álcalis usados durante la construcción.

Después de muchos años las superficies anodizadas pueden acumular suciedad y manchas que lucen en forma similar a la pintura que se ha atizado.

La suciedad y las manchas pueden ser removidas con detergente combinado con un abrasivo.

Si bien es factible que un pequeño espesor de capa se pierda, quedará una superficie renovada con una apariencia similar a la original, la cual estará en condiciones de durar otros muchos años sin otro mantenimiento. Este es el argumento utilizado por los anodizadores para sostener que su producto es renovable, mientras que cuando un recubrimiento orgánico llega a su vida útil, la única opción es la de repintar o reemplazar el metal base.

Cuando un recubrimiento anodizado parece que ha fallado, lo más frecuente es que una limpieza adecuada lo vuelva a su apariencia original.

5.3 IMPLICACIONES AMBIENTALES

El anodizado es compatible con las exigencias actuales de protección del medio ambiente. Aunque se reconoce que hace falta un mayor estudio para conocer el verdadero valor del impacto que los distintos posibles recubrimientos ejercen sobre el medio ambiente, podemos afirmar que entre todos ellos el anodizado es el que menos daño le causa.

Los productos químicos residuales del anodizado pueden ser utilizados para el tratamiento de las aguas servidas.

El sulfato de aluminio, presente en los efluentes de la planta de anodizado, mejora la eficiencia de la precipitación de sólidos en algunas plantas de tratamiento de aguas servidas. El anodizado no emite componentes orgánicos volátiles VOC's (los que producen ozono como contaminante ambiental) y no hay metales pesados involucrados en el proceso.

6. EXPERIENCIAS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Para esta práctica se realizaron cuatro experiencias en las que se aplicaron los distintos procesos y criterios para lograr obtener un anodizado con calidad.

6.1 EXPERIENCIA PRELIMINAR

Esta primera experiencia se realizó para la materia de corrosión en la universidad, se usó como ánodo un piñón de aluminio de 14 dientes, y como cátodo la arandela de plomo descrita anteriormente. Se usó tinte iris para realizar el coloreado de la pieza ya anodizada,

6.2 SEGUNDA EXPERIENCIA

Para las otras tres experiencias se cortaron unas 10 láminas de 4 * 6cm de aluminio para realizarles posteriores tratamientos superficiales, anodizado, y operaciones de sellado a la pieza.

En esta segunda experiencia el procedimiento a seguir es el siguiente

1. Se realizó el corte de las probetas en los tamaños ya mencionados.
2. Se lijaron todas las probetas con lija 400 y posteriormente con lija 600.
3. Desengrasado
4. Enjuaguazo de cada pieza.
5. Secado
6. Se realizó el satinado.
7. Enjuagado
8. Anodizado
9. Enjuagado rápido
10. Se realizó el neutralizado (solución al 5% de ácido nítrico, 95% de agua), en un lapso de 10 min.
11. Enjuagado.
12. Coloreado.
13. Enjuagado.
14. Fijado.
15. Secado.

Tabla 4. Características del baño 2.

Área (mm ²)	Concentración (H ₂ SO ₄) (%)	Corriente Aplicada (A)	Temperatura (°C)	Tiempo de exposición (minutos)	Voltaje	Numero de Ánodos
96	17	1	30	30	15	2

Las láminas resultantes de esta experiencia se pueden observar en la fotografía 2 de los anexos B.

6.2.1 Resultados

El resultado de esta experiencia no fue satisfactorio de hecho la piezas si se anodizaron, pero no absorbieron correctamente la tinta.

Después de esto se procedió a hacer un análisis retrospectivo con el fin de dar con el proceso que se ejecuto mal, es decir en el argot del mantenimiento esto se lama un análisis de causa raíz.

6.3 TERCERA EXPERIENCIA.

Ya hecho el análisis exhaustivo llegamos a tres posibles causas del fallo del proceso.

- a. Realización del proceso de neutralizado después del anodizado.
- b. La concentración de ácido nítrico de la solución neutralizadora.
- c. El tiempo de exposición de la pieza a la solución neutralizadora.

Esto nos indica que las posibles causas del fallo de la experiencia, nos encaminó a centrarnos en las características de la neutralización.

Se decidió a realizar el neutralizado antes del anodizado, aumentar la concentración de la solución y disminuir el tiempo de exposición de la placa en la solución neutralizadora.

Llevados a cabo cambios para mejoramiento del proceso y la calidad del coloreado se procedió a realizar la segunda experiencia.

6.3.1 Resultados de la tercera experiencia.

En esta experiencia no se alcanzaron los objetivos propuestos, sin embargo se notó un aumento en la absorción de la tinta en las placas del metal.

El coloreado de la pieza no fue tan uniforme, ya que con el fundamento teórico aplicado esperábamos tener una superficie coloreada uniformemente en el área destinada para el proceso de la oxidación anódica.

Tabla 5. Características del baño 3.

Área (dm ²)	Concentración (H ₂ SO ₄) (%)	Corriente Aplicada (A)	Temperatura (°C)	Tiempo de exposición (minutos)	Voltaje	Numero de Ánodos
96	17	1.2	30	30	15	2

Las láminas resultantes de esta experiencia se pueden observar en la fotografía 2 de los anexos B.

6.3.2 Análisis del los resultados

Para esta tercera experiencia fue necesario realizar otro análisis de causa raíz.

En esta oportunidad se decidió que la secuencia de pasos del proceso estaba correcta. En lo que había que centrar los cambios era en la cantidad de corriente aplicada, la colocación de un solo ánodo de aluminio y no dos como se venía realizando, la posición del ánodo de aluminio en la solución electrolítica, la utilización de un tinte de mejor calidad y la realización del proceso de coloreado y fijado fuera del laboratorio de metalografía, ya que estos procesos se deben

realizar con aumentos de temperaturas y en este recinto existe un sistema de aire acondicionado que podría estar entorpeciendo estos procesos.

6.4 CUARTA EXPERIENCIA

Ya con el conocimiento previo que habíamos logrado adquirir con las experiencias anteriores, para esta nueva anodización nos habíamos planteado realizar de nuevo todos los procesos con los cambios que se le debían hacer a cada uno, luego de hacer el análisis a los resultados de las otras dos experiencias.

Tabla 6. Características del baño 4.

Área (dm ²)	Concentración (H ₂ SO ₄) (%)	Corriente Aplicada (A)	Temperatura (°C)	Tiempo de exposición (minutos)	Voltaje	Numero de Ánodos
48	15	4.5	30	20	15	1

6.4.1 Cambios efectuados.

Por cuestiones de disponibilidad de tiempo, se ajustó el proceso para un tiempo menor de exposición de las piezas de 20 minutos, asumiendo que el hecho de disminuir el tiempo de exposición implica un aumento de la intensidad de corriente y a su vez un mayor control del aumento de la temperatura.

6.4.2 Resultados de la cuarta experiencia.

Finalmente con esta última experiencia se llegó a lograr el objetivo propuesto, el cual era lograr un coloreado de la lámina de aluminio por medio del proceso de la anodización en general; aunque en la lámina se llegaron a presentar pequeños puntos oscuros, esto se debe a la presencia de silicio como impurezas del aluminio.

CONCLUSIONES

- a. El diseño experimental en el análisis y planificación de los experimentos produce un notable ahorro de tiempo en las investigaciones, contribuyendo a su vez a la disminución de los costos por este método, alcanza cada vez una mayor aplicación.
- b. La técnica del diseño experimental, se ajusta para este tipo de estudios experimentales, toda vez que da una reproductividad aceptable entre los resultados obtenidos en el laboratorio.
- c. La presencia de silicio en el aluminio como impureza influye negativamente de la película al quedar inclusiones o puntos oscuros sobre la película de anodizado.
- d. La técnica del diseño experimental se apunta al estudio del proceso de anodización del aluminio, toda vez que se suministre a una productividad aceptable entre los resultados obtenidos en el laboratorio, y en la aplicabilidad de

los conceptos que se encuentran en los distintos libros referentes a este proceso con el fin de llegar a una excelente calidad de la oxidación anódica.

RECOMENDACIONES

- a. Cuando se caliente la solución de soda cáustica para el anodizado debe hacerse hasta 60°C y de manera que el recipiente evacue los vapores los cuales si se almacenan pueden producir explosión.

- b. Cuando se realicen experimentos por personal con poco conocimientos en química se recomienda agregar el ácido sulfúrico sobre el agua y no viceversa, por que puede producir explosión, además agregue el ácido sulfúrico lentamente.

- c. Tener mucho cuidado cuando se tiene la solución electrolítica preparada ya que los vapores producto de la combinación del ácido con el agua, estos penetran fácilmente en el olfato de cualquier persona. Se debe mantener la solución en un espacio aireado y esperar que se estabilice.

- d. Hacer un estudio adicional para determinar el porcentaje de peso de cada uno de los colorantes. Para poder establecer gamas de colores y sus respectivas codificaciones.

e. Se recomienda hacer un estudio para un número mayor de variables simulando un programa de computador para acelerar el proceso y cuantificar las iteraciones de las variables por los métodos de diseño experimental.

f. Como un paso siguiente en el estudio se debe verificar los resultados y hacer los ajustes necesarios para la operación continua, además un estudio de costos con el fin de comprobar la factibilidad económica del proceso de anodizado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

KING, Frank. El aluminio y sus aleaciones. México. Editorial Limusa S.A., 1992.

MOLERA SOLÀ, Pere. Recubrimiento de los metales. Barcelona, España. Editorial Marcombo S.A., 1989. pg 25 -32

ORTEGA MAIQUEZ, José. Corrosión industria. Barcelona, España. Editorial Marcombo S.A., 1990. pg 69 – 75

GRAHAM, A. Manual de ingeniería de los recubrimientos electrolíticos. 4ª ed. México. Editorial Continental S.A. 1978. pg 160 – 200

BETANCOURT, H. y CORVO, F.C. Estudio sobre sustancias químicas en electrolisis. 3ª ed. España. Editorial Marcombo S.A. 1986. pg 60 – 90

Paginas Internet

<http://www.kr2-egb.com.ar/index.htm&guid>

<http://www.construir.com/Econsult/Construr/document/indice.htm>

ANEXOS

ANEXO 1. FOTOGRAFIAS DEL PROCESO ANODIZADO.

FIGURA 1. Satinado

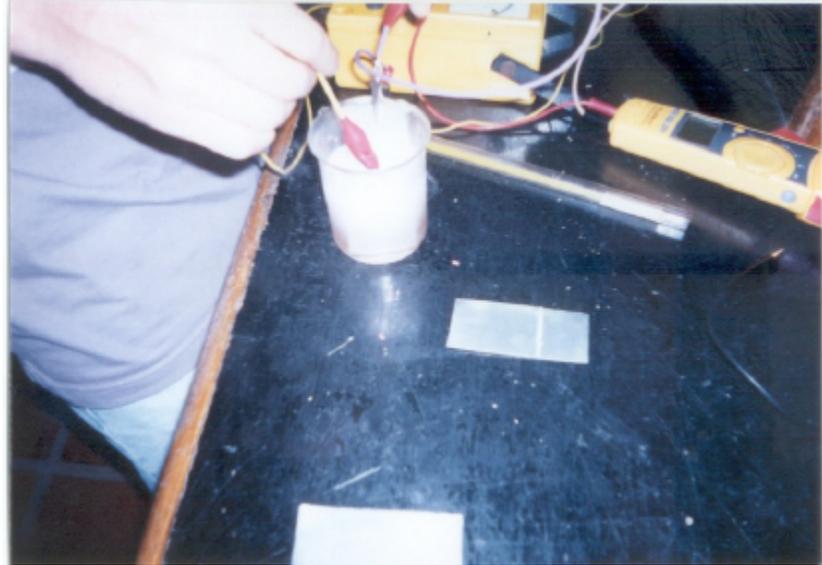


FIGURA 2. Neutralizado.

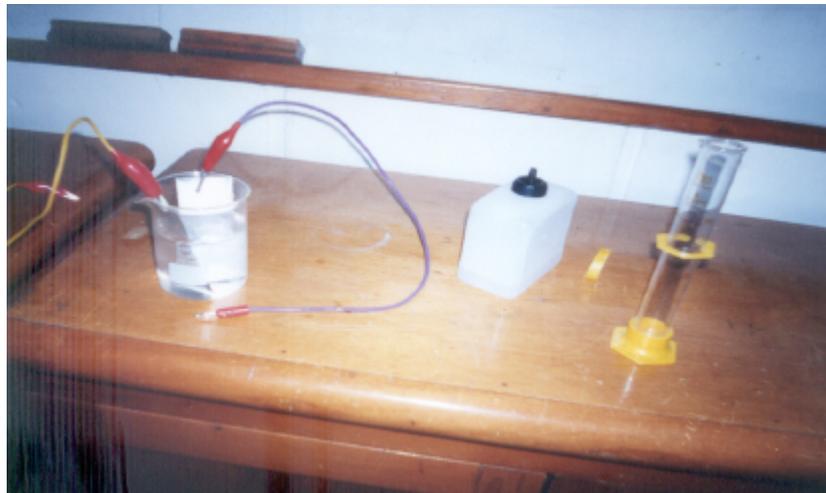


FIGURA 3. Anodizado.

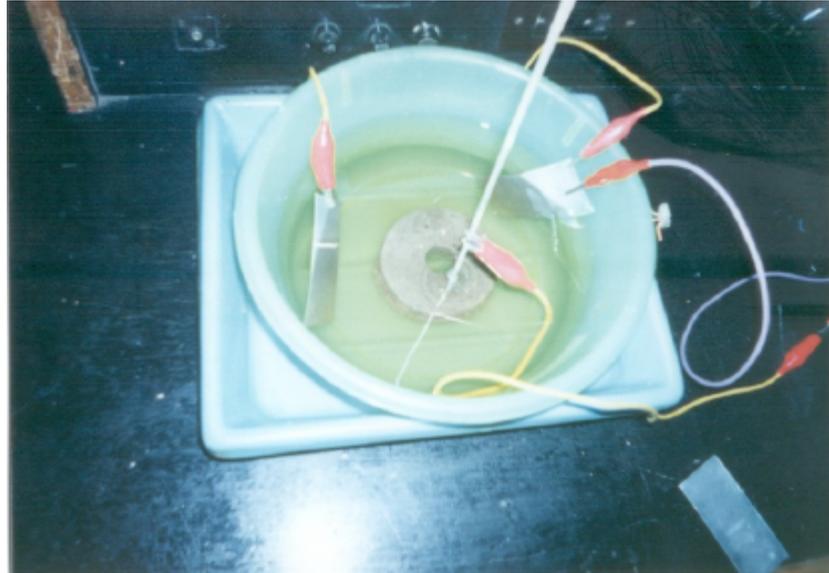


FIGURA 4. Coloreado y fijado.



ANEXO 2. FOTOGRAFIAS DEL CIRCUITO ELECTRICO Y ACABADO DE LAS PIEZAS.

FIGURA 1. Montaje circuito eléctrico.

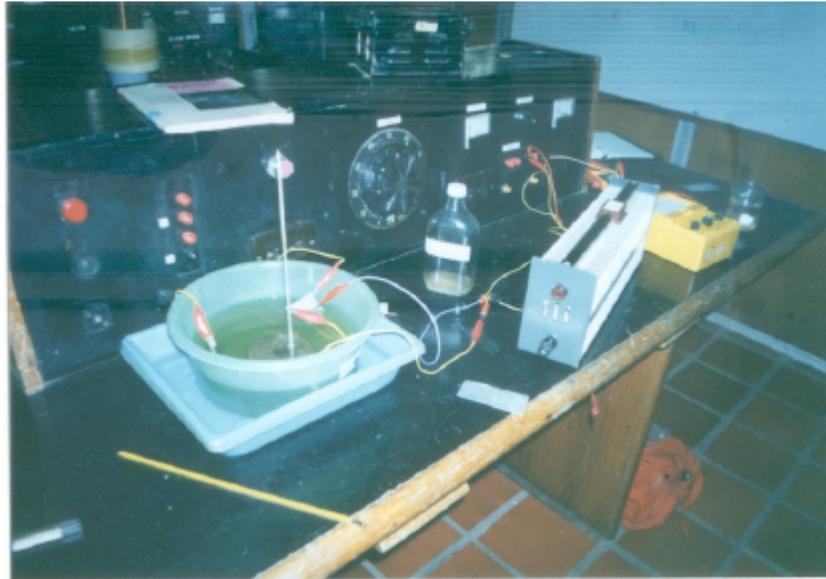


FIGURA 2. Probetas resultados experiencias 1 y 2.

