

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE OCCIDENTE**

Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)

Programa de Apoyo al Desarrollo Tecnológico de la Industria



ITESO

Universidad Jesuita
de Guadalajara

**4E06 Programa de Apoyo al Desarrollo Tecnológico de la
Industria**

**“Desarrollo de Competencias en Tecnología Electroquímica y
sus Aplicaciones: Coloración del Anodizado de Aluminio”**

ITESO, San Pedro Tlaquepaque, Jalisco”

PRESENTA

Ingeniería Química. Lorena M. Saavedra Navarrete

Profesor PAP: Dr. Fernando Hernández Ramírez

San Pedro Tlaquepaque, Jalisco, diciembre 2016

Reporte PAP

Índice

REPORTE PAP	2
ÍNDICE.....	2
ÍNDICE DE TABLAS	3
ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
PRESENTACIÓN INSTITUCIONAL DE LOS PROYECTOS DE APLICACIÓN PROFESIONAL.....	6
RESUMEN.....	6
1.- INTRODUCCIÓN	6
1.1.- OBJETIVOS	6
1.2.- JUSTIFICACIÓN	6
1.3.- ANTECEDENTES DEL PROYECTO	7
1.4.- CONTEXTO	7
1.5.- ENUNCIADO BREVE DEL CONTENIDO DEL REPORTE.....	7
1.6.- CRONOGRAMA O PLAN DE TRABAJO.....	7
2.- DESARROLLO	8
2.1.- SUSTENTO TEÓRICO Y METODOLÓGICO.....	8
2.1.1.- <i>Introducción a la electroquímica</i>	9
2.1.2.- <i>Tratamiento superficial químico</i>	10
2.1.3.- <i>Coloración por inmersión</i>	13
2.1.4.- <i>Tapado de poros</i>	14
2.2.- PLANEACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO.....	15
2.2.1.- <i>Metodología</i>	15
3.- RESULTADOS	18
4.- REFLEXIONES DEL ALUMNO SOBRE SU APRENDIZAJE, LAS IMPLICACIONES ÉTICAS Y LOS APORTES SOCIALES DEL PROYECTO.	34
APRENDIZAJES PROFESIONALES	34
APRENDIZAJES SOCIALES	34
APRENDIZAJES ÉTICOS	34
APRENDIZAJE PERSONAL	34
CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	35
BIBLIOGRAFÍA.....	36

Índice de Tablas

Tabla 1	Propiedades físicas y químicas del aluminio [6]	8
Tabla 2	Composiciones de soluciones para llevar a cabo el mordentado [2].....	11
Tabla 3	Composiciones y condiciones a las cuales se lleva el decapado. [2]	11
Tabla 4	Procedimiento y condiciones para conseguir una superficie brillante. [2].....	12
Tabla 5	Procedimiento y condiciones para llevar a cabo un abrillantamiento electrolítico. [2]	12
Tabla 6	Datos de las diferentes variables que se manejaron durante las pruebas.	18
Tabla 7	Tintas utilizadas durante el proceso de teñido.....	19
Tabla 8	Evaluación de los resultados obtenidos para cada corrida realizada.	33

Índice de Figuras

Figura 1 Diagrama de Gantt para el proyecto.....	8
Figura 2 Ciclo de trabajo típico para el anodizado de piezas.	10
Figura 3 Diagrama de Pourbaix del Aluminio. Elaboración propia a partir de la referencia [13].	14
Figura 4 Tamaño de las piezas (cátodos y ánodos).	15
Figura 5 Sistema de distribución de los cátodos y del ánodo.....	16
Figura 6 Densidad de corriente vs. tiempo @(9volts, 25°C) en ácido sulfúrico al 17%.	17
Figura 7 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 1 g/L a un pH constante de 4.8.	19
Figura 8 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 3 g/L a un pH constante de 4.8.	20
Figura 9 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 5 g/L a un pH constante de 4.8.	20
Figura 10 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 7 g/L a un pH constante de 4.8.	21
Figura 11 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 10 g/L a un pH constante de 4.8.	21
Figura 12 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 1 g/L a un pH constante de 7.	22
Figura 13 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 3 g/L a un pH constante de 7.	23
Figura 14 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 5 g/L a un pH constante de 7.	23
Figura 15 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 5 g/L a un pH constante de 8.	24
Figura 16 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 10 g/L a un pH constante de 8.	24
Figura 17 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 5 g/L a un pH constante de 4.8.	25
Figura 18 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 10 g/L a un pH constante de 4.8.	25
Figura 19 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 7 g/L a un pH constante de 4.8.	25
Figura 20 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 5 g/L a un pH constante de 7.	26
Figura 21 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 10 g/L a un pH constante de 7.	26
Figura 22 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 42 g/L.	27
Figura 23 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 117 g/L.	27
Figura 24 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 5 g/L a un pH constante de 4.8.	27
Figura 25 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 5 g/L a un pH constante de 7.	28
Figura 26 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 20 gotas en 140 ml a un pH constante de 4.8.	28

Coloración del Anodizado de Aluminio

Figura 27 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 40 gotas en 140 ml a un pH constante de 8.	28
Figura 28 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 10 g/L a un pH constante de 4.8.	29
Figura 29 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 10 g/L a un pH constante de 8.	29
Figura 30 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 1 g/L a un pH constante de 4.8.	30
Figura 31 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 1 g/L a un pH constante de 7.	30
Figura 32 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 1 g/L a un pH constante de 8.	30
Figura 33 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 5 g/L a un pH constante de 4.8.	31
Figura 34 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 10 g/L a un pH constante de 4.8.	31
Figura 35 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 10 g/L a un pH constante de 4.8.	32
Figura 36 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 5 g/L a un pH constante de 4.8.	32

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

Los Proyectos de Aplicación Profesional son una modalidad educativa del ITESO en la que los estudiantes aplican sus saberes y competencias socio- profesionales a través del desarrollo de un proyecto en un escenario real para plantear soluciones o resolver problemas del entorno. Se orientan a formar para la vida, a los estudiantes, en el ejercicio de una profesión socialmente pertinente.

A través del PAP los alumnos acreditan el servicio social, y la opción terminal, en tanto sus actividades contribuyan de manera significativa al escenario en el que se desarrolla el proyecto, y sus aprendizajes, reflexiones y aportes sean documentados en un reporte como el presente.

Resumen

En este proyecto PAP se estudió el proceso de teñido en una placa de aluminio, para ello las placas de aluminio fueron anodizadas previamente a un voltaje de 9 voltios con ácido sulfúrico; el sistema utilizado contaba con dos cátodos y un ánodo. La mayoría de los tintes utilizados en este proyecto son solubles en agua debido a la practicidad que éstos presentan. Para el proceso de teñido se controló la temperatura, el pH de la solución y la concentración de la misma. Todas las piezas fueron selladas con ácido bórico, ácido acético y sulfato de níquel en lugar de utilizar agua, con el fin de evitar la pérdida de tinte durante el proceso de sellado de poros.

1.- Introducción

1.1.- Objetivos

Este proyecto tiene como objetivo principal estudiar diferentes condiciones a las cuales se puede llevar a cabo la coloración de piezas de aluminio. Se busca obtener una amplia gama de colores que perduren en el aluminio aplicando los conocimientos obtenidos en el área de tecnología electroquímica; para ello se necesita conocer el proceso de anodizado, de coloración y de sellado. A partir de la información recabada, se escogerá una serie de condiciones de trabajo con el fin de mejorar la técnica de coloración en las piezas de aluminio.

1.2.- Justificación

La realización de este trabajo permite la obtención de conocimiento de varios procesos en serie para llegar a un fin. Tanto la anodización como la coloración de aluminio, son procesos comunes dentro de la industria; aprender sobre éste tema, facilita la resolución de problemas en un área que normalmente no se estudia en la carrera y que, sin embargo, tiene una gran aplicación.

Los beneficiados del proyecto, son principalmente las industrias locales que emplean este proceso, ya que con la información recabada puede brindarse tanto asesoría como la optimización de alguno de sus procesos. Los alumnos del ITESO, también pueden ser beneficiados; ya que la información que se presenta en este trabajo puede ayudarles en la

realización de un trabajo dentro del área de electroquímica, por ejemplo, prácticas de laboratorio en las materias de Fisicoquímica, Fisicoquímica de Soluciones y Superficies o Ciencia de Materiales. Otro grupo que puede verse beneficiado con este trabajo es el de los artesanos que trabajan con joyería de aluminio.

1.3.- Antecedentes del Proyecto

Los antecedentes del proyecto vinculado directamente con el ITESO se remontan al estudio realizado por Jorge Guillermo Ibáñez Cornejo en 1977, enfocándose en la optimización de un proceso de anodizado de aluminio. Éste se enfocó a estudiar y optimizar los procesos de anodizado, específicos de la empresa Nuevos Anodizados IMOL, S.A. En el año 2015, el Dr. Fernando Hernández (ITESO) y el Maestro en Ciencias Óscar Robles Vásquez (Universidad de Guadalajara) estudiaron el proceso de anodizado de aluminio y titanio en la empresa TDI Tecnología y Diseño Industrial, fabricante de productos ortopédicos de titanio y de soportes de equipo médico hechos en aluminio. En 2016, Juan Humberto Morales Ángeles retomó el estudio del anodizado de aluminio con el fin de simular la distribución de corriente y potencial en una celda de anodizado de aluminio. Así mismo se buscaron las condiciones a las cuales se mejora el proceso de anodizado a nivel laboratorio, pero apenas se experimentó con el proceso de coloración y sellado. Es por ello que buscamos darle continuidad en este proyecto.

1.4.- Contexto

El anodizado de aluminio, es un proceso metalúrgico muy utilizado en la industria. Éste es utilizado por su bajo costo y facilidad de trabajo; además mejora tanto las propiedades físicas como químicas del aluminio. En la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) hay varias empresas que se dedican a realizar este proceso; las cuales pueden beneficiarse con los estudios realizados de este proyecto.

La producción de aluminio primario anual es de 53.4 millones de toneladas, ya que este se utiliza en la industria del transporte, construcción, ingeniería y empaçado. [4] La alta demanda por este material ha hecho que China doble la producción, de seis millones de toneladas en 2006 a más de 13 millones en 2009. [5] Una búsqueda en la red nos muestra que algunas empresas que producen aluminio en la ZMG son: AMUSA, MARCHINA, Aluminio y PVC Vega, etc.

1.5.- Enunciado breve del contenido del reporte

El documento presente contiene tanto las actividades realizadas como los resultados obtenidos referentes al estudio del proceso de anodizado y la coloración de las placas de aluminio. Este documento se enfoca al análisis del comportamiento de la coloración del aluminio utilizando diversos tipos de colorantes y selladores. Pretende ser una primera aproximación para comparar diferentes tipos de colorantes fácilmente accesibles que puedan ser utilizados en el anodizado de aluminio a nivel laboratorio y artesanal.

1.6.- Cronograma o plan de trabajo

Todas las actividades fueron realizadas en el Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales (PTI) o edificio I ubicado en el ITESO. Las actividades realizadas se distribuyeron a lo largo del semestre, el cual tiene 16 semanas; el tiempo en el que se realizaron las actividades, se muestran en el **Diagrama 1**. Cabe mencionar que cada semana

Coloración del Anodizado de Aluminio

se tenían aproximadamente dos reuniones con el asesor PAP con el fin de revisar los avances obtenidos y tomar las decisiones pertinentes para continuar con la realización del proyecto.

Figura 1 Diagrama de Gantt para el proyecto

Evento	Semana															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Revisión bibliográfica	■	■														
Propuesta de trabajo	■	■														
Compra del material			■	■												
Elección de reactivos		■	■	■												
Preparación de las soluciones				■	■											
Elección de tratamiento mecánico			■													
Preparación de las piezas de aluminio				■												
Pruebas a voltaje constante				■	■											
Experimentos de anodizado y teñido						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Redacción reporte			■	■	■	■				■	■			■	■	■
Presentación final																■

2.- Desarrollo

2.1.- Sustento teórico y metodológico.

El aluminio es un metal que posee interesantes propiedades físicas, mecánicas y químicas. Éste se usa en forma pura, aleado con otros metales o en compuestos no metálicos; por sus propiedades eléctricas es un buen conductor. Dado que el alambre de aluminio tiene poca menos conductividad que el cobre, pero menor densidad, resulta un componente útil para aplicaciones donde el exceso de peso es importante.

Tabla 1 Propiedades físicas y químicas del aluminio [6]

Número atómico	13.00
Valencia	3
Estado de oxidación	3
Electronegatividad	1.50
Radio covalente (Å)	1.18
Radio iónico (Å)	0.50
Radio atómico (Å)	1.43
Configuración electrónica	[Ne]3s ² 3p ¹

Coloración del Anodizado de Aluminio

Primer potencial de ionización (eV)	6.00
Masa atómica (g/mol)	26.98
Densidad (g/ml)	2.70
Punto de ebullición (°C)	2450.00
Punto de fusión (°C)	660.00

2.1.1.- Introducción a la electroquímica

La electroquímica es el estudio de los procesos de reacción que ocurren en la interfase electrodo-electrolito, ya sean procesos generados espontáneamente (galvánicos) o por medio de una perturbación externa (electrolíticos). [3] Una celda electroquímica, es un dispositivo que se utiliza para la descomposición de sustancias ionizadas (electrolitos); ésta necesita de corriente eléctrica para poder llevar a cabo la descomposición.

Una celda galvánica es conocida como aquella en que las reacciones ocurren de manera espontánea en los electrodos. Éstos son conectados de manera externa por un conductor. Existen dos tipos de celdas galvánicas: las primarias y las secundarias. Las primarias son aquellas que no son recargables, en cambio las secundarias sí lo son.

Una celda electrolítica, es aquella en que las reacciones son inducidas por un voltaje externo aplicado, el cual tiene que ser mayor que el potencial reversible de la celda. [1] Ésta celda se utiliza principalmente para llevar a cabo reacciones químicas.

El fundamento natural de las reacciones y el comportamiento de un solo electrodo son independientes del tipo del electrodo, ya sea galvánico o electrolítico. Lo que tienen en común ambos fenómenos es la transferencia de electrones a través de una interfase electrodo-electrolito, y es por eso que la misma teoría es aplicable para describir ambos tipos de fenómenos. [1]

Dentro de un sistema electroquímico, existen varias variables que son utilizadas para obtener información sobre el sistema. Estas variables se clasifican de la siguiente manera:

- Variables de los electrodos: material, área, geometría, rugosidad, y la condición de éstos (por ejemplo, corrosión).
- Variables de la transferencia de masa: difusión, convección, migración y adsorción suelen ser los fenómenos dominantes.
- Variables de la solución: concentración, tipo de solvente.
- Variables eléctricas: potencial (E), corriente (i), cantidad de electricidad (Q).
- Variables externas: temperatura, presión y tiempo.

El aluminio es un material que posee un bajo peso específico. Cuando éste se anodiza, ocurre una oxidación electrolítica. Ésta consiste en la formación de una capa de óxido de aluminio (alúmina, Al_2O_3) sobre la superficie del material. Como reacciones secundarias ocurre la descomposición del agua en hidrógeno gaseoso (H_2) y oxígeno gaseoso (O_2). En éste proyecto se utilizó ácido sulfúrico como solución acuosa, a través de esta solución pasa corriente continua; lo cual produce la escisión del ácido en los iones H^+ y SO_4^{2-} con desprendimiento de hidrógeno en el cátodo y desprendimiento de oxígeno en el ánodo. El desprendimiento de oxígeno ocurre por medio de una reacción secundaria (electrólisis del agua). Normalmente el espesor de la capa de óxido esperado para el aluminio en procesos comerciales de anodizado es de 0.015 a 0.017 mm. La película formada es dieléctrica

Coloración del Anodizado de Aluminio

(aislante), es lo que ayuda a absorber los colorantes, aceites y grasas después de que se realizó la anodización, y endurece el aluminio de manera en que éste sea más resistente.

El ciclo de trabajo típico para el anodizado de piezas de aluminio en escala industrial es el siguiente:



Figura 2 Ciclo de trabajo típico para el anodizado de piezas.

2.1.2- Tratamiento superficial químico

2.1.2. a.- *Desengrasado y Limpieza*

El desengrasado se utiliza antes de tratar la superficie con la que se va a trabajar, con el fin de dejar dicha área limpia. Se pueden utilizar soluciones orgánicas, como el percloroetileno, que permiten obtener una superficie limpia después de lavar cada pieza con el disolvente. Sin embargo, en la mayoría de los casos se opta por no utilizar solventes orgánicos debido al peligro que éstos pueden ocasionar; éstos suelen ser un material o compuesto nocivo o potencialmente tóxico, por ejemplo: el percloroetileno es tóxico y tiene efectos cancerígenos, el tetracloruro de carbono puede ser absorbido por la piel, lo cual puede causar dolor, enrojecimiento, etc., y la acetona, por otro lado, es muy inflamable.

Si por algún motivo, después del lavado, queda polvo, se recomienda rociar a presión la superficie con el disolvente. También pueden utilizarse soluciones alcalinas que contengan silicatos, de manera en que no se vea afectado el aluminio. Si se utilizan limpiadores que no contienen silicatos, con un valor de pH entre 9.2 y 9.5, se produce una ligera eliminación del aluminio aproximadamente de 3 a 10 g/m²*h. Una vez que la pieza fue lavada con la solución, ya sea alcalina o ácida, se realiza un lavado profundo con agua.

Otra posibilidad es el desengrasado por cocción con disoluciones amortiguadoras calientes; las cuales deben de tener un pH entre 9 y 11. También está el desengrasado electrolítico, ésta se utiliza cuando no se quiere crear un ataque sobre la superficie. En este tipo de limpieza, la pieza se conecta al cátodo, utilizando como electrolito tanto soluciones ácidas como soluciones alcalinas. Para realizar un baño alcalino, se recomienda utilizar recipientes de acero. En cambio, para los baños ácidos o neutros, se recomiendan materiales con revestimiento o que sean apropiados. [2]

Coloración del Anodizado de Aluminio

2.1.2. b.- Mordentado

El mordentado, es un proceso de limpieza por medio de la abrasión de capas de óxido superficiales o capas pasivas. El proceso consiste en sumergir la pieza en la solución de mordiente; después éste es lavado con agua corriente. Puede que la pieza necesite más de una inmersión para poder lograr el acabado que se le quiera dar a la pieza.

Tabla 2 Composiciones de soluciones para llevar a cabo el mordentado [2].

Aplicación	Composición
Aluminio puro	30 partes de ácido clorhídrico concentrado 4 partes de ácido fluorhídrico concentrado 66 partes de agua destilada
Aleaciones y aluminio puro	50 partes de ácido clorhídrico concentrado 50 partes de ácido nítrico concentrado 3 a 25 partes de ácido fluorhídrico 0 a 100 partes de agua destilada
De uso general	7 partes de cloruro férrico 5 partes de ácido clorhídrico concentrado 1 parte de clorato potásico agua destilada

2.1.2. c.- Decapado

El decapado se utiliza para eliminar la capa de óxido natural formada sobre aluminio. También puede eliminar residuos de grasa y aceite sobre la superficie, los cuales pudieron quedar del desengrasado. El decapado causa que la superficie presente un aspecto blanco, uniforme, mate o un ligero brillo sedoso. [2] La disolución que se emplea para llevar a cabo el decapado, puede ser tanto ácida como básica; y ésta es elegida de acuerdo a la composición del material, del efecto deseado y de las instalaciones en dónde se llevará a cabo el tratamiento. El ataque del decapado depende de la composición del material, el tipo de decapado y la temperatura a la cual se realiza el tratamiento. [2]

Tabla 3 Composiciones y condiciones a las cuales se lleva el decapado. [2]

Decapante	Concentración/Composición	Temperatura (°C)	Duración (min)
NaOH	5 a 10% NaOH	50 a 70	1 a 2
Na ₂ CO ₃	10% de Na ₂ CO ₃	50 a 80	5 a 15
H ₂ SO ₄	3 a 5% de H ₂ SO ₄	80	2 a 10
HNO ₃	3% de HNO ₃	80	2 a 10

2.1.2. d.- Abrillantamiento

Para llevar a cabo el proceso de abrillantamiento, primeramente, la pieza tiene que ser alisada por algún procedimiento mecánico. En éste proceso, se produce una eliminación de materia y un aplanamiento de las microrugosidades. [2] Lo anterior proporciona superficies altamente brillantes. Existen varios tipos de abrillantamiento, entre ellos sobresalen: el químico y el electroquímico. El primero consiste en utilizar disoluciones que logren conseguir una superficie brillante. Para ello se aplica un procedimiento especial, los procedimientos más

Coloración del Anodizado de Aluminio

conocidos son el Erfwerk y el Alupol; en ellos el material puede ser rebajado hasta 15 μ m. [2]

Tabla 4 Procedimiento y condiciones para conseguir una superficie brillante. [2]

Procedimiento	Composición del baño	Temperatura del baño (°C)	Duración del abrillantamiento	Observaciones
Alupol	Ácidos fosfóricos, acético, sulfúrico y nítrico	130	De 3 a 6 minutos	Para aluminio de menor pureza. Recipiente de acero inoxidable como cromo-níquel-manganeso.
Erfwerk	Bifluoruro amónico, ácido nítrico y fluorhídrico.	50 -70	De 15 a 90 segundos	Para aluminio puro y sus aleaciones; en variante modificada también para Al 99.9% y alguna de sus aleaciones. En cubetas de acero o recipientes de plástico calentados con agua.

El abrillantamiento electrolítico, también conocido como abrillantado anódico, consiste en conseguir el igualamiento de la superficie mediante corriente continua. Éste se utiliza cuando se requieren altas exigencias sobre el brillo. El electrolito utilizado está formado principalmente por mezclas de ácidos fosfórico, sulfúrico y crómico o lejías alcalinas a base de fosfatos o sosa. [2] Después del proceso es necesario lavar la pieza en agua, sumergirla en una solución ácida para remover el recubrimiento formado y volverla a lavar.

Tabla 5 Procedimiento y condiciones para llevar a cabo un abrillantamiento electrolítico. [2]

Procedimiento	Composición del baño	Tensión (V)	Densidad de corriente (A/dm ²)	Temperatura (°C)	Duración del tratamiento (min)
Aluflex Spezial	Ácido sulfúrico, fosfórico.	15 hasta 20	15 hasta 20	80 hasta 85	1 hasta 5
Aluflex Super	Ácido sulfúrico	15 hasta 20	15 hasta 20	80 hasta 85	80 hasta 85
Alzak	Ácido borofluorhídrico y aditivos	25	2.5	24	5 hasta 8
Glänzbäd GV	Ácido sulfúrico	15 hasta 20	15 hasta 20	80 hasta 90	½ hasta 5
Rostapal ii	Ácido sulfúrico	15 hasta 25	15 hasta 25	80 hasta 85	½ hasta 5

Coloración del Anodizado de Aluminio

Allux	Trifosfato y otras sales	14 hasta 20	4 hasta 8	75 hasta 95	10 hasta 20
Brytal	Trifosfato y otras sales	Con pulido previo: 5 hasta 8 Sin Pulido previo: 12 hasta 8	2 hasta 5	70 hasta 95	Pulido previo: 5 hasta 8 Sin pulido: 12 hasta 5

2.1.3.- Coloración por inmersión

Las capas anodizadas pueden ser coloreadas con colorantes orgánicos e inorgánicos; ya sea en disolución acuosa, por inmersión o aspersión. [2] Los colorantes son absorbidos por la capa de óxido; los tonos que suelen tener una mejor absorción son: azul, rojo, oro y negro. La capacidad de coloración de la capa de óxido, depende de las condiciones del anodizado, el espesor de la capa, el volumen de los poros y del colorante. Las condiciones a las cuales se llevará a cabo la coloración son: concentración, temperatura y pH.

Pueden realizarse varias inmersiones, las cuales están comprendidas entre los 5 y 20 minutos; sin embargo, puede realizarse sólo una inmersión. Es recomendable que se lleven a cabo varias inmersiones de menor tiempo.

2.1.3. a.- Concentración

De acuerdo a lo reportado en la literatura, el rango de concentración óptimo es de 1 a 5 g/L de colorante. Se puede llevar a cabo a una temperatura de 70°C. La concentración puede afectar el color final que adquiere la pieza; en teoría entre mayor es la concentración de la solución, mayor será el color que adquiera la pieza. Sin embargo, se ha probado que lo anterior no es necesariamente cierto; lo anterior se debe a que la disolución utilizada para pintar la pieza, ya está saturada; por lo tanto, después de una cierta concentración el color se mantendrá constante. [2]

2.1.3. b.- Temperatura

La temperatura a la cual se tiñe la pieza puede variar de acuerdo al colorante utilizado; sin embargo, se puede considerar un rango de temperaturas entre los 60 y 70°C. No se recomienda utilizar temperaturas más altas debido a que no se busca contrarrestar los fenómenos de fijación de la película; lo cual afectaría en la eficiencia de absorción del colorante. [1]

2.1.3. c.- pH

Es recomendable mantener un pH definido de la solución, en la cual se sumergirá la pieza, con el fin de garantizar la eficacia del colorante en el baño. Para poder determinar correctamente el pH durante el proceso de inmersión, es necesario lavar cuidadosamente las piezas anodizadas. Cualquier residuo que pueda quedar sobre la placa, puede afectar la efectividad del tinte. De acuerdo con el diagrama de Pourbaix, **Figura 3**, se puede observar que a un pH de 0 a 4, y de 8.5 a 14, el aluminio se corroe. Por lo tanto, para realizar las pruebas a pH controlado se optó por trabajar con soluciones buffer con un pH entre 4 y 8.

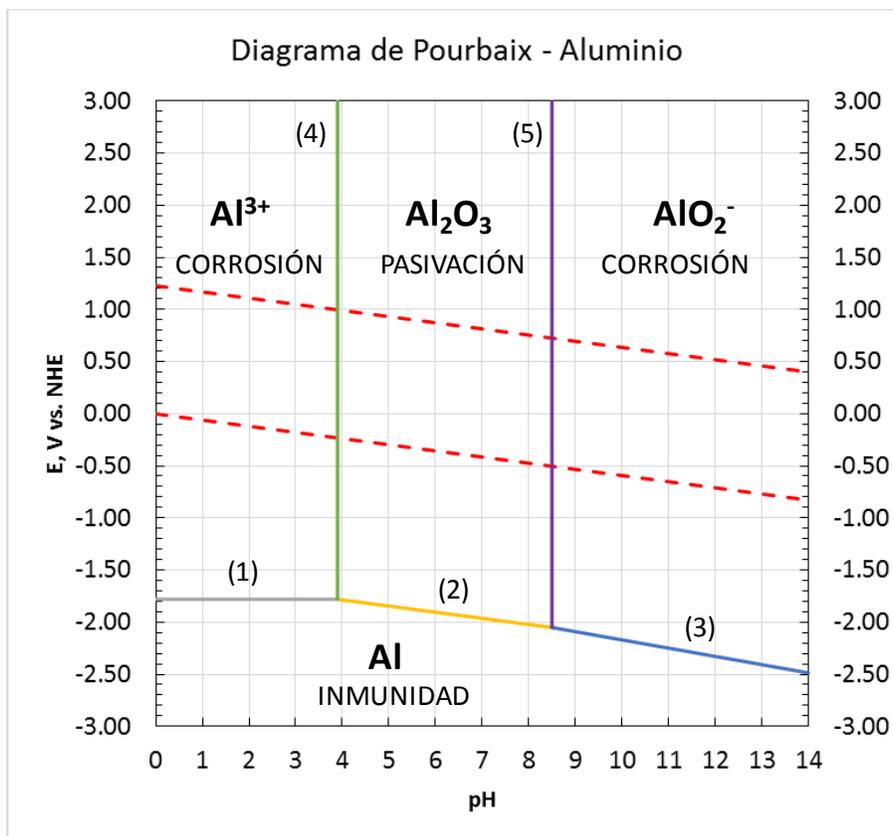


Figura 3 Diagrama de Pourbaix del Aluminio. Elaboración propia a partir de la referencia [13].

Las soluciones buffer se prepararon de la siguiente manera:

- Para un pH próximo a 4.5, se utilizaron 102 ml de ácido acético 0.1M y 98 ml de acetato de sodio 0.1 M. [7]
- Para un pH próximo de 7, se utilizaron 100 ml de fosfato de potasio monobásico 0.1 M y 58.2 ml de hidróxido de sodio 0.1 M. [7]
- Para un pH próximo de 8, se utilizaron 100 mL de fosfato de potasio monobásico 0.1 M y 93.4 ml de hidróxido de sodio 0.1 M. [7]

Una vez preparadas las soluciones buffer, se midió el pH para verificar que efectivamente el pH del buffer fuera el reportado por la literatura. Al final se trabajó con soluciones buffer de pH 4.8, 7.0 y 8.0, respectivamente.

2. 1. 4.- Tapado de poros

Independientemente de que la pieza sea o no coloreada, ésta debe someterse al tapado de poros; ya que el tapado de poros, ayuda a anular las propiedades absorbentes de la capa de óxido y aumenta tanto la resistencia de la pieza hacia cualquier agente exterior como su poder dieléctrico. El tapado de poros puede lograrse de dos maneras:

- 1) Tratamiento de agua hirviendo: se sumerge la pieza ya anodizada en agua hirviendo durante 30 minutos. Se recomienda que sólo se aplique a piezas que no están coloreadas.

Coloración del Anodizado de Aluminio

- 2) Baños de sellado: las piezas igualmente deben ser sumergidas durante 30 minutos a una temperatura próxima a la de ebullición. El baño de sellado A, es a base de sales de cobalto y níquel; mientras que el baño de sellado B, es a base de sales de cromo. Cabe mencionar que el sellado A sí se recomienda para piezas coloreadas; mientras que el sellado B no es recomendable. [2]

El sellado utilizado como sellado A, fue una solución acuosa de 5 g/L de acetato de níquel y 8 g/L de ácido bórico. Debido a que no se contó con acetato de níquel, se utilizó sulfato de níquel y ácido acético; de tal manera, en que el acetato de níquel se preparó a base estequiométrica entre el ácido acético y el sulfato de níquel. Para preparar 140 ml de solución, se utilizaron 0.9183g de $\text{Ni}(\text{SO}_4)$, 1.12g de H_3BO_3 y 0.67 ml de CH_3COOH . [14]

2.2.- Planeación y seguimiento del proyecto

En este proyecto se eligió estudiar el efecto de tres variables que intervienen en la coloración del anodizado de aluminio con el fin de saber a qué temperatura, pH y concentración de colorante es mejor realizar el proceso de coloración en el anodizado de aluminio a escala de laboratorio.

2.2.1.- Metodología

2.2.1.a.- Piezas

Se determinó que todas las piezas de aluminio fueran del mismo tamaño; cada pieza de aluminio de 6 cm de largo se cortó a partir de una solera de aluminio de 2 cm de ancho y 1 mm de espesor como se muestra en el diagrama:



Figura 4 Tamaño de las piezas (cátodos y ánodos).

Cabe mencionar que tanto los cátodos como el ánodo fueron del mismo tamaño y del mismo material. Se utilizaron dos cátodos para mejorar el flujo de corriente y garantizar un anodizado uniforme en la pieza. Los cátodos se colocaron a la misma distancia del ánodo, de manera en que la distribución de corriente fuera la misma para ambos lados de la pieza.

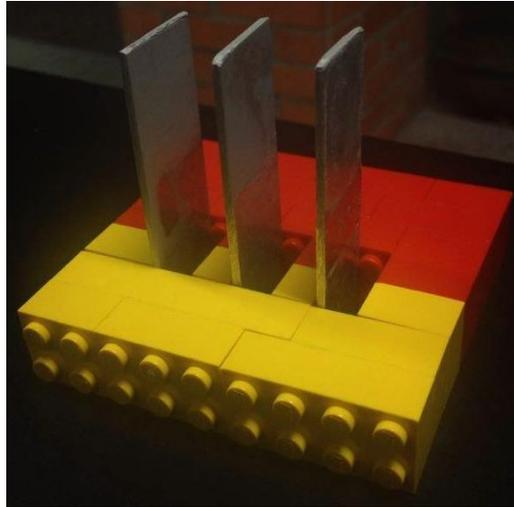


Figura 5 Sistema de distribución de los cátodos y del ánodo.

2. 2. 1. b.- Tratamiento previo al anodizado

Para llevar a cabo el anodizado, primero se trataron las piezas de aluminio con la finalidad de darles un mejor acabado y para evitar que otras partículas, que podrían encontrarse en la pieza, pudieran afectar los resultados del anodizado. Los tratamientos realizados fueron los siguientes:

- Tratamiento Mecánico: se utilizó una lija para agua del número 1200. Cada pieza se lijó hasta lograr uniformidad.
- Tratamiento de desengrase: Se preparó una solución al 5% de NaOH, las piezas fueron sumergidas durante dos minutos en la solución. Después cada pieza se enjuagó con agua destilada para retirar los sobrantes del NaOH.
- Tratamiento de decapado: Se preparó una solución al 10% de NaOH, las piezas se sumergieron durante medio minuto en la solución. Después cada una se enjuagó con agua destilada.
- Tratamiento de abrillantamiento: Para este tratamiento, se utilizó una solución limpiadora libre de fluoruros, preparada a partir de ácido cítrico y fosfórico. La composición exacta no se presenta por razones de confidencialidad. Cada pieza se sumergió durante tres minutos, después se enjuagó con agua destilada y con ácido nítrico al 1%; el ácido nítrico se utilizó con la finalidad de quitar cualquier residuo de óxidos insolubles en la pieza. Al final, la pieza se volvió a enjuagar con agua destilada con el fin de retirar lo que quedó del ácido.

2. 2. 1. c.- Anodizado

Una vez que la pieza se encuentra limpia, ésta se coloca en una base como la que se muestra en la Figura 4; la cual permite que la pieza a anodizar se mantenga en una posición equidistante a los cátodos. También ayuda a asegurar que el área que se va a anodizar, sea la misma para cada pieza; el área anodizada fue de 6 cm^2 por pieza.

Durante las primeras corridas, se utilizó una solución de ácido sulfúrico al 17% para llevar a cabo el proceso de anodizado. Sin embargo, los resultados obtenidos no fueron los esperados; ya que la solución era demasiado concentrada, lo que ocasionaba una baja eficiencia de

Coloración del Anodizado de Aluminio

corriente para el anodizado debido a la electrólisis del agua y a la disolución del depósito anódico. Por lo tanto, la solución se modificó para que esta fuera de ácido sulfúrico al 10%. Durante el anodizado se decidió utilizar un voltaje de 9 voltios; ya que, de acuerdo a los resultados preliminares obtenidos al anodizar las piezas elegidas a diferentes corridas, el mejor control de la corriente (señalado por la meseta de corriente límite) se obtuvo al utilizar este voltaje. Cabe mencionar que la curva de densidad de corriente vs. tiempo tiene la forma típica ya reportada en la bibliografía [9]. De acuerdo con la curva reportada en el trabajo “Desarrollo de Competencias en Tecnología Electroquímica y sus Aplicaciones: Anodizado de Aluminio” realizado por Humberto Morales, considerando el tiempo de anodizado de 30 minutos a un voltaje de 9 voltios, el espesor aproximado de la capa de óxido generada durante el anodizado de la pieza es de $3.75\mu\text{m}$. [9]

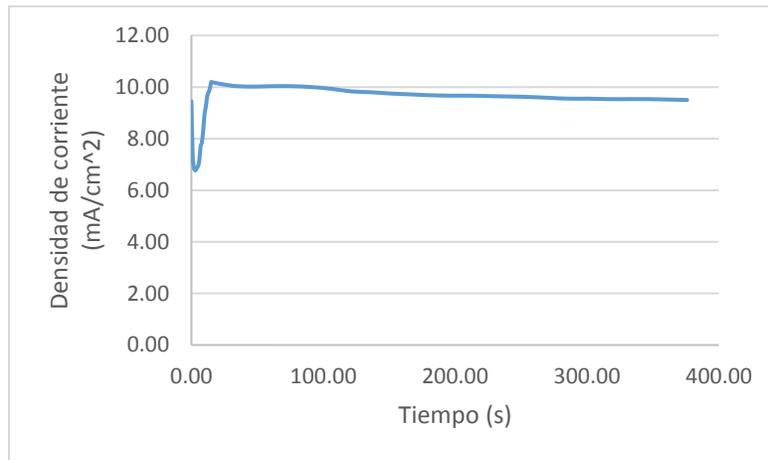


Figura 6 Densidad de corriente vs. tiempo @(9volts, 25°C) en ácido sulfúrico al 17%.

Coloración del Anodizado de Aluminio

3.- Resultados

Las corridas se realizaron a voltaje de 9 V, pH variable, temperatura y tiempos constantes.

Tabla 6 Datos de las diferentes variables que se manejaron durante las pruebas.

Corridas	Color	Tipo de colorante	Concentración (g/L)	Temperatura (°C)	pH	Densidad de corriente límite (mA/cm ²)
1	Verde	Polvo para topa	1.00	60-70	4.80	-
2			3.00	60-70	4.80	-
3			5.00	60-70	4.80	-
4			7.00	60-70	4.80	-
5			10.00	60-70	4.80	6.50
6			1.00	60-70	7.00	6.00
7			3.00	60-70	7.00	5.77
8			5.00	60-70	7.00	5.88
9			5.00	60-70	8.00	6.90
10			10.00	60-70	8.00	5.78
11	Rojo	Polvo para topa	5.00	60-70	4.80	7.30
12			10.00	60-70	4.80	6.98
13			7.00	60-70	4.80	5.98
14			5.00	60-70	7.00	6.37
15			10.00	60-70	7.00	5.83
16	Azul	Pintura serigrafía	42.00	25	-	5.07
17			117.00	25	-	5.08
18	Violeta	Violeta de Bengiana	5.00	60-70	4.80	5.75
19			5.00	60-70	7.00	5.92
20	Negro	Tinta china	20 gotas en 140 ml	60-70	4.80	4.55
21			40 gotas en 140 ml	60-70	8.00	5.02
22	Negro	Polvo para topa	10.00	60-70	4.80	3.48
23			10.00	60-70	8.00	4.32
24	Rojo	Tinta impresora	1.00	60-70	2.50	6.08
25			1.00	60-70	7.00	5.55
26			1.00	60-70	8.00	6.22
27			5.00	60-70	4.80	5.23
28			10.00	60-70	4.80	5.15
29	Azul	Tinta impresora	10.00	60-70	4.80	4.82
30			5.00	60-70	4.80	5.03

Cabe mencionar que el tiempo de anodizado de cada pieza fue de 30 minutos, al igual que el tiempo de coloración. En cambio, el sellado se realizó por 20 min a una temperatura promedio de 80 °C; el cual se realizó con la solución de sellado A a base de sulfato de níquel, ácido acético y ácido bórico.

Los nombres y marcas de los colorantes utilizados se muestran en la siguiente tabla.

Coloración del Anodizado de Aluminio

Tabla 7 Tintas utilizadas durante el proceso de teñido.

Colorante	Marca	Presentación
Verde	Mariposa	Cristales
Rojo	Mariposa	Cristales
Azul	Genérico	Tinte
Violeta de genciana	-	Polvo
Negro	STAEDTLER	Tinta china
Negro	Mariposa	Cristales
Rojo	HP	Tinta impresora
Azul	EPSON	Tinta impresora

A continuación, se muestran los resultados individuales de cada corrida.

- Corrida 1:

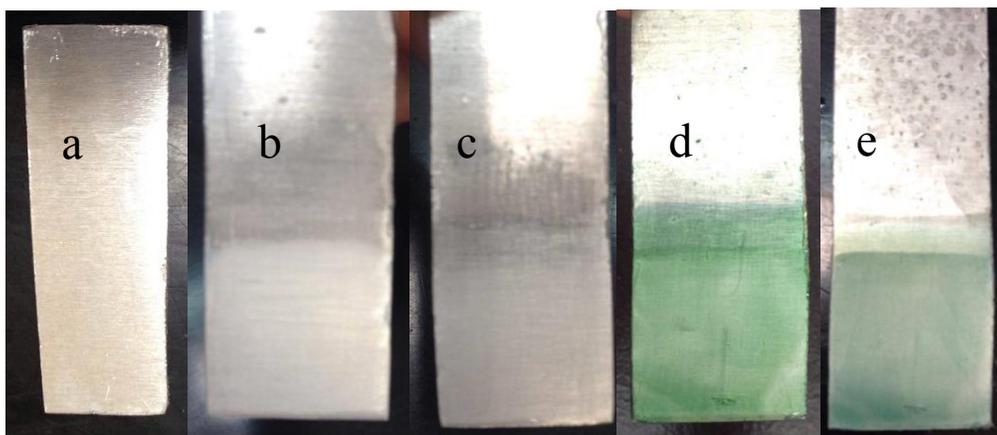


Figura 7 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 1 g/L a un pH constante de 4.8.

En la **Figura 7**, se puede observar diferentes piezas; las cuales muestran el proceso que se llevó a cabo para obtener la pieza coloreada. Donde a) es la pieza de aluminio sin ningún tratamiento, b) es la pieza desengrasada y limpia, c) es la pieza anodizada, d) es la pieza coloreada y e) es la pieza sellada o con los poros tapados.

Se puede observar que el baño decoloró un poco la pieza, sin embargo, el color verde sigue siendo bastante apreciable. La decoloración en la pieza durante el baño es esperada, ya que toda la pieza se deja sumergir sobre una coloración

Coloración del Anodizado de Aluminio

- Corrida 2:

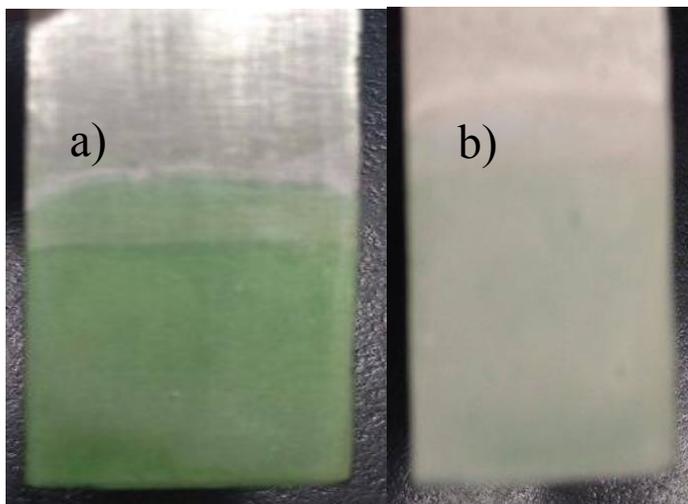


Figura 8 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 3 g/L a un pH constante de 4.8.

La **Figura 8**, muestra que, pese a que se obtuvo buena coloración en el anodizado, a la hora de realizar el sellado se perdió gran parte de la pigmentación.

- Corrida 3:

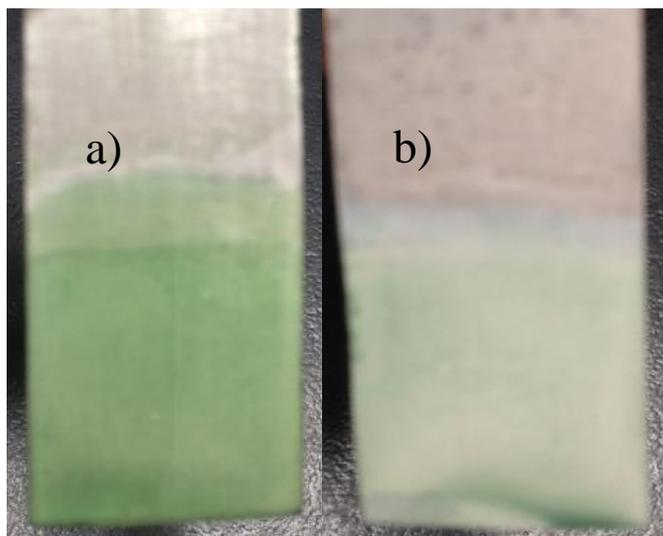


Figura 9 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 5 g/L a un pH constante de 4.8.

La **Figura 9**, muestra que, debido al aumento de concentración, ya se nota más el color después del baño de sellado.

Coloración del Anodizado de Aluminio

- Corrida 4:

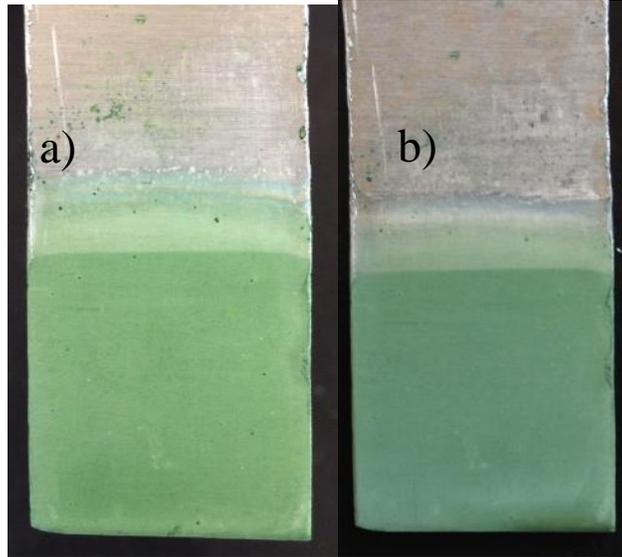


Figura 10 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 7 g/L a un pH constante de 4.8.

En la **Figura 10**, se puede observar que la pieza después del sellado ya está bien coloreada; sin embargo, se presenta como un color más opaco al obtenido después del baño de color. A estas condiciones sería recomendable colorar si se busca obtener un color opaco.

- Corrida 5:

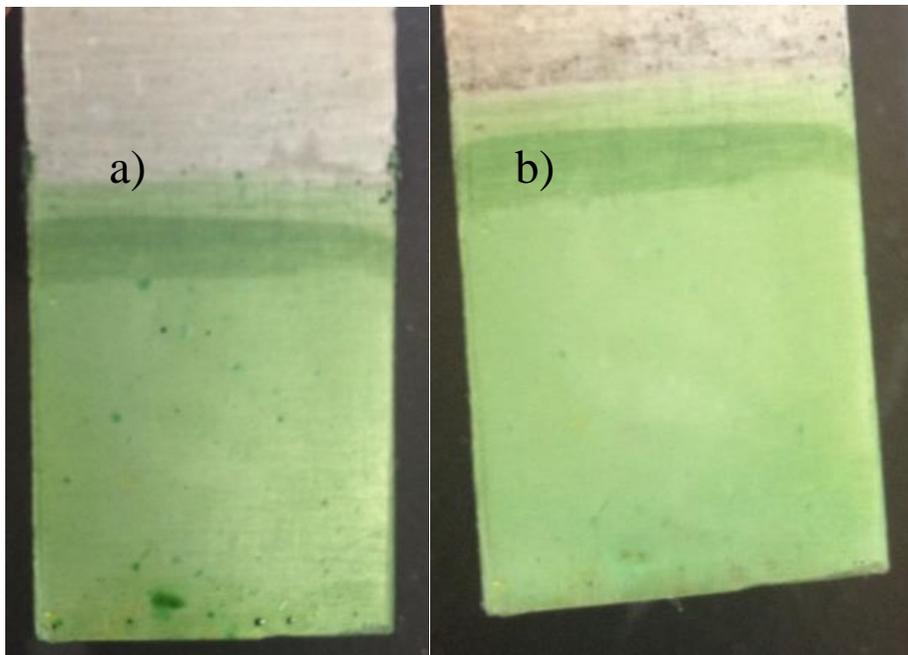


Figura 11 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 10 g/L a un pH constante de 4.8.

Coloración del Anodizado de Aluminio

La **Figura 11**, muestra que tanto la pieza después del baño de coloración como después del baño de sellado, presenta un color prácticamente igual. A estas condiciones, sería recomendable anodizar y colorear el aluminio.

- Corrida 6:

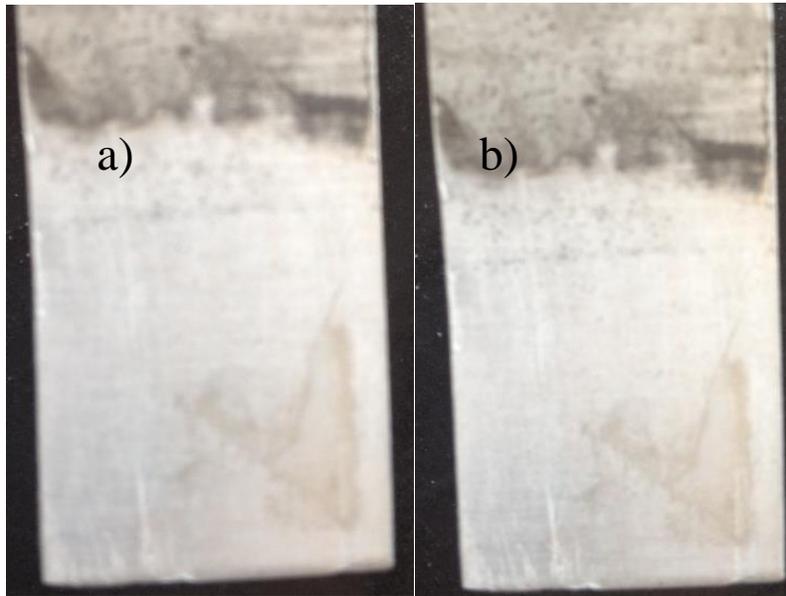


Figura 12 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 1 g/L a un pH constante de 7.

La **Figura 12**, muestra que no hubo efecto de coloración.

Coloración del Anodizado de Aluminio

- Corrida 7:

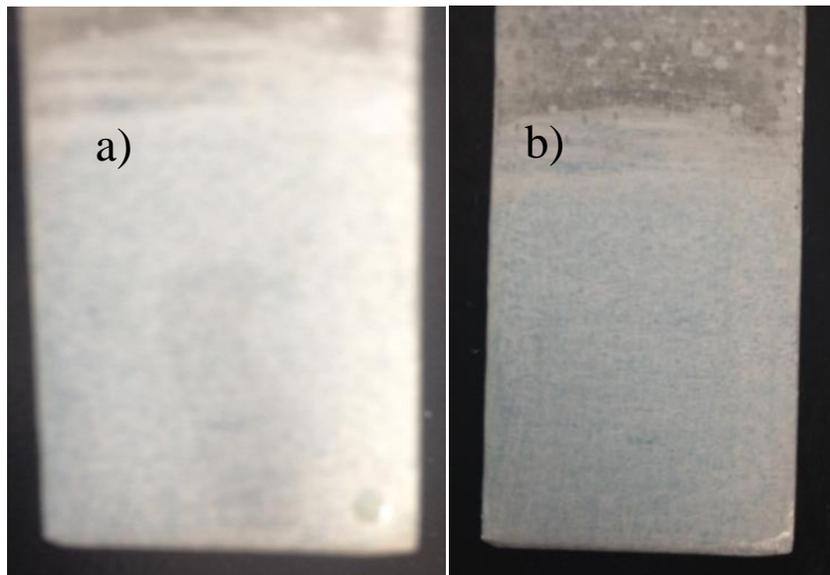


Figura 13 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 3 g/L a un pH constante de 7.

La **Figura 13**, muestra que hubo un ligero cambio en la coloración. Inclusive el color aumentó después de que se realizó el baño de sellado.

- Corrida 8:

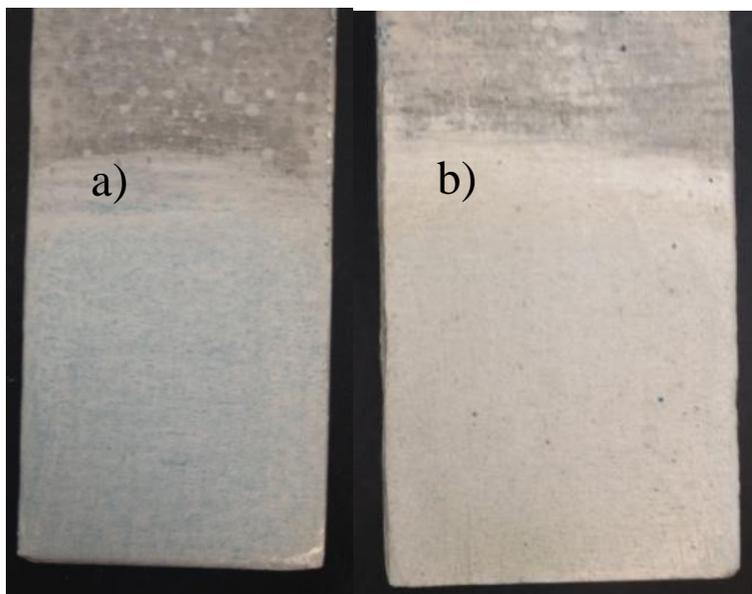


Figura 14 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 5 g/L a un pH constante de 7.

La **Figura 14**, muestra que, pese a que se obtuvo una ligera coloración después del baño colorado, el baño de sellado retiró gran parte de color absorbido por la pieza de aluminio.

Coloración del Anodizado de Aluminio

- Corrida 9:

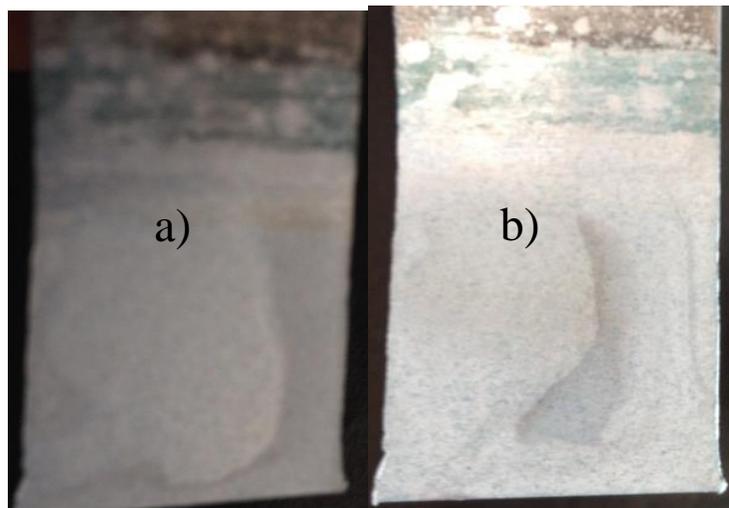


Figura 15 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 5 g/L a un pH constante de 8.

- Corrida 10:

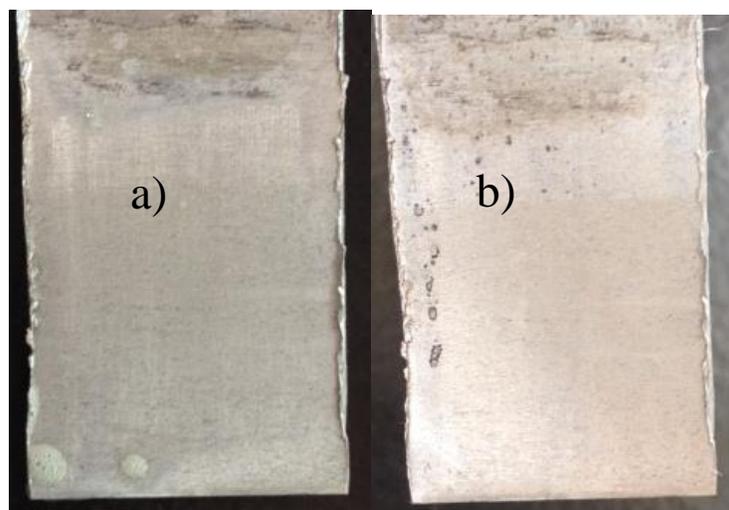


Figura 16 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 10 g/L a un pH constante de 8.

Puede observarse que conforme el pH aumenta, la coloración es mucho menor. A altos pH, la concentración que tenga el baño de tinte, realmente no tendrá influencia sobre el teñido. De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente, se descartaron las pruebas realizadas a bajas concentraciones para las nuevas corridas con otro colorante; por lo tanto, sólo se utilizaron concentraciones a 5 y 10 g/L, principalmente.

Coloración del Anodizado de Aluminio

- Corrida 11:

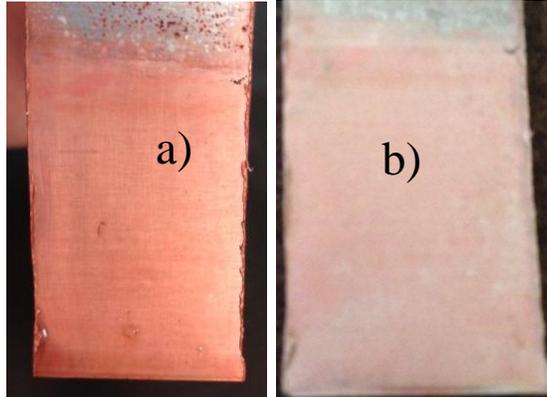


Figura 17 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 5 g/L a un pH constante de 4.8.

- Corrida 12:

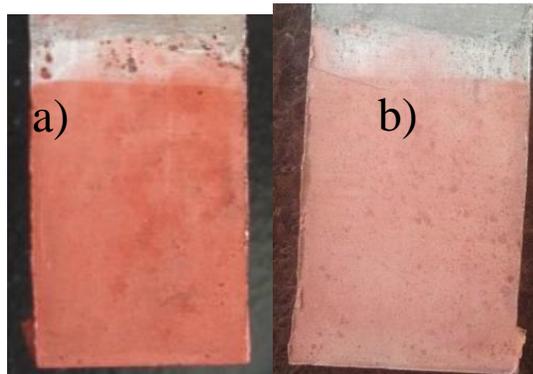


Figura 18 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 10 g/L a un pH constante de 4.8.

- Corrida 13:

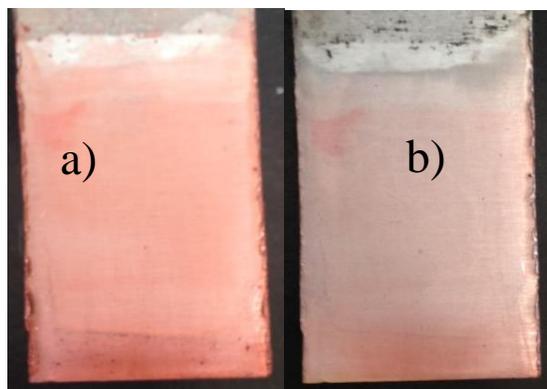


Figura 19 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 7 g/L a un pH constante de 4.8.

Coloración del Anodizado de Aluminio

Como se puede observar en la **Figura 17**, el colorante se destiñe bastante con el baño; pero conforme se aumenta la concentración, ver **Figura 18 y 19**, la pieza se destiñe menos en el baño.

- Corrida 14:

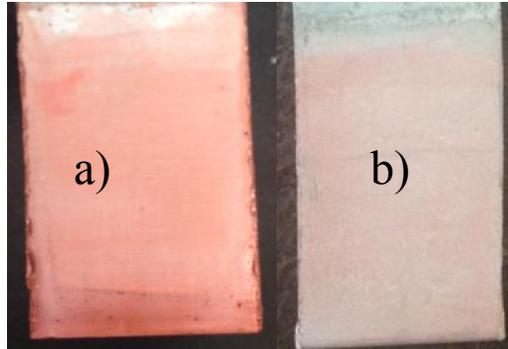


Figura 20 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 5 g/L a un pH constante de 7.

- Corrida 15:

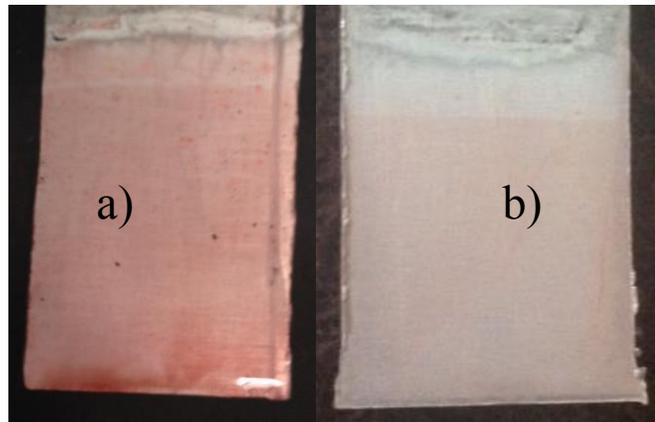


Figura 21 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 10 g/L a un pH constante de 7.

Como se puede observar en la **Imagen 20 y 21**, la pieza de aluminio no responde igual a pH básicos (pH de 7 y 8); por lo tanto, la coloración a una misma concentración, se da mejor a un pH básico (pH de 4.8).

Coloración del Anodizado de Aluminio

- Corrida 16:

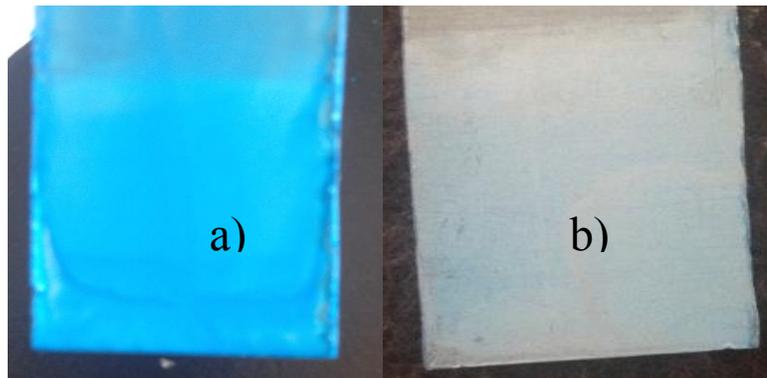


Figura 22 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 42 g/L.

- Corrida 17:

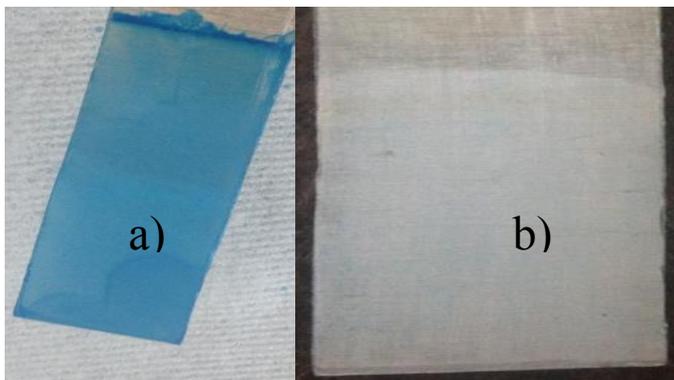


Figura 23 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 117 g/L.

Tanto para la corrida 16 como para la 17 se utilizó un tinte, que, a diferencia de los demás tintes utilizados en éste trabajo, no es soluble en agua; por lo tanto, se utilizó acetona como solvente, y por ello, el teñido se manejó a temperatura ambiente y no se controló el pH.

- Corrida 18:

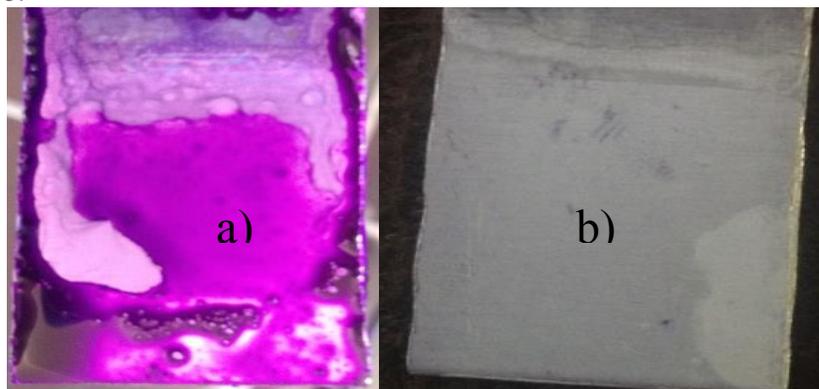


Figura 24 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 5 g/L a un pH constante de 4.8.

- Corrida 19:

Coloración del Anodizado de Aluminio

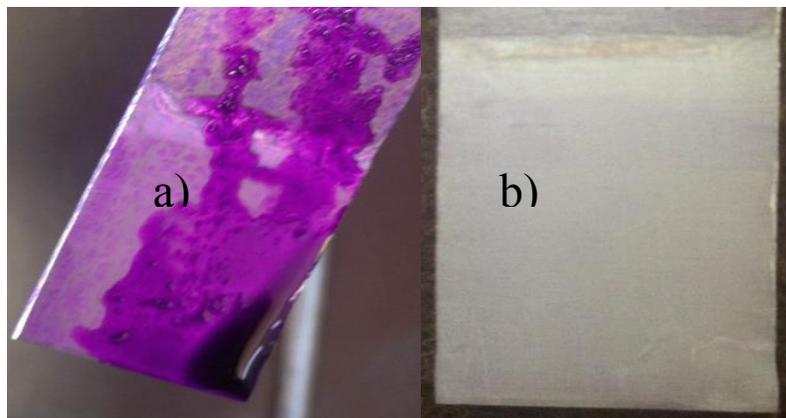


Figura 25 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 5 g/L a un pH constante de 7.

En la **Figura 24** y **25**, se puede observar que la violeta de genciana no es un tinte efectivo; sin embargo, se fue a comprobar que el teñido se da mejor a un pH de 4.8.

- Corrida 20:

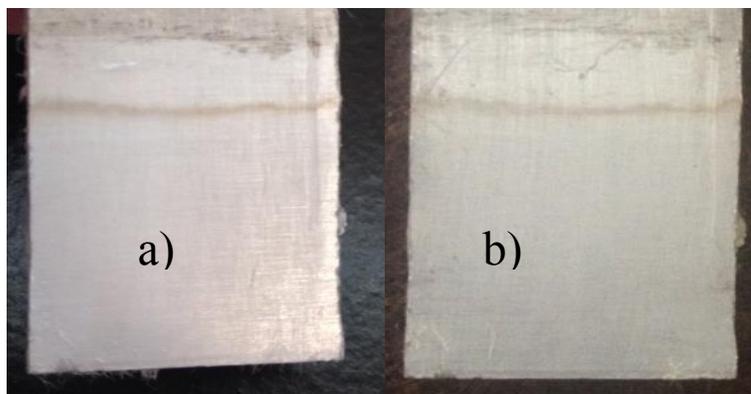


Figura 26 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 20 gotas en 140 ml a un pH constante de 4.8.

- Corrida 21:

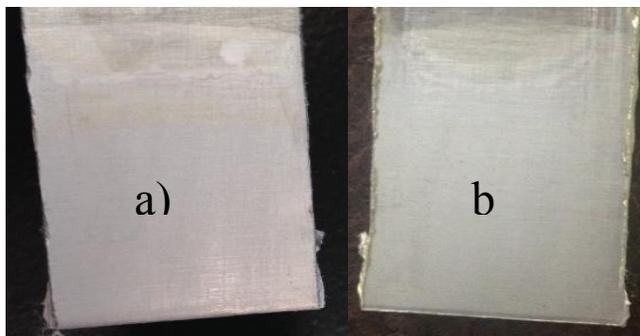


Figura 27 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 40 gotas en 140 ml a un pH constante de 8.

Tanto en la corrida 20 como en la 21, el pH realmente no marcó una diferencia en el teñido; por lo tanto, no se recomienda la tinta china como tinte.

Coloración del Anodizado de Aluminio

- Corrida 22:

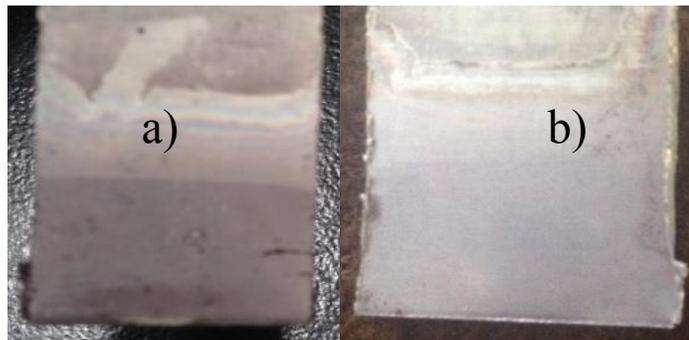


Figura 28 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 10 g/L a un pH constante de 4.8.

- Corrida 23:

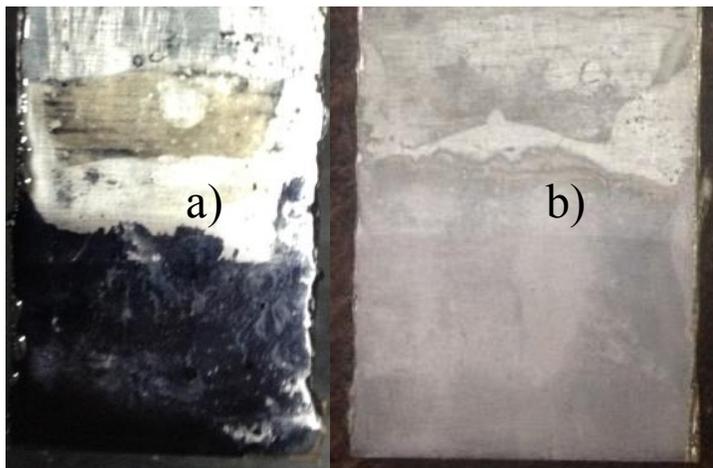


Figura 29 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 10 g/L a un pH constante de 8.

De la **Imagen 28** y **29**, se puede concluir que el pH realmente no influye sobre los resultados obtenidos, ya que sin importar el pH los resultados obtenidos son prácticamente los mismos y el tinte realmente no llega a teñir la pieza.

- Corrida 24:

Coloración del Anodizado de Aluminio

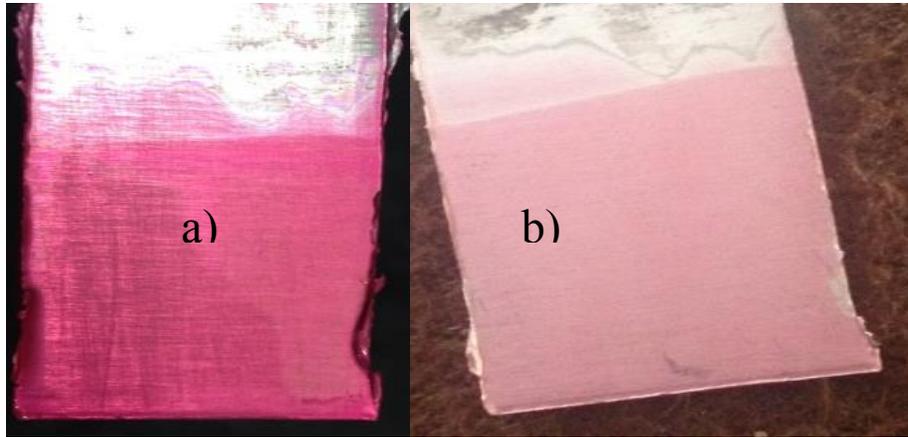


Figura 30 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 1 g/L a un pH constante de 4.8.

- Corrida 25:



Figura 31 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 1 g/L a un pH constante de 7.

- Corrida 26:

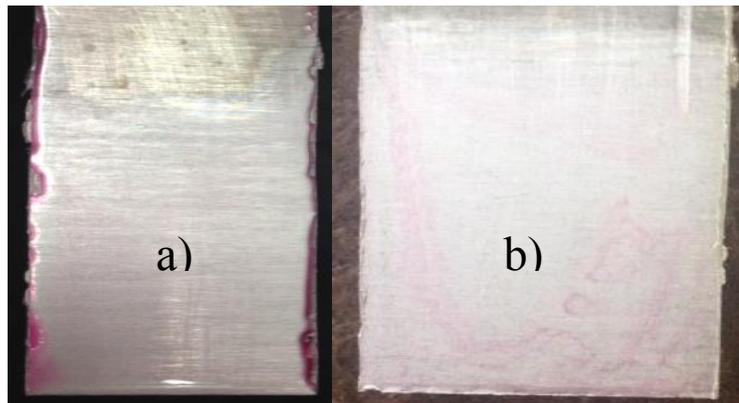


Figura 32 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 1 g/L a un pH constante de 8.

De las corridas 14, 25 y 26, se puede concluir que el a un pH ácido la coloración o teñido es mucho mejor. Por lo tanto, se eligió el pH de 4.8 para teñir a diferentes concentraciones con tintes para impresora.

Coloración del Anodizado de Aluminio

- Corrida 27:

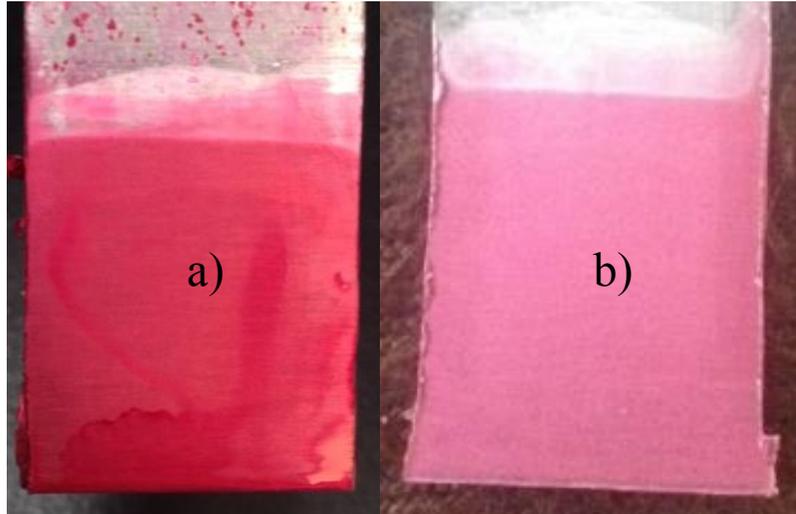


Figura 33 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 5 g/L a un pH constante de 4.8.

- Corrida 28:

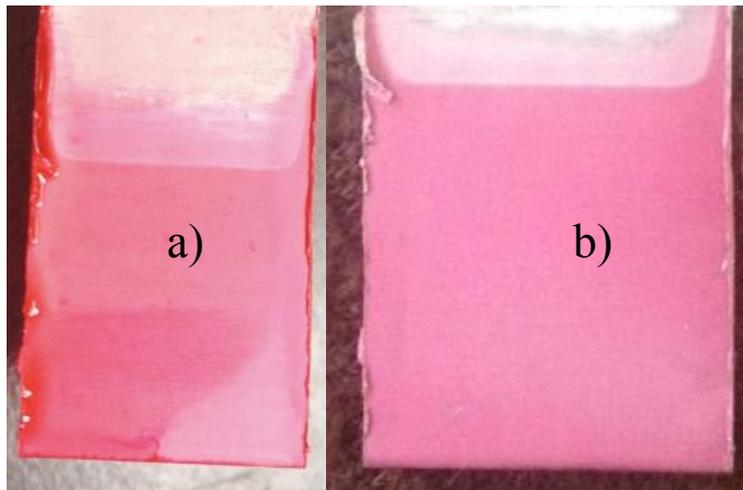


Figura 34 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 10 g/L a un pH constante de 4.8.

Coloración del Anodizado de Aluminio

- Corrida 29:

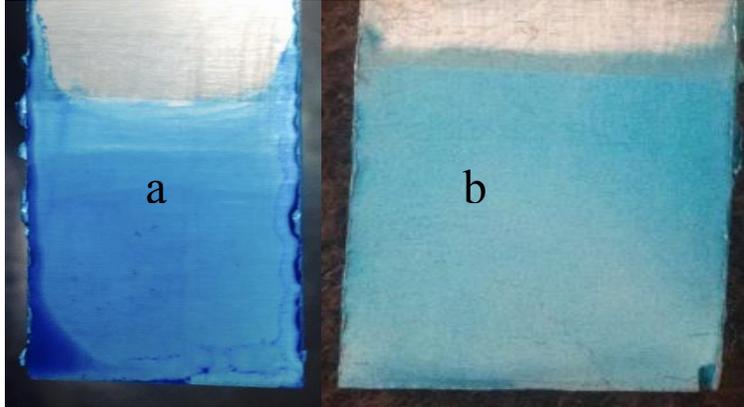


Figura 35 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 10 g/L a un pH constante de 4.8.

- Corrida 30:

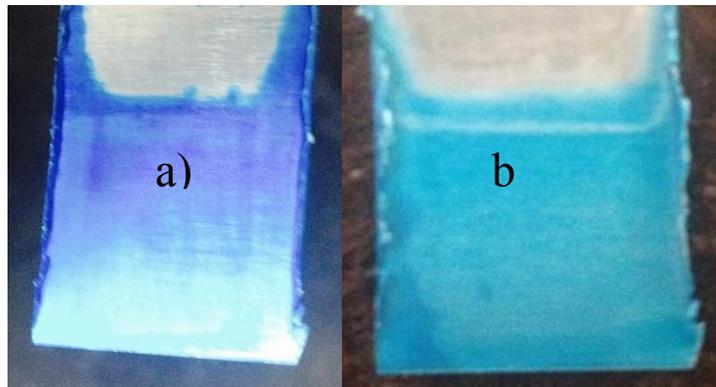


Figura 36 Resultados obtenidos del anodizado a una concentración de 5 g/L a un pH constante de 4.8.

De las corridas 27, 28, 29 y 30, se puede observar que la tinta para impresora es efectiva; sin embargo, a una concentración de 5 g/L se obtiene un mejor resultado que a 10 g/L para ambas tintas utilizadas. Lo anterior se puede deber, que a 5 g/L el anodizado acepta la cantidad “justa” de tinta, en cambio, a 10 g/L puede que el exceso de tinte haga que sea más fácil retirar parte del tinte absorbido al momento de sellar cada pieza. Lo anterior pudo ser observado al sellar cada pieza, a 10 g/L las piezas desprendían mucho más tinte que cuando se utilizaba una concentración de 5 g/L; y al momento de retirarlas del sellador, las piezas a 10 g/L formaron una ligera capa de tinte, la cual fue fácilmente retirada.

Cada pieza fue enjuagada varias veces con el fin de comprobar que la pieza no desprendiera pintura y con ello comprobar que esta se tiñó exitosamente.

Para las corridas obtenidas, se estableció una escala subjetiva con el fin de evaluar y comparar la intensidad y uniformidad del teñido en las piezas (calidad del recubrimiento); dónde el valor de la escala va de 1 a 4, siendo 1 no teñido, 2 bajo teñido, 3 medio teñido y 4 altamente

Coloración del Anodizado de Aluminio

teñido. En la **Tabla 8** se muestran las corridas ya evaluadas de acuerdo a la escala ya mencionada.

Tabla 8 Evaluación de los resultados obtenidos para cada corrida realizada.

Corridas	Color	Tipo de colorante	Concentración (g/L)	pH	Intensidad
1	Verde	Polvo para topa	1.00	4.80	3
2			3.00	4.80	2
3			5.00	4.80	2
4			7.00	4.80	4
5			10.00	4.80	4
6			1.00	7.00	1
7			3.00	7.00	1
8			5.00	7.00	1
9			5.00	8.00	1
10			10.00	8.00	1
11	Rojo	Polvo para topa	5.00	4.80	2
12			10.00	4.80	3
13			7.00	4.80	2
14			5.00	7.00	2
15			10.00	7.00	2
16	Azul	Pintura serigrafía	42.00	-	2
17			117.00	-	2
18	Violeta	Violeta de genciana	5.00	4.80	2
19			5.00	7.00	2
20	Negro	Tinta china	20 gotas en 140 ml	4.80	2
21			40 gotas en 140 ml	8.00	2
22	Negro	Polvo para topa	10.00	4.80	2
23			10.00	8.00	2
24	Rojo	Tinta impresora	1.00	2.50	3
25			1.00	7.00	2
26			1.00	8.00	2
27			5.00	4.80	4
28			10.00	4.80	4
29	Azul	Tinta impresora	10.00	4.80	4
30			5.00	4.80	4

4.- Reflexiones del alumno sobre su aprendizaje, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto.

Aprendizajes profesionales

Este trabajo me permitió mejorar mi capacidad de tomar decisiones, ya que para el desarrollo de este trabajo fue necesario utilizar mi propio criterio para poder sacar un mayor provecho del tiempo y de los resultados obtenidos. Fue necesario y útil estar estudiando cada resultado obtenido para ver si proseguía o no lo que se estaba realizando, lo cual, con el tiempo me facilitó tomar las decisiones pertinentes cuando se buscaba emplear un tinte nuevo.

Aprendizajes sociales

Llevar a cabo la realización de este trabajo, me permitió conocer otras “áreas” que fueron importantes para poder llevar a cabo este proyecto. Tuve que trabajar en otros laboratorios, como el de mecánica, en el cual aprendí a cortar las piezas del aluminio; así mismo tuve que aprender a relacionarme con el entorno de compra y venta de materiales, ya que buscar una solera de aluminio no es algo que normalmente realizo en mi vida diaria, así como conseguir los tintes necesarios para llevar a cabo el teñido de las piezas ya anodizadas.

También tuve que aprender a convivir y trabajar en diferentes entornos, ya que no siempre se podía trabajar en el mismo laboratorio debido a las múltiples prácticas que se realizan en los laboratorios de PTI; además, de que había ocasiones en que tenía que compartir el espacio con más de un grupo de personas, lo cual, en ocasiones, complicaba la realización del trabajo, pero era posible realizarlo.

Aprendizajes éticos

Para este proyecto, se tuvo que tomar decisiones al ver que algunos compuestos eran dañinos tanto para la salud como para el medio ambiente; con el fin de no utilizarlos, se procuró buscar otra alternativa, o utilizarlos lo mínimo indispensable en caso de ser necesario. También se tuvo que analizar si era o no necesario neutralizar las soluciones utilizadas antes de ser desechadas, por el mismo tema de la contaminación y la salud.

Debido a que varios de los resultados obtenidos, a lo largo de la realización del proyecto, no eran los esperados, se tuvo que decidir si era o no viable presentarle los resultados al asesor. Al final se le presentaron todos los resultados al asesor, ya fueran éstos buenos o malos, y junto con él se tomaron las decisiones pertinentes para continuar con la realización del trabajo.

Aprendizaje personal

Realizar este trabajo me permitió conocer lo que es realizar un trabajo profesional valiéndome principalmente de las habilidades y conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera. Así mismo, este trabajo me ayudó a darme cuenta que no siempre se van a obtener los resultados esperados, pero dentro de todo, toda la información adquirida, sea o no la esperada, es valiosa porque se generan nuevos conocimientos que al final pueden servir de referencia para algún proyecto o trabajo que se planea realizar en un futuro.

Conclusiones y trabajo futuro

El proceso de anodizado es esencial para poder teñir las piezas de aluminio; ya que el óxido que se genera sobre las piezas de aluminio, además de hacerlas más resistentes a la corrosión, permite que éstas sean teñidas. Si el proceso de anodizado no se realiza correctamente, no se podrá teñir apropiadamente la pieza de aluminio. Para ello fue importante cuidar la distribución de los cátodos, de tal manera, en que ambos cátodos estuvieran a la misma altura e igualmente separados del ánodo con el fin de tener una distribución de corriente constante en el área a anodizar. Así mismo se seleccionó tanto una concentración para la solución acuosa, en este caso ácido sulfúrico, como un voltaje apropiado para evitar que la pieza se quemara.

Un factor que jugó un papel muy importante en la coloración de las piezas de aluminio, fue el pH. El pH influye mucho en la coloración debido que a pH muy ácidos o muy básicos el aluminio se corroe; por lo tanto, fue esencial mantener controlado el pH con soluciones buffer. Cabe mencionar que el teñido se dio mejor en condiciones a pH ácido en comparación con los dos pH básicos utilizados.

La temperatura a la cual se llevó a cabo el teñido tuvo que ser controlado de no pasar los 70°C con el fin de evitar que los poros fueran sellados antes de tiempo y que la pieza pudiera absorber bien el tinte. Para sellar la pieza, se incrementó la temperatura hasta llegar al punto de ebullición de la solución selladora, la cual fue próxima a los 95°C, para asegurar que la pieza se sellara y no se despintara con el transcurso del tiempo.

La concentración del colorante también fue un factor determinante: a bajas concentraciones el teñido era bajo; sin embargo, a muy altas concentraciones el teñido no era tan exitoso como a concentraciones medias (en el caso de la tinta de impresora) posiblemente porque se depositaba más tinte del que podía soportar el poro y durante el sellado se perdía más tinte del que debería por el exceso existente.

El tiempo de anodizado y de teñido jugaron una parte esencial en el resultado final, debido a que, entre mayor fuera el tiempo de anodizado, mayor sería la capa de óxido formada y, por lo tanto, los poros “aceptarían” una mayor cantidad de tinte y la coloración sería mayor; para ello el tiempo de teñido también tiene que ser alto.

Para un trabajo futuro, se deberían probar modificar el número de inmersiones durante el teñido con el fin de comprobar si la pieza puede teñirse mejor. Otra cosa que debería realizarse, serían las pruebas del medio ambiente con el fin de probar si a diversas condiciones (como el sol, lluvia, etc.) se modifica o no el teñido en cada pieza. También deberían probarse diferentes tiempos de anodizado y diferentes voltajes, a 8 voltios y a 10 voltios si se utiliza el mismo sistema.

Bibliografía

- [1] Lino Bresciani. (1964). La oxidación anódica del aluminio. Barcelona: Ediciones REDE.
- [2] Hufnagel, W. (1992). Manual del aluminio. Barcelona, España: Reverté.
- [3] García Mendoza Arturo de Jesús. (2011). Principios de analítica electroquímica. México: UNAM.
- [4] Laurence Knight, Tim Bowler. (2013). El aluminio, un metal que no deja de sorprender. 15/11/16, de BBC Sitio web: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/12/131208_aluminio_reciclar_jgc_finde
- [5] James Melik, Andrei Kouzmenkov. (2010). El apetito insaciable por el aluminio. 15/11/16, de BBC Sitio web: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2010/11/101118_economia_aluminio.shtml
- [6] -. (2016). Propiedades químicas del Aluminio. 15/11/16, de Lenntech Sitio web: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm>
- [7] -. (2000). PREPARATION OF PH BUFFER SOLUTIONS. 15/11/16, de The University of The West Indies, St. Augustine campus Sitio web: <http://delloyd.50megs.com/moreinfo/buffers2.html>
- [8] Anaya, I. (2001). Anodizado y Coloreado de Aluminio (Tesis de licenciatura). Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco.
- [9] Juan Humberto Morales Angeles. (2016). “Desarrollo de Competencias en Tecnología Electroquímica y sus Aplicaciones: Anodizado de Aluminio”. Tlaquepaque, Jalisco, México: ITESO.
- [10] Bard, A. J., & Faulkner, L. R. (1980). Electrochemical Methods. John Wiley & Sons, Inc.
- [11] R-Kalantary, M. (1990). Development of Cold Sealing Processes for Anodized Aluminium (Doctorado). Universidad de Loughborough.
- [12] Marthe Le Von. (2010). Anodized!: brilliant colors & bold designs for aluminum jewelry. Nueva York: Lark Books.
- [13] Denny A. Jones. (1992) “Principles and Prevention of Corrosion”. Macmillan Publishing Company.
- [14] Simon Wernick, Robert Pinner. Peter G Sheasby. (1990). The surface treatment and finishing of aluminium and its alloys. International, Finishing Publications.