



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

**“IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIO DE ANODIZADOS
PARA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS”**

TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA
PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERÍA MECATRÓNICA

PRESENTA:

ALEJANDRO CERVANTES NAVA

NOMBRE DEL ASESOR:

Dr. MARCOS BEDOLLA HERNÁNDEZ

APIZACO, TLAX., MAYO 2025





Tzompantepec, Tlaxcala, 06/mayo/2025

Oficio No. MM-292/2025

Asunto: Liberación de Proyecto para Titulación Integral.

ISRAEL JORGE SÁNCHEZ SÁNCHEZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para Titulación integral:

Alumno (a):	ALEJANDRO CERVANTES NAVA
Carrera:	INGENIERÍA MECATRÓNICA
No. De Control:	20370702
Nombre del Proyecto:	"IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIO DE ANODIZADOS PARA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS".
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL.

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

JORGE AGUILAR VÁZQUEZ
JEFE DEL DEPTO. METAL-MECÁNICA



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
**DEPARTAMENTO DE
METAL MECÁNICA**

MARCOS BÉDOLLA HERNÁNDEZ
ASESOR

c.p.- Archivo.
JAV*petry.



2025
Año de
**La Mujer
Indígena**

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel.
[241] 4172010 Ext. 124, e-mail: mecanica@apizaco.tecnm.mx
tecnm.mx | apizaco.tecnm.mx





Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, 13/mayo/2025

CERVANTES NAVA ALEJANDRO
EGRESADO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
MECATRÓNICA.
CON NÚMERO DE CONTROL 20370702.
PRESENTE.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL y cuyo tema es: IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIO DE ANODIZADOS PARA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar 2 USB del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar.®



ISRAEL JORGE SÁNCHEZ SÁNCHEZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ccp. Archivo
ijss/Gsc*

Agradecimientos

Primero, deseo manifestar mi más sincero agradecimiento al Dr. Marcos Bedolla, que ha desempeñado un papel crucial en la ejecución de este proyecto. Su compromiso, experiencia y continuo respaldo fueron fundamentales para orientarme en cada fase del crecimiento. Su voluntad para monitorear los progresos y proporcionar comentarios útiles no solo realzó el trabajo, sino también mi desarrollo personal y profesional.

Agradezco también a la licenciada Sandra Vázquez por la oportunidad de colaborar en un proyecto tan significativo. Su confianza y recursos proporcionaron el entorno ideal para aplicar y fortalecer mis conocimientos en un contexto real.

Asimismo, expreso mi agradecimiento a mi familia y amigos, quienes me brindaron su respaldo sin reservas durante todo este proceso. Su paciencia y palabras de apoyo me motivaron a entregar todo mi ser, incluso en las situaciones más retadoras.

Por último, agradezco a todos los trabajadores, técnicos y especialistas que colaboraron en la creación de este laboratorio de anodización. Sus contribuciones técnicas y operativas resultaron fundamentales para el triunfo de este proyecto, marcando un cambio notable en su desenlace.

Índice

Agradecimientos	I
Índice de ilustraciones	III
Índice de tablas	IV
1. Identificación del problema.	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Descripción de la empresa u organización	2
1.2.1 Descripción del área o puesto del estudiante	2
1.3 Problemática a resolver.....	3
1.4 Formulación de objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo general.....	3
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 Justificación	4
2. Marco Teórico.	5
2.1 Introducción al anodizado	5
2.2 Definición y principios básicos	6
2.3 Ventajas y Desventajas del Anodizado.	7
2.3.1 Ventajas	7
2.3.2 Desventajas.....	8
2.4 Procesos y Etapas del Anodizado.....	10
2.5 Tipos de Anodizado.....	11
2.6 Renovaciones de aire según el RITE.....	14
2.6.1 Renovación de aire en viviendas	16
2.7 Normativas internacionales sobre anodizado	18
2.7.1 ISO 7599:2018.....	19
2.7.2 ISO 3210:2017.....	19
2.8 Impacto ambiental del anodizado.	19

2.8.1	Evaluación de riesgos medioambientales	20
2.9	Comparación entre otros tratamientos superficiales.....	23
3.	Procedimiento y descripción de las actividades.	25
3.1	Diseño preliminar del laboratorio.....	25
3.2	Selección y adquisición de equipos.....	26
3.3	Instalación de infraestructura y equipos.	29
3.4	Desarrollo del sistema de automatización	30
3.5	Pruebas piloto del sistema de anodización.	32
3.6	Evaluación de resultados y ajustes técnicos.	34
3.7	Elaboración de manual de operación.....	35
3.8	Capacitación del personal en el uso del laboratorio.	36
4.	Resultados del proyecto.....	38
4.1	Diseño preliminar del laboratorio.....	38
4.2	Selección y adquisición de equipos.....	41
4.3	Instalación de infraestructura y equipos.	43
4.4	Desarrollo del sistema de automatización	47
4.5	Pruebas piloto del sistema de anodización	50
4.6	Evaluación de resultados y ajustes técnicos.	53
4.7	Elaboración de manual de operación.....	56
4.8	Capacitación del personal en el uso del laboratorio	58
5.	Resultados.....	59
6.	Conclusiones y Competencias desarrolladas	62
	Fuentes de información.....	64

Índice de ilustraciones

Ilustración 1	Diferentes colores de anodizado	5
Ilustración 2	Principio básico de anodizado	7

Ilustración 3 Etapas del anodizado	11
Ilustración 4 Anodizado Tipo 1	12
Ilustración 5 Anodizado Tipo 2	12
Ilustración 6 Anodizado Tipo 3	13
Ilustración 7 Anodizado en ácido orgánico	14
Ilustración 8 Anodización en ácido fosfórico	14
Ilustración 9 Diseño de laboratorio de anodizados	38
Ilustración 10 Área de anodizado	40
Ilustración 11 Área del almacén	40
Ilustración 12 Área de sellado	41
Ilustración 13 Diagrama de la rectificadora.....	43
Ilustración 14 Rectificadora física	43
Ilustración 15 Componentes de la rectificadora	44
Ilustración 16 Centro de carga del laboratorio.....	46
Ilustración 17 Conexión básica de proceso de anodización	46
Ilustración 18 Diagrama de control	47
Ilustración 19 Diagrama de lógica de contactos	48
Ilustración 20 Diagrama de potencia	49
Ilustración 21 Pieza sin anodizar	54
Ilustración 22 Anodizado de 44 minutos	55
Ilustración 23 Anodizado de 23 minutos	55
Ilustración 24 Anodizado ideal.....	56

Índice de tablas

Tabla 1 Tabla de RITE ventilación de aire	18
Tabla 2 Comparación entre otros tratamientos	25
Tabla 3 Lista de materiales	42
Tabla 4 Amperaje vs Tiempo.....	53
Tabla 5 Espesor vs Tiempo.....	54
Tabla 6 Beneficio 1 del proyecto	59
Tabla 7 Beneficio 2 del proyecto	60
Tabla 8 Beneficio 3 del proyecto	61
Tabla 9 Beneficio 4 del proyecto	61

Capítulo 1. Introducción

1. Identificación del problema.

1.1 Introducción

En el sector de la manufactura, la calidad, la eficiencia y la capacidad de reacción son elementos cruciales para preservar la competitividad en un mercado mundial cada vez más riguroso. Ejemplos como Soporte Asesoría y Medición para la industria (SAyME), especializadas en la producción de componentes industriales, se topan con retos considerables en sus procesos de producción, en particular en los que requieren tratamientos críticos de la superficie, como lo es el anodizado. Este procedimiento electroquímico es crucial para potenciar la resistencia a la corrosión, el deterioro y el aspecto estético de componentes metálicos, características indispensables para cumplir con los criterios de calidad y durabilidad requerido por los clientes.

En la actualidad, la necesidad de proveedores externos para llevar a cabo el anodizado ha ocasionado numerosos problemas para SAyME, dentro de estos aspectos sobresalen los atrasos en los plazos de producción, los costos elevados vinculados en la subcontratación y la pérdida de control sobre la calidad del producto final. Esta circunstancia no solo pone el riesgo la eficacia en las operaciones, sino que también impacta de manera adversa en la competitividad de la compañía en un contexto donde la agilidad y la adaptabilidad son fundamentales para cumplir con las exigencias del mercado. Además, la ausencia de un laboratorio interno restringe la habilidad para innovar y ajustarse a las demandas particulares de los clientes, al impedir la realización de las pruebas rápidas o prototipos con anodizados a medida. En este escenario, se presenta la necesidad urgente de instalar un laboratorio de anodizado en las instalaciones.

Capítulo 1. Introducción

El propósito principal de este proyecto es disminuir la dependencia de terceros, maximizar los gastos de producción y asegurar un control mas riguroso sobre los criterios de calidad, la puesta en marcha de un laboratorio interno no solo solucionara las dificultades presentes, sino que también generara posibilidades para la automatización del proceso, lo que facilitará la reducción de los fallos humanos, potenciara la eficacia y potenciara la productividad.

1.2 Descripción de la empresa u organización

SAyME (Soporte Asesoría y Medición para la Industria) se especializa en ofrecer servicios de medición dimensional, asesoría técnica, y fabricación de dispositivos para la industria, principalmente en el sector automotriz. Se caracteriza por:

- Misión

Brindar servicios y productos profesionales y específicos que cumplan con los objetivos de sus clientes, mediante soporte técnico, monitoreo y verificación de actividades, destacando el uso de tecnología avanzada y un equipo altamente capacitado.

- Visión

Convertirse en un referente en técnicas de medición dimensional, aportando soluciones de calidad y excelencia que superen las expectativas del cliente, manteniéndose como una empresa competitiva y orientada a la mejora continua.

1.2.1 Descripción del área o puesto del estudiante

El estudiante se desempeña como Practicante en Ingeniería de Proyectos, apoyando en la creación de un laboratorio de anodizados dentro de S AyME. Las actividades principales de desarrollo son:

Capítulo 1. Introducción

- Diseñar planos y diagramas del laboratorio usando diferentes softwares CAD.
- Investigar y seleccionar maquinaria y equipos necesarios para realizar el proceso de anodizado.
- Colaborar en la definición de parámetros del proceso como tiempos, temperaturas y químicos.
- Apoyar en la instalación, pruebas iniciales y puesta en marcha del laboratorio.

1.3 Problemática a resolver

Soporte Asesoría y Medición para la Industria (SAyME) experimenta demoras y costos elevados a causa de la externalización del proceso de anodizado, crucial para incrementar la calidad de sus componentes. La ausencia de un laboratorio interno impacta en la competitividad al incrementar los plazos de producción y los gastos de logística, en particular cuando no existen proveedores cercanos.

Para resolver este inconveniente, se tiene la intención de establecer un laboratorio de anodizado en las instalaciones, esto disminuirá la necesidad de terceros, optimizará los gastos, optimizará los plazos de producción y asegurará un control más riguroso sobre la calidad de los acabados.

1.4 Formulación de objetivos

1.4.1 Objetivo general

Elaborar y poner en marcha un laboratorio automatizado de anodización que mejore la eficiencia, calidad y consistencia de los recubrimientos a través de tecnologías de control y seguimiento en tiempo real, reduciendo los errores humanos y los residuos, asegurando al mismo tiempo un ambiente seguro y sustentable.

Capítulo 1. Introducción

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Implementar un sistema automatizado en el laboratorio de anodización para reducir la intervención humana y optimizar la precisión de la aplicación de recubrimientos mientras se controlan y monitorean los procesos anodización.
- b) Crear un entorno de pruebas para validar la calidad de los recubrimientos anodizados automatizando parámetros importantes del proceso, como la temperatura, el tiempo de inmersión, el voltaje y la concentración de las soluciones, asegurando resultados consistentes y repetibles.
- c) Mostrar a los estudiantes y al personal cómo usar y mantener el sistema automatizado de anodización, creando un entorno de aprendizaje práctico que fomente el uso de tecnologías de automatización industrial para aumentar la productividad y la seguridad en los procesos electroquímicos.

1.5 Justificación

La implementación de un laboratorio de anodizados en Soporte Asesoría y Medición para la Industria (SAyME) es esencial para optimizar sus procesos productivos, dado que actualmente la subcontratación de este servicio genera pérdidas significativas en tiempo y dinero. Al contar con un laboratorio propio, la empresa no solo reducirá costos logísticos y tiempos de entrega, sino que también tendrá un mayor control sobre la calidad de los recubrimientos, mejorando la competitividad. Además, la automatización del proceso permitirá aumentar la eficiencia, minimizar errores y asegurar la consistencia en los acabados, lo que se traducirá en un beneficio económico y productivo a largo plazo.

Capítulo 2. Marco Teórico

2. Marco Teórico.

2.1 Introducción al anodizado

Un ánodo es un electrodo que transmite corriente positiva hacia la superficie del material. Durante el anodizado, el metal se transforma en una capa de óxido, ya sea por efecto del agente oxidante o por efecto de la corriente eléctrica. El método de anodizado más utilizado dentro de la industria del aluminio es el anodizado del tipo II, proceso en el que no se emplean colorantes durante el proceso previo al baño de anodización.

Posteriormente, de la transformación de óxido y con el fin de garantizar al máximo su actuación protectora, la única forma de obtener un buen acabado superficial es sellar este óxido anódico poroso con otro óxido. Hay que destacar la importancia que tiene el cierre de los poros, debido a que el espesor sintético del recubrimiento se engrosa, consiguiendo aportarle gran protección, entre otros beneficios (MachineMFG, 2023).



Ilustración 1 Diferentes colores de anodizado

Este proceso se conoce como anodizado y confiere una protección significativamente mayor que la que poseen los recubrimientos del aluminio puro, como el que forma la superficie del aluminio. Alcanza espesores en los recubrimientos superiores a los 10 μm , correspondientes a recubrimientos clasificados como de uso pesado que, en combinación

con los inmunizadores químicos, son capaces de garantizar una protección anticorrosiva para el aluminio, segura para los años que los define la normativa correspondiente en cada lugar del planeta. Los dos grandes depósitos, desde donde la corriente se desplaza desde los polos, se denominan ánodos y cátodos (Essengold, 2024).

2.2 Definición y principios básicos

El anodizado es un proceso de electrolisis llevado a cabo sobre material metálico, en este caso sobre el aluminio o aleaciones de este como medio de protección o acabado del mismo, creado por el hombre con el fin de mejorar las características naturales de las aleaciones de aluminio. Hay distintos procesos de anodizado en función de las necesidades del material, pero el principio básico de todos es el mismo. Por medio de electrolisis, la capa original del aluminio sufre una oxidación superficial y en ella se produce una consiguiente porosidad que abrirá la puerta a tratamientos posteriores con otros productos químicos (MachineMFG, 2023).

El anodizado es un proceso de aumento artificial del espesor de la capa de aluminio en la superficie del aluminio hasta 10 μ . La característica más importante del anodizado respecto a otros tratamientos es que los 10 μ adicionales no se logran creciendo a partir de la superficie, con lo que se mantienen las dimensiones del elemento intactas, sino que el propio aluminio, bajo la acción de los iones indefinidamente, forma una capa de una sal llamada hidróxido, esta reacción es auxiliada por iones hidrógeno que le dan una carga negativa a la superficie de aluminio para atraer a los iones del electrolito. Posteriormente, el hidróxido reacciona con los iones del electrolito, en este caso el ánodo u óxido de aluminio. Cuando el óxido de aluminio se hidrata, comienza a disolverse. A continuación, se deposita

el oxígeno liberado sobre la superficie del plástico y de esta manera seguir buscando al aluminio (KDM Fabrication, 2022)

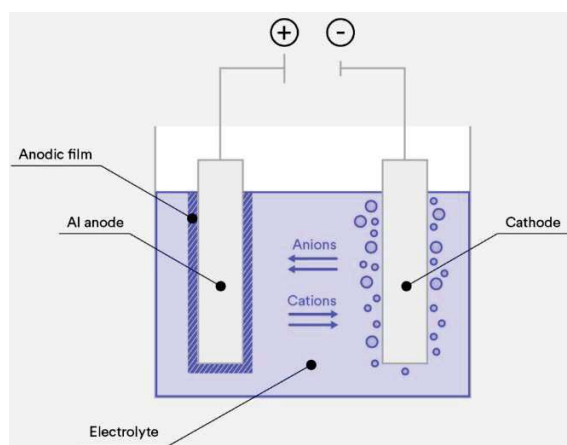


Ilustración 2 Principio básico de anodizado

2.3 Ventajas y Desventajas del Anodizado.

2.3.1 Ventajas

I. Resistencia a la Corrosión:

Una de las principales ventajas del anodizado de aluminio es su excelente resistencia a la corrosión. La capa de óxido formada durante el proceso de anodizado protege el aluminio de la exposición a la intemperie, la humedad y otros agentes corrosivos, lo que prolonga su vida útil (Carpitenría-Aluminio-Alicante, 2024).

II. Durabilidad del Color:

El anodizado de aluminio puede ofrecer una variedad de colores y acabados que son duraderos y resistentes a la decoloración. Esto hace que el aluminio anodizado sea una opción popular para aplicaciones donde se requiere una apariencia estética duradera (MachineMFG, 2023).

III. Resistencia a la Abrasión:

La capa de óxido formada durante el proceso de anodizado también aumenta la resistencia del aluminio a la abrasión y al desgaste superficial. Esto es especialmente útil en aplicaciones donde el aluminio está expuesto a condiciones de alta fricción o desgaste mecánico (KDM Fabrication, 2022).

IV. Conductividad Eléctrica:

Aunque la capa de óxido es no conductora, el proceso de anodizado no afecta significativamente la conductividad eléctrica del aluminio. Esto hace que el aluminio anodizado siga siendo una opción viable para aplicaciones donde se requiere conductividad eléctrica, como en componentes electrónicos o industriales (Carpitenría-Aluminio-Alicante, 2024).

V. Versatilidad:

El anodizado de aluminio es un proceso versátil que puede adaptarse a una variedad de formas y tamaños de piezas, lo que lo hace adecuado para una amplia gama de aplicaciones en diferentes industrias (KDM Fabrication, 2022).

2.3.2 Desventajas

I. Costo:

El proceso de anodizado de aluminio puede ser más costoso en comparación con otros métodos de acabado superficial, como la pintura o el recubrimiento en polvo. Esto se debe a los equipos especializados y los procesos involucrados en el anodizado (Carpitenría-Aluminio-Alicante, 2024).

II. Limitaciones en el Color:

Aunque el anodizado de aluminio ofrece una amplia gama de colores y acabados, las opciones pueden ser limitadas en comparación con otros métodos de acabado superficial. Algunos colores específicos pueden ser difíciles de lograr o requerir procesos adicionales (MachineMFG, 2023).

III. Fragilidad:

Aunque la capa de óxido formada durante el proceso de anodizado aumenta la resistencia del aluminio, también puede hacer que la superficie sea más susceptible a la abrasión y al astillado. Esto puede ser un problema en aplicaciones donde se requiere una alta resistencia al desgaste (Essengold, 2024).

IV. Pretratamiento Requerido:

Antes de someter el aluminio al proceso de anodizado, es necesario realizar un pretratamiento adecuado para limpiar y preparar la superficie. Esto puede agregar tiempo y costos adicionales al proceso de fabricación (KDM Fabrication, 2022).

V. Dificultad para Reparaciones:

Una vez que el aluminio ha sido anodizado, puede ser difícil realizar reparaciones o modificaciones en la superficie sin afectar el acabado. Esto puede ser una consideración importante en aplicaciones donde se espera un mantenimiento regular o cambios en el diseño (MachineMFG, 2023).

2.4 Procesos y Etapas del Anodizado

El anodizado implica cuatro pasos principales, que son la preparación de la superficie, el anodizado, el sellado y el control de calidad (Essengold, 2024).

- I. Preparación de la superficie: Para poder anodizar el aluminio, primero se debe limpiar su superficie para que no haya contaminantes presentes como suciedad, aceite u óxidos. Esto generalmente se hace mediante métodos de limpieza alcalina o grabado ácido. Un sustrato preparado adecuadamente asegurará un espesor uniforme del recubrimiento durante la anodización, así como una unión óptima entre el sustrato y la capa recubierta.
- II. Anodizado: El siguiente paso después de preparar la superficie es sumergir la superficie en una solución electrolítica que normalmente contiene entre un 10 % y un 20 % de ácido sulfúrico a temperaturas entre 20 y 30 °C (68 y 86 °F). Una corriente eléctrica pasa a través de esta solución, lo que hace que los iones de oxígeno reaccionen con el aluminio, formando capas cada vez más espesas de óxido de aluminio encima. Estos voltajes varían desde 12 V hasta aproximadamente 30 V, dependiendo del grosor que desee que tenga la capa anodizada, pero pueden tardar entre media hora y varias horas según la cantidad de micrones de espesor que debería tener (5 a 150 micrones).
- III. Caza de focas: Una vez que terminamos de anodizar, sellamos nuestras superficies para mejorar las propiedades de resistencia a la corrosión mientras protegemos nuestras capas de óxido recién formadas debajo de ellas. Las técnicas comunes utilizadas para el sellado incluyen el sellado con agua caliente, sellos con acetato de níquel, sellos con ácido crómico, etc., que cierran cualquier

poro abierto que quede después del tratamiento, evitando una mayor entrada de materiales extraños en dichos sitios, mejorando así las características de durabilidad asociadas con estos revestimientos protectores.

- IV. Calidad inspección: Por último, contamos con un riguroso proceso de inspección donde se realizan diferentes pruebas, incluidas verificaciones visuales, pruebas de adhesión, estudios de exposición a niebla salina, entre otras, de acuerdo con estándares de la industria como ASTM B488.

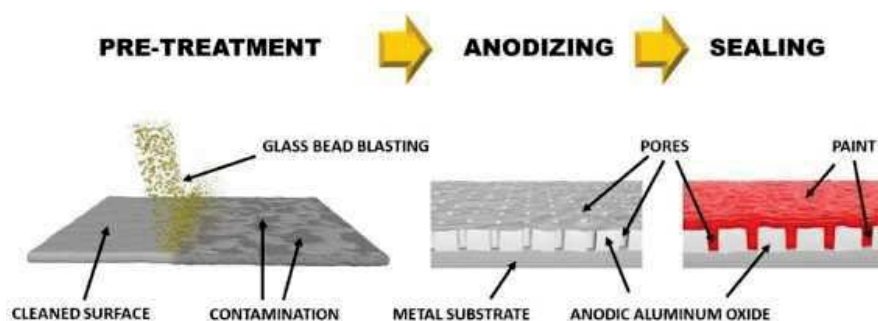


Ilustración 3 Etapas del anodizado

2.5 Tipos de Anodizado

Anodizado Tipo 1 (Con ácido crómico)

Es un proceso electroquímico que regula rápidamente la oxidación de una superficie de aluminio y forma una película delgada de óxido de aluminio. La película final de óxido de aluminio es un material eléctricamente resistente. En comparación con el anodizado Tipo II y Tipo III, el Tipo I genera una película más delgada y produce mayores características de estirado y formación. Para aluminio con más elementos de aleación menores, este es un proceso adecuado. Se utiliza preferentemente para elementos de aluminio críticos para el vuelo, como el tren de aterrizaje, sujeto a grandes esfuerzos (MachineMFG, 2023).



Ilustración 4 Anodizado Tipo 1

Anodizado Tipo 2 (Con ácido sulfúrico)

El anodizado tipo II es un proceso electrolítico en el que la electricidad y una solución electrolítica de ácido sulfúrico afectan la oxidación de la superficie de aluminio para crear una película delgada de óxido de aluminio. El proceso se une metalúrgicamente al convertir la superficie de aluminio en óxido de aluminio. Además, la capa producida por el proceso es porosa y, por lo tanto, se sella para encerrar los poros y minimizar los ataques adicionales al aluminio. A continuación, el elemento se sumerge en agua desmineralizada casi hirviendo para sellar el componente. El tamaño del componente de aluminio crece a medida que se forma la capa anodizada tanto en la superficie superior como en la penetración (Essengold, 2024).



Ilustración 5 Anodizado Tipo 2

Anodizado Tipo 3 (Capa dura)

El anodizado tipo III es un proceso electroquímico que convierte la superficie de un metal simple en un exterior atractivo, duradero y resistente a la corrosión. La capa de óxido es gruesa y rígida, por lo que es adecuada para aplicaciones de ingeniería. Se aplica principalmente en dispositivos militares, utensilios de cocina y equipos eléctricos. El espesor de la capa dura difiere según el tipo de aleación a anodizar. Rangos de 0.0005 a 0.0030" (KDM Fabrication, 2022).



Ilustración 6 Anodizado Tipo 3

Anodización en ácido orgánico

El proceso de pasivación electrolítica transforma la superficie del metal maximizando el espesor de la capa de óxido natural usando ácido orgánico. El proceso puede resultar en un acabado de color integral amarillento sin matriz si se realiza en ácidos débiles con altas densidades de corriente, altos voltajes y refrigeración sólida. El anodizado en algunos ácidos orgánicos puede resultar en una situación suelta, donde la corriente hace que el ácido dañe el metal más de lo normal, lo que genera cicatrices y agujeros grandes. Si el voltaje o la corriente pasan demasiado alto, pueden comenzar las llamas (MachineMFG, 2023).



Ilustración 7 Anodizado en ácido orgánico

Anodización en ácido fosfórico

Es el pretratamiento para la imprimación de unión adhesiva superficial y se aplica principalmente en el sector aeroespacial. El grosor del ánodo oscila entre $0,1\ \mu\text{m}$ y $5,0\ \mu\text{m}$ y se ve como una película borrosa y brillante sobre la superficie del metal. Recuerde, el acabado anodizado no es apto para decoración y su durabilidad es nominal (Carpitenría-Aluminio-Alicante, 2024).



Ilustración 8 Anodización en ácido fosfórico

2.6 Renovaciones de aire según el RITE

La ventilación es uno de los apartados más desprestigiados a la hora de proyectar una edificación. (Certicalia, 2021).

¿Qué significa renovar el aire?

Capítulo 2. Marco Teórico

No solo es importante para el certificado energético. El aire que respiramos en un recinto cerrado (ya sea nuestra vivienda, una oficina, un comercio, etc.), en el que vamos a pasar gran parte de nuestro tiempo a lo largo del día, influye mucho en nuestra calidad de vida y en nuestra salud.

¿Para qué sirve renovar el aire?

Debemos desterrar de una vez por todas esas habitaciones (llamadas italianas) sin ventanas que hay en muchas viviendas no tan antiguas. También debemos desterrar esos sótanos sin ventilación que todavía quedan en muchos edificios.

Los recintos cerrados albergan gran cantidad de contaminantes dañinos para nuestra salud, siendo el principal de ellos el CO₂ que producimos nosotros mismos, pero existiendo también altas concentraciones de otros gases perjudiciales como el radón, el monóxido de carbono, el metano, el óxido de nitrógeno o el azufre.

¿Qué normativa regula la ventilación en edificios?

En edificación, existen dos normativas principales que regulan la ventilación de edificios y locales: el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios) y el HS 3 del Código Técnico de la Edificación. Veamos qué tipo de inmuebles regula cada una de ellas:

HS 3 (Calidad del Aire Interior):

- En los edificios de viviendas, el interior de estas, los almacenes de residuos, los trasteros, los aparcamientos y los garajes.
- En los edificios de cualquier otro uso, los aparcamientos y los garajes.

RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios):

- El resto de los edificios que no se encuentren en el ámbito de aplicación del HS 3, deberán cumplir las exigencias de calidad del aire interior del RITE.

En resumidas cuentas, el HS 3 se aplica en viviendas de todo tipo (unifamiliares, pareadas, edificios comunitarios, etc.) y en aparcamientos y garajes. En edificios de cualquier otro uso y en locales se aplicará el RITE.

2.6.1 Renovación de aire en viviendas

En viviendas de cualquier tipo se aplicará el HS 3 y no el RITE, lo que conlleva no simplemente un cambio normativo, sino la aplicación de unos sistemas de renovación de aire propios.

En general, la aplicación del HS 3 es más sencilla y sus sistemas también lo son, por lo que se pueden considerar también más baratos.

Las condiciones de ventilación de las viviendas consistirán siempre en la admisión del aire desde los locales secos y la extracción del aire desde los locales húmedos, independientemente del sistema que se utilice. Los sistemas de renovación de aire para viviendas que recoge el HS 3 son los siguientes:

Ventilación exclusivamente natural: Es decir, la que se produce exclusivamente abriendo las ventanas. Este sistema no está aceptado por el HS 3 y por tanto no se puede utilizar en viviendas. Sin embargo, conviene saber cómo se calcula la ventilación natural de una vivienda para realizar trámites como el certificado energético.

Ventilación híbrida: Este sistema consiste en la ventilación natural cuando las condiciones de presión y temperatura sean las apropiadas y, cuando no lo sean, en la activación de la ventilación forzada. Por ello, los conductos de extracción de aire, situados

Capítulo 2. Marco Teórico

en las zonas húmedas, han de ser verticales y con una sección mayor que los de ventilación exclusivamente mecánica.

Ventilación híbrida renovación aire:

Ventilación mecánica (solo extracción): Consiste en la extracción exclusivamente mecánica de los recintos húmedos. Pero ¡ojo! La admisión de aire de las zonas secas puede seguir siendo natural, mediante rejillas instaladas en las ventanas o en la fachada. En los sistemas de extracción mecánica las secciones de los tubos de extracción pueden ser menores y pueden hacer quiebros y uniones, por lo que el número de chimeneas en cubierta podrá ser mucho menor.

Admisión y extracción mecánica: Este sistema no es muy habitual en viviendas en nuestro país, debido principalmente a su mayor coste y a su escasa implantación.

Es el sistema recomendado para las Passivhaus o casas pasivas, puesto que las pérdidas de calor por ventilación son casi nulas, debido a que suelen constar de un recuperador de calor que hace que el calor del aire que se extrae pase al aire que entra.

Estos sistemas están recomendados en climas fríos en los que no es aconsejable abrir las ventanas mucho tiempo.

Las renovaciones de aire en locales

En locales y edificios terciarios la normativa que rige en materia de ventilación es el RITE. El RITE establece 4 categorías de calidad del aire interior en función del uso de cada edificio llamadas IDA (Certicalia,2021).

Los tipos de IDA son:

Capítulo 2. Marco Teórico

1: aire de óptima calidad.

2: aire de buena calidad.

3: aire de calidad media.

4: aire de calidad baja.

Un local con uso comercial correspondería a IDA 3 (aire de calidad media).

Existen varios métodos para calcular las renovaciones de aire de un local. En locales comerciales se puede utilizar el método indirecto de caudal de aire exterior por persona.

En la tabla 1 de RITE se establece que para una categoría IDA 3, el caudal de aire exterior necesario sería de 8 dm³/s por persona.

Categoría	dm ³ /s por persona
IDA 1	20
IDA 2	12.5
IDA 3	8
IDA 4	5

Tabla 1 Tabla de RITE ventilación de aire

2.7 Normativas internacionales sobre anodizado

Como se ha mencionado el proceso de anodización del aluminio es un procedimiento electroquímico que optimiza las características superficiales del metal, brindándole una mayor resistencia a la corrosión, longevidad y un mejor acabado. Para asegurar la calidad y homogeneidad de este procedimiento a escala mundial, se han implementado varias regulaciones internacionales que detallan los requerimientos y procedimientos de prueba para los recubrimientos anódicos. Las principales normativas vigentes son:

2.7.1 ISO 7599:2018

La norma “Anodización del aluminio y sus aleaciones – Método para especificar recubrimientos de oxidación anódica decorativos y protectores sobre aluminio”, ISO 7599:2018, proporciona directrices para la producción de recubrimientos anódicos destinados tanto a fines decorativos como de protección. Esta norma abarca aspectos como el espesor del recubrimiento, calidad del sellado, resistencia a la corrosión y propiedades ópticas. Además, establece métodos de ensayo para evaluar estas características, asegurando que los recubrimientos cumplan con los estándares de calidad requeridos (ISO, 2018).

2.7.2 ISO 3210:2017

La norma “Anodización del aluminio y sus aleaciones - Evaluación de la calidad de los recubrimientos anódicos de óxido sellado por medición de la pérdida de peso después de la inmersión en soluciones ácidas”, ISO 3210:2017, establece un método para evaluar la eficacia del sellado de los recubrimientos anódicos. Un sellado adecuado es crucial para mejorar la resistencia a la corrosión del aluminio anodizado. La norma describe un procedimiento que implica la inmersión de muestras en soluciones ácidas y la medición de la pérdida de peso resultante, proporcionando una indicación cuantitativa de la calidad del sellado (ISO, 2017).

2.8 Impacto ambiental del anodizado.

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 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 las plantas mejora la eficiencia de la precipitación de sólidos en algunas plantas de tratamiento de agua servidas. El anodizado no emite componentes orgánicos volátiles COV (los que producen ozono como contaminante ambiental) y no hay metales pesados involucrados en el proceso (Anodizado California, 2025).

2.8.1 Evaluación de riesgos medioambientales

2.8.1.1 Para el aire

Las emisiones atmosféricas generadas en las industrias de anodizado son, en líneas generales, de pequeña entidad. En la mayoría de los casos van a suponer más un problema para la calidad del aire interior de la instalación, que para la calidad del aire exterior a la misma. Entre las emisiones generadas en este tipo de procesos es posible distinguir aquellas generadas en el propio proceso de anodizado y aquellas que se producen en tratamientos previos o posteriores. En las operaciones, que se pueden considerar, propiamente, como parte del proceso de anodizado, es posible identificar las siguientes emisiones:

Emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) en operaciones de desengrase especialmente cuando se utilizan solventes orgánicos halogenados como Tricloroetano, Tricloroetileno, Tetracloroetileno, etc.

- Emisiones de vapores ácidos proveniente, de los baños de desengrasado y anodizado, en las que es posible que se puedan producir nieblas que contengan iones metálicos en disolución.

- Emisiones de hidrógeno en el baño de anodizado, como consecuencia de la electrólisis de la solución, generalmente de pequeña entidad, pero que puede dar lugar a riesgo de explosión o incendio.

En las etapas previas o finales se realizan las operaciones de mecanizado, pulido o lijado de las superficies. Éstas dan lugar a emisiones caracterizadas por contener partículas, fundamentalmente metálicas.

2.8.1.2 Para el agua

La generación de efluentes residuales y su gestión constituye uno de los problemas con mayor relevancia para el medio ambiente de este tipo de actividades. La generación está asociada a la producción y se caracteriza por la existencia de dos tipos de efluentes residuales bien diferenciados.

Por un lado, se producen efluentes de manera continua, como consecuencia de los enjuagues que se alternan entre los distintos baños. Éstos se caracterizan por presentar bajas concentraciones de contaminantes y un gran volumen de generación. Esto se debe a que la carga contaminante depende de los arrastres que provocan las piezas al salir de los baños concentrados. Las principales sustancias contaminantes, incorporadas en estos efluentes, son mayoritariamente metales, restos ácidos o básicos, grasas, aceites y compuestos químicos como detergentes, surfactantes y otros productos de limpieza.

Adicionalmente, se producen otros efluentes residuales de manera periódica, debido a que los baños han de ser reformulados, cuando no pueden seguir cumpliendo su función. En algunos casos esta operación exige que sean desechados totalmente. Los efluentes

Capítulo 2. Marco Teórico

asociados a la sustitución de los baños se caracterizan por su pequeño volumen, si se compara con las aguas de enjuague y su elevada carga contaminante.

Los contaminantes presentes en este tipo de corrientes residuales están relacionados con el tipo de proceso, de manera general estos contendrán metales como, cromo, manganeso, zinc, hierro, cadmio, cobre, estaño, aluminio, aceites, grasas, y compuestos químicos utilizados como agentes de limpieza, entre los que se encuentran; desengrasantes (en algunos casos disolventes orgánicos halogenados) y detergentes.

Adicionalmente, debido a la utilización de diversos aditivos químicos, en menor cantidad, es posible la presencia de boratos, oxalatos, fluoruros, acetatos de níquel y cobalto, amonio, fósforo y tintes orgánicos.

Los riesgos ambientales más significativos están asociados a la necesidad de disponer sistemas de tratamiento adecuados y a limitar las posibles fugas, de carácter accidental o infiltraciones de la red de recogida y transporte de efluentes. Otros riesgos ambientales de menor entidad pueden generarse como consecuencia de efluentes de menor relevancia, entre los que se encuentran, los efluentes de tratamientos de gases por vía húmeda, los vertidos de las purgas de los circuitos de refrigeración, los efluentes residuales generados en la regeneración de resinas, los vertidos de las aguas sanitarias, y los arrastres de las aguas de lluvia de materiales almacenados en el exterior de la instalación en condiciones no adecuadas.

2.8.1.3 Para el suelo

La posibilidad de manipulación y uso de diversas sustancias químicas como metales pesados, disolventes orgánicos halogenados, disolventes orgánicos no halogenados, ácidos

Capítulo 2. Marco Teórico

y bases, las cuales tienen un potencial de causar daños graves al suelo en el caso de su liberación incontrolada, da lugar a la generación de múltiples riesgos para el medio ambiente.

La emisión de estas sustancias de manera continua e incontrolada puede deteriorar gravemente el suelo y en el caso de situaciones persistentes es posible que pueda llegar a afectar acuíferos presentes en la zona.

2.9 Comparación entre otros tratamientos superficiales.

Aspectos clave	Anodizado	Galvanizado	Recubrimientos en polvo	Pintura
Protección y resistencia	Forma una capa de óxido de aluminio extremadamente dura y resistente a la corrosión. Ideal para ambientes corrosivos o donde se requiere resistencia al desgaste. Excelente resistencia química, especialmente a ácidos y álcalis débiles.	Deposita una capa de zinc para proteger contra la corrosión, especialmente en acero. Muy efectivo en ambientes exteriores y marinos. Menos resistente al desgaste mecánico que el anodizado.	Proporcionan una capa protectora sobre el metal, que puede ser resistente a la corrosión y al impacto. La resistencia depende del espesor y tipo de recubrimiento.	Ofrece una protección básica contra la corrosión, pero suele ser menos duradera. Es susceptible a rayones, impactos y exposición a químicos.

Capítulo 2. Marco Teórico

Durabilidad	Alta durabilidad; la capa está integrada en el material base, lo que la hace más difícil de dañar. No se descascara ni se despega como los recubrimientos.	Duradero en condiciones normales, pero puede deteriorarse con rayaduras profundas o exposición prolongada a ambientes agresivos.	Buena resistencia al desgaste y la intemperie, pero pueden agrietarse o descascararse con el tiempo.	Menor durabilidad; requiere mantenimiento frecuente, especialmente en exteriores.
Estética y acabados	Disponible en acabados mate, brillantes y colores decorativos. Mantiene una apariencia metálica premium.	Generalmente tiene un acabado opaco y grisáceo que no es estético. No es ideal para aplicaciones decorativas.	Ofrecen una amplia variedad de colores y texturas. Acabados más gruesos que pueden ocultar detalles finos.	Gran variedad de colores y efectos decorativos. Puede ofrecer acabados brillantes, mate o satinados.
Costos	Costo moderado; ideal para piezas de aluminio. Relación costo-beneficio favorable para productos donde se requieren alta resistencia y durabilidad.	Relativamente económico, especialmente para grandes estructuras de acero.	Costo variable según el tipo de material y acabado. Más económico que el anodizado en piezas grandes.	Generalmente el método más económico, pero con mayores costos de mantenimiento a largo plazo.

Capítulo 2. Marco Teórico

Aplicaciones	Productos de aluminio como componentes aeronáuticos, electrónicos, automotrices y arquitectónicos. Áreas donde la resistencia al desgaste y la estética son importantes.	Estructuras de acero como barandales, puentes, postes y maquinaria agrícola.	Electrodomésticos, muebles metálicos, piezas automotrices y equipos deportivos.	Aplicaciones decorativas y de bajo costo en mobiliario, maquinaria y estructuras no expuestas a condiciones severas.
--------------	--	---	--	---

Tabla 2 Comparación entre otros tratamientos

Capítulo 3. Procedimiento y descripción de las actividades

3. Procedimiento y descripción de las actividades.

3.1 Diseño preliminar del laboratorio

Procedimiento:

- Se recolecto la información técnica sobre las piezas a anodizar, como dimensiones, cantidades y procesos específicos requeridas.
- Se midió y analizo el área destinada para el laboratorio dentro de las instalaciones, considerando las dimensiones (largo, ancho y alto), así como sus posibles restricciones arquitectónicas.
- Así mismo se verificaron las normas de seguridad industrial, medioambientales y eléctricas aplicables para el diseño.
- Una vez teniendo el área destinada para el laboratorio, se determinaron las ubicaciones ideales para el rectificador, las tinas de proceso, el sistema de ventilación, el área de almacenamiento de químicos y el sistema de automatización.
- Se elaboro el diseño previamente analizado en una herramienta como AutoCAD para visualizar la distribución del laboratorio.

Descripción:

Se llevó a cabo una planificación inicial del laboratorio de anodizados, teniendo en cuenta la organización del espacio disponible. En este diseño, se examinaron las propiedades físicas del espacio, tales como dimensiones, accesos, ventilación y localización de servicios, con el objetivo de asegurar una eficaz disposición de las zonas laborales y equipos. Además, se analizaron las oportunidades del espacio para mejorar el flujo de

Capítulo 3. Procedimiento y descripción de las actividades

trabajo y evitar problemas operativos, como la sobrecarga de zonas o interrupciones entre procesos. Este método posibilitó la creación de un laboratorio operativo, seguro y ajustado a las circunstancias reales.

3.2 Selección y adquisición de equipos.

Procedimiento:

- Se estableció el proceso de anodizado, que en este caso en específico se requiere el tipo de anodizado decorativo.
- Se determinó las especificaciones técnicas necesarias para los equipos principales (rectificador, tinas de anodizado, sistemas de extracción, etc), como capacidad, dimensiones y rangos de operación.
- Se evaluaron los requisitos para la automatización del laboratorio, como controladores lógicos programables, motores, sensores y software de monitoreo.
- Se identificaron proveedores confiables de equipos para el proceso, tanto a nivel nacional como internacional, así mismo se identificaron marcas y modelos que cumplan con las especificaciones requeridas, comparando costos, tiempos de entrega y soporte técnico.
- Se solicitaron cotizaciones detalladas a los proveedores seleccionados, incluyendo costos, garantías y servicios postventa.
- Se presentaron las opciones seleccionadas al equipo técnico para verificar su viabilidad y compatibilidad con el diseño establecido para el laboratorio.
- Se inspeccionaron los equipos al momento de la entrega para confirmar que cumplen con las especificaciones técnicas y que no presentan daños, como así

Capítulo 3. Procedimiento y descripción de las actividades

mismo se realizaron pruebas básicas para garantizar que los equipos funcionan de forma correcta antes de proceder a su instalación.

- Se validó con el supervisor del proyecto que los equipos adquiridos cumplen con las expectativas y requisitos del laboratorio.

Descripción:

En el procedimiento de selección y compra, se valoraron y adquirieron los siguientes equipos fundamentales para el laboratorio de anodización:

- Tanques de Proceso: Se escogieron recipientes hechos de materiales que resistan los compuestos químicos empleados, tales como ácido sulfúrico y soluciones de sellado. Los tanques se adquirieron conforme al tamaño de los componentes y a la capacidad del laboratorio.
- Fuente de poder (Rectificador): Se estableció la adquisición de una fuente de energía capaz de proporcionar corriente continua (DC) regulable en voltaje (12-20 V) y amperaje (hasta 500 A), lo que resulta crucial para el control exacto del proceso de anodización.
- Sistemas de Rotación y Calefacción: Se compraron bombas de recirculación para preservar la uniformidad del electrolito y sistemas de refrigeración para regular la temperatura del baño en el intervalo apropiado (15-25 °C), lo cual es vital para conseguir resultados uniformes.
- Sistema de Ventilación: Se seleccionaron extractores industriales de alta capacidad para asegurar la renovación del aire en el laboratorio de al menos $(311.7 \frac{m^3}{h})$, expulsando los vapores ácidos y los gases producidos durante el

Capítulo 3. Procedimiento y descripción de las actividades

proceso de anodización. Se tomaron en cuenta modelos como extractores axiales de gran potencia, accesibles mediante proveedores locales.

- Instrumentos de Medición: Se compraron dispositivos de medición del pH, termómetros, conductímetros y medidores de espesor para garantizar un control constante del proceso y asegurar que las condiciones sean ideales para el anodizado.
- Consumibles: Se adquirieron ácido sulfúrico, desengrasantes, tintes y soluciones de sellado de excelente calidad, escogidos en función de las características del procedimiento y la resistencia a largo plazo.
- Equipos de Seguridad y Protección (EPP): Se compraron guantes, lentes, mascarillas con filtros químicos y delantales, junto con sistemas de control de derrames, con el fin de asegurar la protección de los empleados durante el procedimiento.
- Sistemas de Automatización (en desarrollo): Todavía se están desarrollando e incorporando sistemas de automatización que facilitarán la optimización de las operaciones del laboratorio. Estos sistemas contarán con:
 - Regulación automática de la temperatura y el pH: Para preservar las condiciones estables sin necesidad de intervención humana.
 - Sistemas de monitoreo en tiempo real: Que facilitarán la regulación de parámetros como el voltaje y el amperaje durante el proceso de anodizado, incrementando la exactitud y minimizando las equivocaciones humanas.

Capítulo 3. Procedimiento y descripción de las actividades

- Robótica y sistemas de transporte automático: Para gestionar las piezas en el laboratorio, disminuyendo la posibilidad de perjuicios y potenciando la eficiencia en las operaciones.

3.3 Instalación de infraestructura y equipos.

Procedimiento:

- Se analizaron los planos y el diseño preliminar del laboratorio para definir las ubicaciones exactas de los equipos.
- Se verifico que el espacio destinado del laboratorio estuviera limpio y libre de obstrucciones, así como también se aseguro de que todas las preparaciones preliminares como conexiones eléctricas, agua y sistemas de ventilación estén listas.
- Se instalo el cableado eléctrico, asegurándonos de utilizar el calibre y protecciones térmicas adecuadas para cada equipo, especialmente para el rectificador.
- Se colocaron los extractores de aire y conductos en las áreas destinadas, garantizando que cumplan con los caudales necesarios para la evacuación de los vapores y gases.
- Se conecto el rectificador en su ubicación designada, asegurando su conexión al sistema eléctrico según las especificaciones técnicas y el diagrama del laboratorio.
- Se colocaron las tinas en su posición designad, considerando distancias de seguridad y acceso fácil para la operación y el mantenimiento.

Descripción:

En esta actividad se realizó la instalación de los componentes esenciales para llevar a cabo el proceso de anodización. Se colocaron las tinas, acompañados de los muebles necesarios de acuerdo con la propuesta de diseño del laboratorio. Igualmente, se llevó a cabo la instalación del rectificador, un componente esencial para proporcionar la corriente requerida en el proceso de anodizado.

Además, se creó un esquema de conexiones eléctricas para asegurar que la instalación del rectificador satisface las exigencias técnicas y reglamentarias. Esto implicó el reconocimiento de puntos de enlace, resguardos eléctricos y trayectos de cableado para mejorar la seguridad y el rendimiento del sistema eléctrico.

3.4 Desarrollo del sistema de automatización

Procedimiento:

- Se definieron los procesos específicos a automatizar, como el control de inmersión de las piezas en las tinas, el tiempo de exposición y el movimiento del motor.
- Se diseñó el diagrama eléctrico en el cual se detalla cómo está conectado el motor, el PLC y los interruptores de seguridad.
- Se analizó un PLC que ofreciera la capacidad y flexibilidad necesarias para programar y ajustar el sistema según los requisitos del proceso.
- Se desarrolló el código que controlara el sistema en el cual se especificó, los tiempos de inmersión ajustables, los movimientos precisos del motor (ascenso y descenso de las piezas), así como las condiciones anómalas (tiempos excedidos, fallas de posición).

Capítulo 3. Procedimiento y descripción de las actividades

- Se monto el motor y el sistema de automatización en el lugar designado, asegurándonos de que estuvieran alineados correctamente con las tinas.
- Se opero el sistema de automatización sin piezas reales para evaluar el funcionamiento del motor, el tiempo de respuesta y la sincronización de los movimientos.
- Se introdujeron piezas reales, para monitorear la precisión de los tiempos de inmersión, así como el funcionamiento del sistema en condiciones normales.
- Se hicieron las correcciones necesarias durante las pruebas, como desajustes en los tiempos o movimientos irregulares.

Descripción:

Se formuló una propuesta para automatizar el proceso de anodizado, con el objetivo de incrementar la exactitud y repetitividad en la manipulación de las piezas. Esta propuesta contempla el diseño y puesta en marcha de un sistema motorizado controlado por un PLC, cuyo objetivo principal es regular el movimiento ascendente y descendente de los componentes en el tanque de anodizado en periodos de tiempo establecidos.

Se eligió al PLC como componente esencial por su habilidad para administrar procesos con gran exactitud temporal y adaptarse con facilidad a cambios en los parámetros operativos, como el tiempo de inmersión. Es vital para mejorar la calidad del anodizado, dado que posibilita modificar los tiempos de acuerdo con la evaluación constante del desempeño del proceso.

Capítulo 3. Procedimiento y descripción de las actividades

3.5 Pruebas piloto del sistema de anodización.

Procedimiento:

- Se verifico que todos los componentes del laboratorio, incluyendo equipos, infraestructura, estén instalados y en pleno funcionamiento.
- Se establecieron los valores iniciales de las variables del proceso (como voltaje, corriente, tiempo de inmersión y concentración de las soluciones químicas) basándose en las especificaciones técnicas y de las recomendaciones de diseño.
- Se escogieron piezas representativas de los materiales y tamaños que serán tratados regularmente en el laboratorio para realizar pruebas.
- Se prepararon las tinas de anodizado con las concentraciones exactas de ácido sulfúrico, agua desionizada y otros adictivos necesarios, según las proporciones calculadas.
- Se ajusto el rectificador para asegurar que operen dentro de los parámetros establecidos.
- Se verifico que los sistemas de ventilación, protección térmica y monitoreo de corriente estén operando y cumplas con las normativas previamente vistas.
- Para la realización de las pruebas se opero el sistema sin piezas reales para evaluar la estabilidad del rectificador y la consistencia de las soluciones químicas.
- Se registraron los valores de corriente, tiempo de inmersión y cualquier variación observada durante el proceso.
- Se verifico el acabado superficial de las piezas anodizadas buscando uniformidad, ausencia de defectos y calidad de color.

Capítulo 3. Procedimiento y descripción de las actividades

- Se utilizó un medidor de espesor para determinar si la capa de óxido cumple con las especificaciones técnicas requeridas.

Descripción:

Se realizaron pruebas preliminares del sistema de anodización con componentes reales para confirmar su funcionamiento adecuado y valorar la observancia de los parámetros fijados para el procedimiento. Estas pruebas implicaron la inmersión de componentes en los distintos tanques (lavo, anodizado y sellado), siguiendo el procedimiento previamente establecido y empleando los tiempos y temperaturas ideales establecidos en fases anteriores.

En la actividad, se emplearon las configuraciones establecidas en el sistema de automatización, que incluyen la regulación de los tiempos de inmersión mediante el PLC y el movimiento del motor que controla la entrada y salida de los componentes en cada fase del procedimiento.

Aspectos evaluados:

- **Parámetros del Proceso:** Se comprobaron factores fundamentales como la temperatura, el nivel de las soluciones químicas y la corriente utilizada durante el proceso de anodización.
- **Calidad del Anodizado:** Se realizaron revisiones a las piezas para verificar la uniformidad en el acabado, la adherencia del anodizado y el cumplimiento de los criterios de calidad previstos.

Capítulo 3. Procedimiento y descripción de las actividades

3.6 Evaluación de resultados y ajustes técnicos.

Procedimiento:

- Se reunieron todos los datos obtenidos durante las pruebas piloto, incluyendo (parámetros eléctricos, espesor de la capa de anodizado y calidad superficial).
- Se crearon graficas para visualizar las relaciones entre parámetros clave, como Amperaje vs Tiempo y Espesor vs Tiempo.
- Se evaluaron las piezas visualmente para identificar defectos, irregularidades o inconsistencias.
- Se verifico si el equipo eléctrico opera dentro de os rangos esperados de corriente y voltaje.
- Se modificaron los valores de voltaje, corriente y tiempo en el rectificador para optimizar los resultados según los datos analizados.
- Se realizaron inspecciones y mantenimiento en los equipos para garantizar su funcionamiento óptimo.
- Se implementaron los ajustes realizados y repetir las pruebas piloto para validar que las mejoras solucionan las desviaciones detectadas.
- Se evaluaron si los nuevos resultados cumplen o superan las especificaciones técnicas previamente definidas.
- Se registraron todos los ajustes realizados.

Descripción:

Se realizó una evaluación de los resultados obtenidos en el proceso de anodización, midiendo y analizando los parámetros eléctricos (amperaje y tiempo) en relación con el

Capítulo 3. Procedimiento y descripción de las actividades

espesor del recubrimiento obtenido. Esta actividad tuvo como objetivo ajustar los parámetros del sistema para optimizar la calidad del recubrimiento, asegurando uniformidad y cumpliendo con los estándares requeridos.

Durante las pruebas, se registraron las variaciones de amperaje con respecto al tiempo y se midió el espesor del recubrimiento en distintas condiciones de operación. Los datos obtenidos se representaron en gráficas para identificar tendencias y tomar decisiones sobre los ajustes técnicos necesarios.

3.7 Elaboración de manual de operación.

Procedimiento:

- Se estableció el propósito por el cual se elabora el manual, el cual es guiar a los operadores en el uso seguro, eficiente y adecuado de los equipos e infraestructura del laboratorio.
- Se determinaron las secciones del manual.
- Se realizó una revisión física del laboratorio y sus componentes.
- El manual se dividió en secciones claras y lógicas, por el cual se adaptó el contenido para que sea comprensible para los operadores.
- Se verificó que la información contenida sea precisa y corresponda a las condiciones reales del laboratorio.
- Se aseguró de que el contenido cumpla con los estándares y expectativas operativas.
- Se utilizó el manual en simulaciones operativas para confirmar su eficacia.

Capítulo 3. Procedimiento y descripción de las actividades

- Se validó la versión final del manual con los supervisores y responsables del laboratorio.

Descripción:

Se está realizando la creación de un manual completo para el manejo y funcionamiento del laboratorio de anodización. El propósito de este documento es ofrecer una orientación exhaustiva para asegurar una correcta utilización de los equipos, las soluciones químicas y los procedimientos, garantizando que los usuarios puedan alcanzar resultados óptimos y consistentes.

El manual se está realizando para ser práctico y entendible, estructurado de tal forma que facilite a los operadores seguir un camino claro desde la preparación inicial hasta la conservación del laboratorio. Además, se proporciona información orientativa para la resolución de problemas y la observancia de medidas de seguridad.

3.8 Capacitación del personal en el uso del laboratorio.

Procedimiento:

- Se aseguro el correcto uso de los equipos y herramientas, para maximizar la eficiencia operativa.
- Se estableció el contenido, la duración y el formato (teórico, práctico o mixto).
- Se desarrollo el programa de capacitación, en el cual se incluyeron los temas:
 - ✓ Introducción al laboratorio
 - ✓ Procedimientos de seguridad y normativas
 - ✓ Uso y manejo de equipos principales.
 - ✓ Preparación de soluciones químicas y control de parámetros.

Capítulo 3. Procedimiento y descripción de las actividades

- Se mostro el uso correcto de los equipos en el laboratorio.
- Se realizo simulaciones controladas para practicar los procedimientos de anodización.
- Se permitió que los participantes operen los equipos bajo supervisión.

Descripción:

Se ha programado la formación del equipo responsable del laboratorio de anodizado con la finalidad de asegurar un uso seguro y eficaz de los equipos y procesos. Esta tarea se realizará después de que el manual de usuario haya sido totalmente finalizado y haya sido comprobado y aprobado por los supervisores encargados del procedimiento.

La formación contemplará sesiones teóricas y prácticas diseñadas para que los operadores entiendan en profundidad cada fase del proceso de anodización, la utilización correcta de los equipos y la puesta en marcha de las medidas de seguridad fijadas. Además, se aspirará a que el personal obtenga las competencias requeridas para detectar y solucionar problemas habituales durante el procedimiento.

Capítulo 4. Resultados del proyecto

4. Resultados del proyecto.

4.1 Diseño preliminar del laboratorio

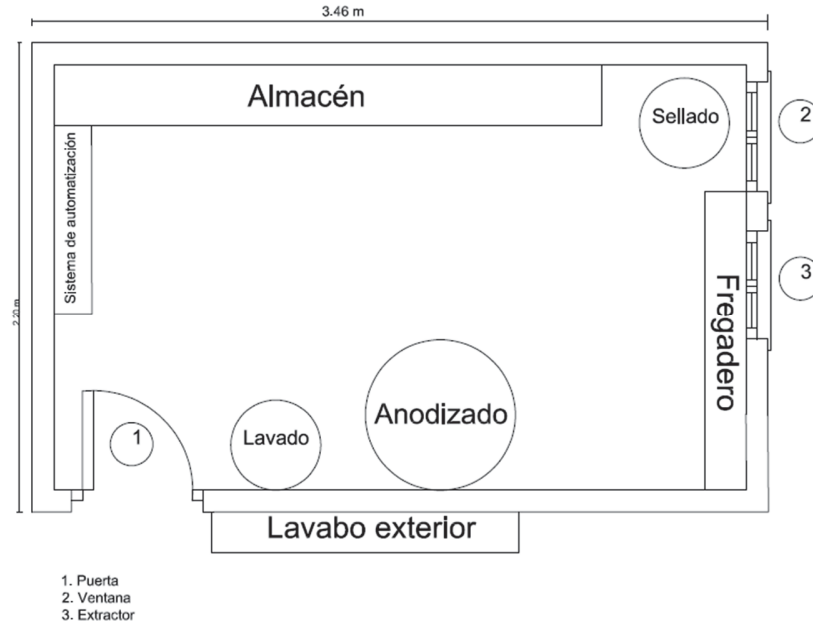


Ilustración 9 Diseño de laboratorio de anodizados

En esta disposición del espacio se tomó en cuenta un tema importante para la seguridad de las personas que trabajan en el taller, que fue calcular el desplazamiento del aire para determinar un extractor apropiado, en el cual se hicieron algunos cálculos

- Volumen del espacio:

Tomando en cuenta las dimensiones del taller las cuales son: 346 cm x 220 cm x 273 cm.

El volumen del espacio es:

$$\text{Volumen} = \text{Largo} \times \text{Ancho} \times \text{Altura}$$

$$\text{Volumen} = 3.46\text{m} \times 2.2\text{m} \times 2.73\text{m}$$

Capítulo 4. Resultados del proyecto

$$Volumen = 20.78 \text{ m}^3$$

- Determinar las renovaciones de aire requeridas:

La cantidad de renovaciones de aire por hora depende del tipo de espacio (RITE,2023). Para un taller o laboratorio con químicos se requieren de 10 a 15 renovaciones por hora.

Para un laboratorio de anodizados se necesitan 15 renovaciones/hora.

$$\text{Flujo de aire requerido} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = \text{Volumen} \times \text{Renovaciones/hora}$$

$$\text{Flujo de aire requerido} = 20.78 \text{ m}^3 \times 15$$

$$\text{Flujo de aire requerido} = 311.7 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

Con el flujo de aire requerido de $311.7 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$ se debe de manejar un extractor de al menos ese flujo calculado más un 20% extra considerando perdidas por ductos y aumento de temperatura.

A continuación, se muestra la disposición final de los componentes en el laboratorio:

Capítulo 4. Resultados del proyecto



Área de almacén de agua
destilada, agua desionizada y
biolumin

Área de almacén de
herramientas como
termómetros, medidor de
espesores y trapos

Área de almacén de ácido
sulfúrico

Ilustración 10 Área del almacén



Campana con extractor de
aire.

Centro de carga

Tina de anodizado

Ilustración 11 Área de anodizado

Capítulo 4. Resultados del proyecto



Ilustración 12 Área de sellado

4.2 Selección y adquisición de equipos.

La compra de equipos progresó conforme a lo previsto, no obstante, la definición definitiva de los sistemas de automatización aún está en marcha, dado que se necesitan modificaciones extra para ajustarlos a las demandas particulares del laboratorio.

Lista de materiales		
Materiales	Existencia en almacén	Compra
Tanques de procesos.	4	NO
Rectificador	1	NO

Capítulo 4. Resultados del proyecto

Extractores	2	NO
Medidor de pH	1	NO
Micrómetros	1	NO
Ácido sulfúrico	1	NO
Desengrasante	1	NO
Soluciones de sellado	1	NO
Tintes	1	NO
Guantes	1	NO
Lentes de seguridad	1	NO
Mascarillas con filtros químicos	1	NO
PLC (Sistema de automatización)	0	SI
Motor (Sistema de automatización)	0	SI
Disyuntor de 3 fases (Sistema de automatización)	0	SI
Cadena (Sistema de automatización)	0	SI
Sensor electrodo para medidor de pH	0	SI
Relevador térmico (Sistema de automatización)	0	SI
2 Botones (Sistema de automatización)	0	SI
1 Luz piloto (Sistema de automatización)	0	SI
2 Contactores (Sistema de automatización)	0	SI

Tabla 3 Lista de materiales

Capítulo 4. Resultados del proyecto

4.3 Instalación de infraestructura y equipos.

Esta etapa permitió establecer la infraestructura básica del laboratorio, asegurando que los equipos principales estén listos para las pruebas iniciales del proceso de anodizado. Al igual de poder realizar un diagrama de las conexiones del rectificador, así como los cálculos del cable y protección eléctricas que se deben ocupar de acuerdo con las especificaciones de este, ya que sus especificaciones de consumo son: 220volts, 10 kW.

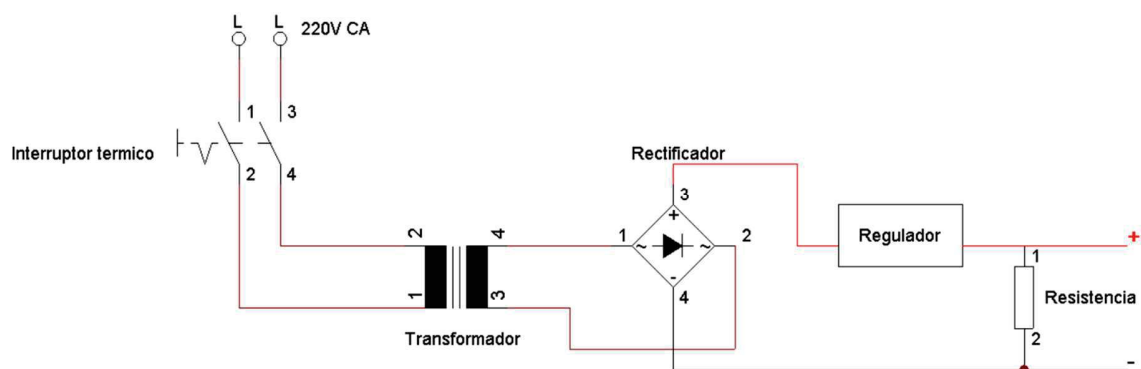


Ilustración 13 Diagrama de la rectificadora



Ilustración 14 Rectificadora física

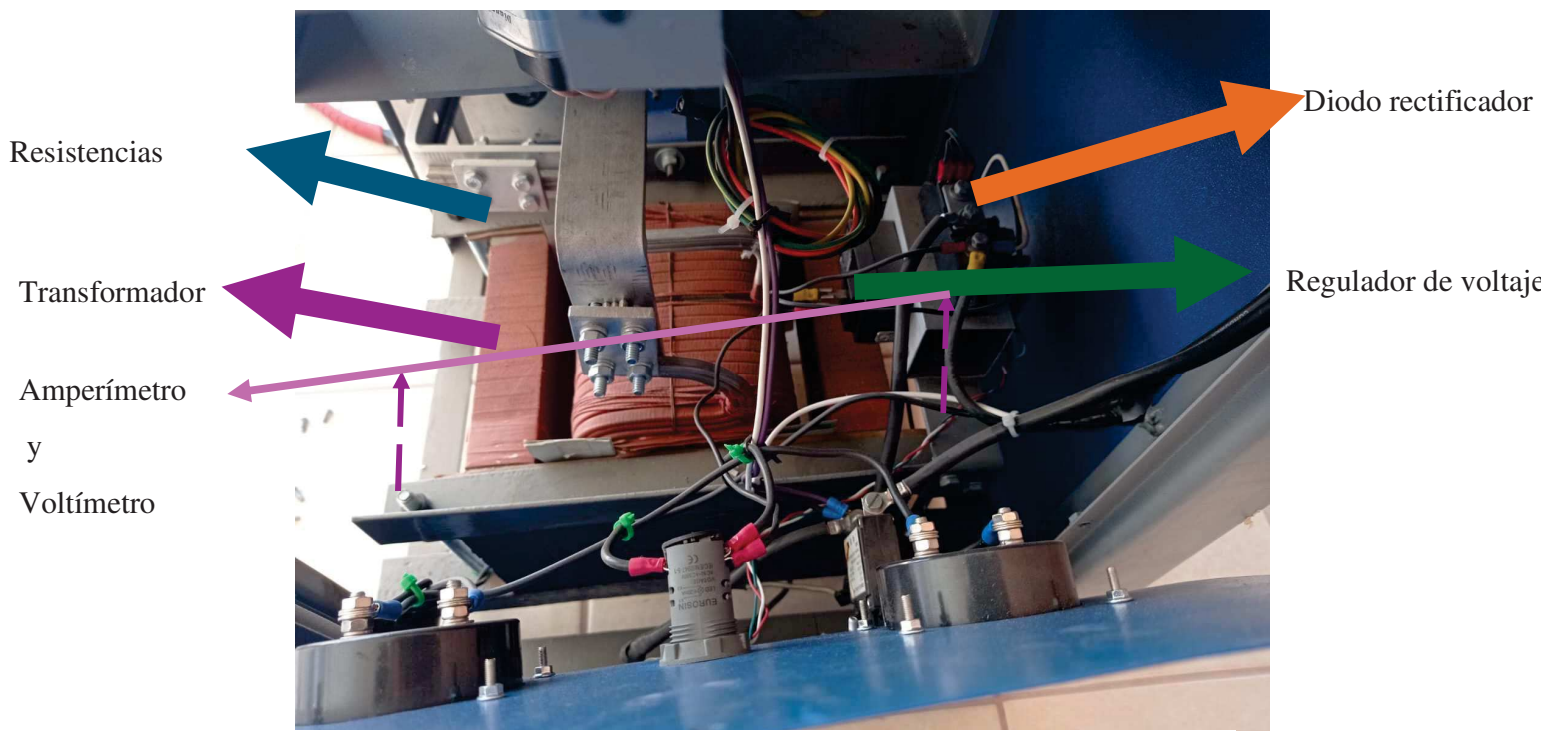


Ilustración 15 Componentes de la rectificadora

- Calculo para determinar el calibre del cable y el tamaño de la protección térmica
- Como solo disponemos de la potencia en kW, la corriente nominal (I) se puede calcular como:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \eta}$$

Donde:

P : Potencia en kW

V : Voltaje (220v)

η : Para un rectificador industrial es la eficiencia del sistema es típicamente de 0.85-0.95

$$I = \frac{10}{\sqrt{3} * 220 * 0.9}$$

Capítulo 4. Resultados del proyecto

$$I = 29.1 A$$

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, el calibre del cable depende de la corriente y la temperatura máxima del aislamiento. Para instalaciones comunes (35 °C ambiente, cable THW o THHN), los valores típicos son:

- ❖ Para 30 A: Calibre 10 AWG.
- ❖ Para 40 A: Calibre 8 AWG.
- ❖ Para 50 A: Calibre 6 AWG

Dado que la corriente nominal calculada es 29.1A, se selecciona un cable de 10AWG para circuitos monofásicos a 220v.

Para el cálculo de la protección térmica, esta debe cubrir la corriente nominal del equipo, ajustándose a un 125% de esta corriente para proteger contra sobrecargas según la NOM-001-SEDE-2012. El cual sería:

$$I_{proteccion} = 1.25 * I$$

$$I_{proteccion} = 1.25 * 29.1A$$

$$I_{proteccion} = 36.4A$$

La selección del interruptor sería uno de 40A

Resumen para hacer la instalación eléctrica de un rectificador de (10 kW, 220 V):

- Corriente nominal: 29.1 A.
- Calibre del cable: 10 AWG (THHN/THW).
- Interruptor térmico: 40 A.

Capítulo 4. Resultados del proyecto



Ilustración 16 Centro de carga del laboratorio

Circuito de conexión del laboratorio de anodizados:

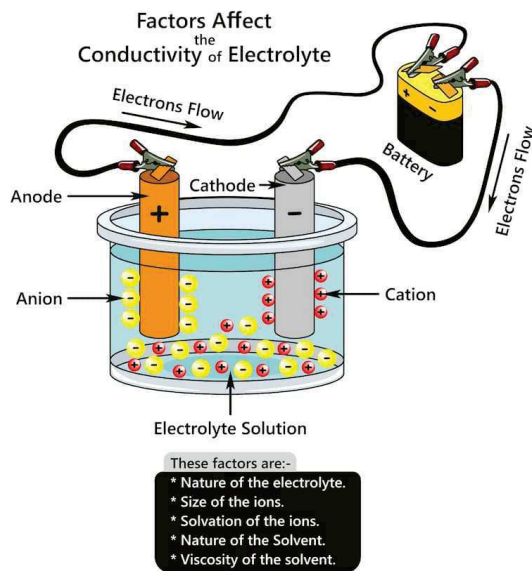


Ilustración 17 Conexión básica de proceso de anodización

Capítulo 4. Resultados del proyecto

4.4 Desarrollo del sistema de automatización

La propuesta de automatización constituye un progreso importante en la actualización del laboratorio de anodizado, dado que mejora la gestión de piezas, reduce fallos y posibilita un estudio constante del proceso. El sistema sugerido también establece los cimientos para futuras mejoras, como la incorporación de sensores y la gestión a distancia del procedimiento.

A continuación, se muestran los diagramas que conlleva dicho sistema de automatización.

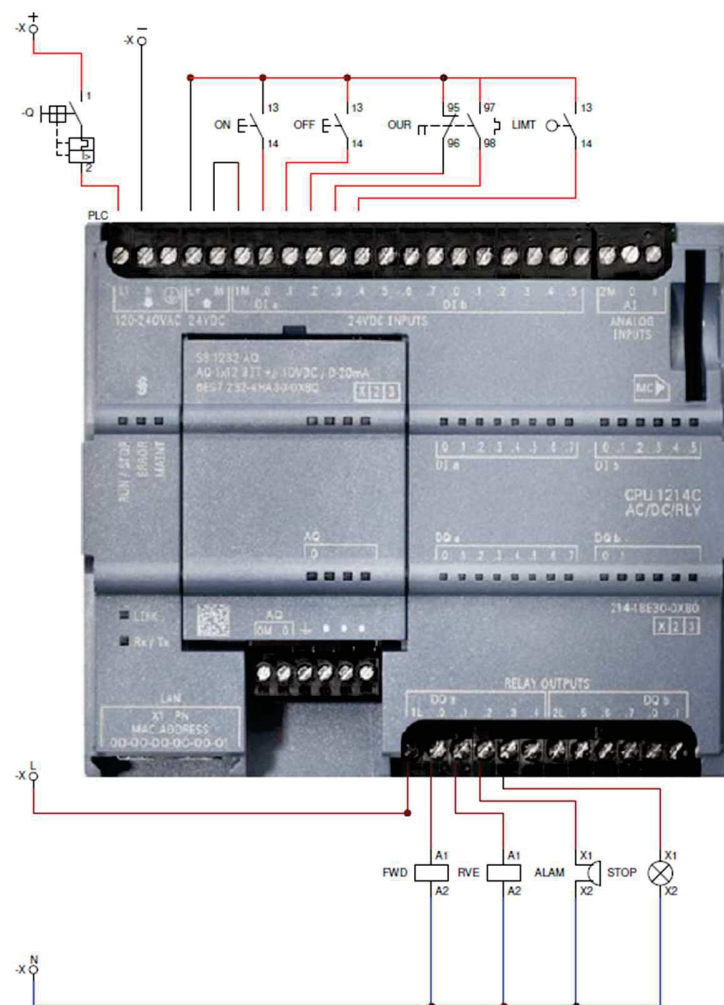


Ilustración 18 Diagrama de control

Capítulo 4. Resultados del proyecto

Funcionamiento:

- El PLC controla de manera precisa los intervalos de inmersión, teniendo en cuenta los distintos tiempos necesarios para la anodización. En el cual solo se ocupan dos botones el cual es para iniciar el proceso de inmersión de la pieza en la tina y un botón de paro en dado caso de que exista un problema externamente.
- En dado caso de que exista un problema externo (por ejemplo, que se sobre esforzó el motor), se avisara al operador mediante el uso de una indicación sonora (alarma) y el uso de una indicación visual (Luz piloto).

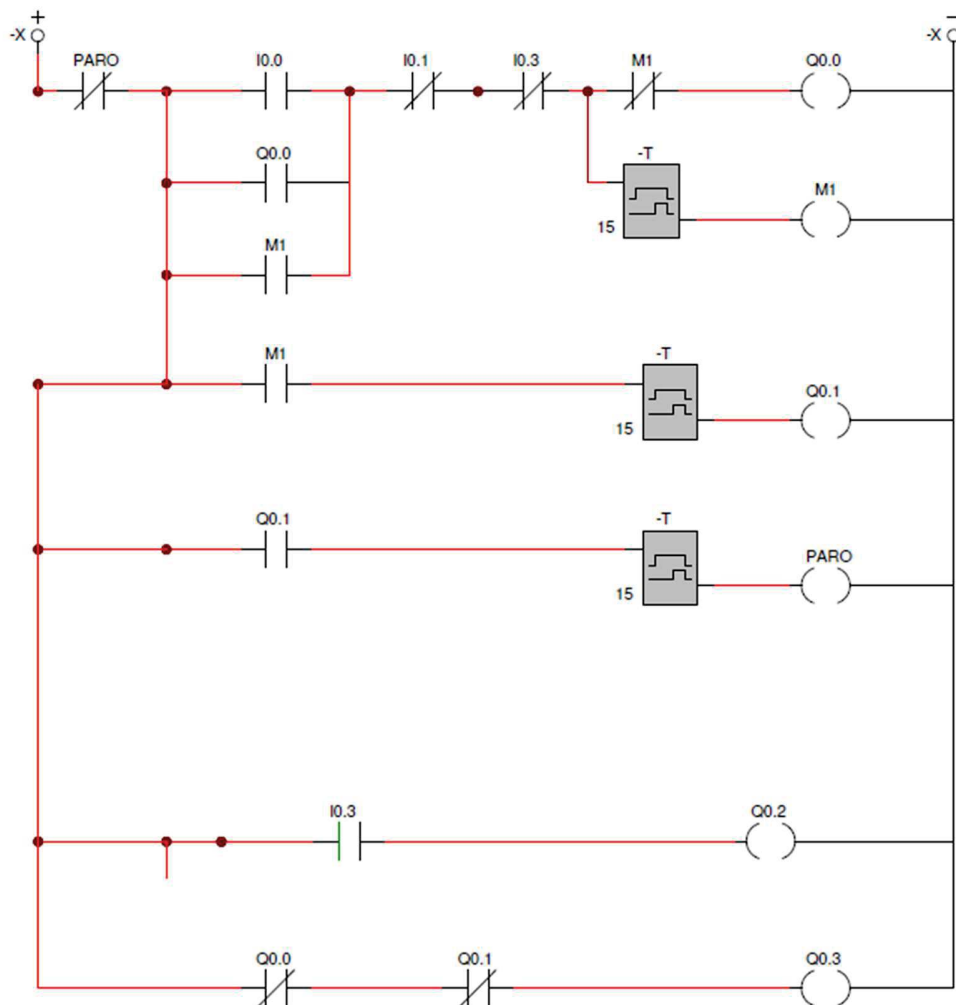


Ilustración 19 Diagrama de lógica de contactos

Capítulo 4. Resultados del proyecto

- En este diagrama se muestra toda la secuencia lógica de lo ya antes mencionado, es decir el circuito se activa cuando ciertas condiciones se cumplen (presencia de señales en entradas específicas como lo que son nuestros botones).
- Las salidas (Q0.0, Q0.1, Q0.2, Q0.3) y el temporizador están organizados en una secuencia lógica.
- Hay una interacción entre la memoria (M1), las entradas, y los temporizadores para completar un ciclo de control.
- Es sencillo modificar los parámetros configurados en el PLC para evaluar diversas configuraciones y establecer los tiempos ideales del proceso, y así mismo obtener la mejor calidad de nuestras piezas.

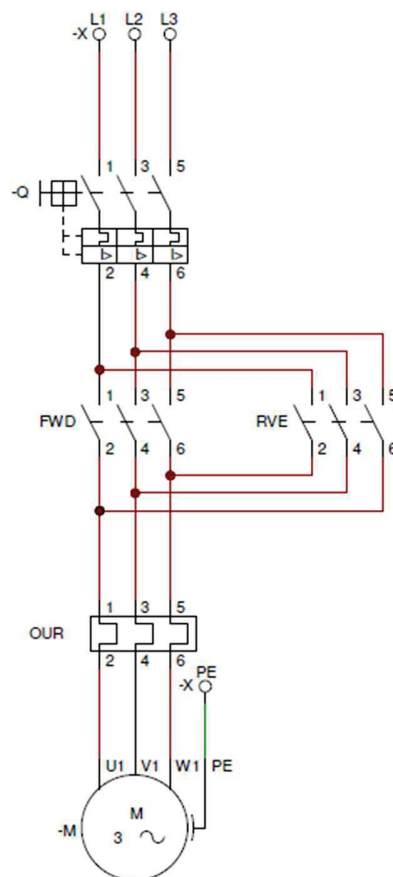


Ilustración 20 Diagrama de potencia

Capítulo 4. Resultados del proyecto

- El motor eléctrico se encarga de mover las piezas de manera mecánica, elevándolas y descendíéndolas en el tanque de anodizado en el tiempo establecido por el programa del PLC.
- El motor puede girar en sentido horario (adelante) o antihorario (reversa) dependiendo de si se activa el contactor FWD o RVE.
- Los contactores están interbloqueados eléctricamente (por el PLC), lo que evita que ambos se activen al mismo tiempo, protegiendo al sistema de cortocircuitos.
- Si el relé térmico detecta una sobrecarga o sobrecalentamiento en el motor, abre el circuito y detiene el motor, evitando daños mayores.

4.5 Pruebas piloto del sistema de anodización

Para poder realizar las pruebas piloto se utilizaron soluciones químicas específicas y parámetros eléctricos para así obtener recubrimientos deseados en las piezas de aluminio, se obtuvieron algunos cálculos aproximados y recomendaciones basados en valores típicos del proceso.

- Concentración de soluciones químicas

Baño de anodizado:

La sustancia principal en un baño de anodizado es el ácido sulfúrico diluido en agua desionizada. En el cual su concentración típica es entre un 15 y un 20% en peso de ácido sulfúrico.

Para poder preparar 10 litros de solución al 15% es necesario calcularlo de la forma:

$$\text{Volumen de ácido necesario} = \text{Volumen total} * \frac{\text{Concentracion deseada}}{\text{Densidad del ácido}}$$

Capítulo 4. Resultados del proyecto

La densidad del ácido sulfúrico es aproximadamente 1.84 g/ml. Por lo tanto, para una solución al 15% es necesario:

$$\text{Ácido necesario} = 10L * \frac{0.15}{1.84}$$

$$\text{Ácido necesario} = 0.815L = 815ml$$

Rango de temperatura: 18-22°C para mantener la calidad del anodizado y evitar sobrecalentamiento.

Lavado (Desengrasado alcalino):

Antes del anodizado, las piezas se someten a un lavado para eliminar residuos superficiales.

Su composición típica para realizar dicha actividad es: Hidróxido de sodio al 3-5% en agua.

Para preparar 5 litros de solución al 4% es necesario calcular:

$$\text{Peso de hidróxido necesario} = \text{Volumen total} * \text{Concentración deseada}$$

$$\text{Hidróxido necesario} = 5L * 0.04 = 0.2kg = 200g$$

Sellado final:

Después del anodizado, las piezas se sellan para mejorar la resistencia a la corrosión.

Usualmente se utiliza agua desionizada caliente entre (80-90°C), o a su vez una solución de níquel acetato.

Entre 2-5g/L de níquel acetato en agua caliente de (80-90°C).

- Parámetros eléctricos

El voltaje y la corriente son fundamentales para controlar la calidad y el espesor del anodizado.

Voltaje: 12-20 V es típico para anodizado en ácido sulfúrico.

Densidad de corriente: Se mide en amperios por unidad de área (A/dm^2) de la superficie a anodizar.

Capítulo 4. Resultados del proyecto

El rango típico de corriente es entre $1.5-3(A/dm^2)$, es decir si queremos anodizar una pieza con una superficie de $0.5m^2 = (5dm^2)$

$$Corriente\ necesaria = 5dm^2 * 2A/dm^2 = 10A$$

- Espesor del recubrimiento

El espesor del recubrimiento de óxido anodizado depende directamente del tiempo que la pieza permanezca en el baño de anodización bajo una densidad de corriente constante. La regla general es que un mayor tiempo produce un recubrimiento más grueso. Es decir, se deseamos un recubrimiento de 20 micrones, se puede calcular el tiempo basándonos en las características del material, la densidad de corriente aplicada, y el tipo de solución calculando:

$$Espeso(\mu m) = Tasa\ de\ crecimiento\left(\frac{\mu m}{min}\right) * Tiempo(minutos)$$

La tasa promedio de crecimiento es de $0.5\frac{\mu m}{min}$, por lo tanto, el tiempo necesario seria:

$$Tiempo\ necesario = \frac{Espesor\ deseado}{Tasa\ de\ crecimiento}$$

$$Tiempo\ necesario = \frac{20}{0.5} = 40\ minutos$$

- Tiempo en cada etapa del proceso

Cada etapa del anodizado tiene tiempos específicos para garantizar su efectividad:

Lavado (desengrasado): 5-10 minutos en solución alcalina

Anodizado: 20-60 minutos según el espesor deseado y la densidad de corriente, en este proceso es necesario controlar la precisión del tiempo para así poder asegurar un recubrimiento uniforme.

Sellado: 10-30 minutos en agua caliente para así poder sellar los poros del recubrimiento.

Capítulo 4. Resultados del proyecto

4.6 Evaluación de resultados y ajustes técnicos.

- Gráfica de Amperaje vs Tiempo

Esta gráfica muestra cómo varía el amperaje a lo largo del tiempo durante el proceso de anodización, indicando la estabilidad del sistema y su relación con el consumo eléctrico.

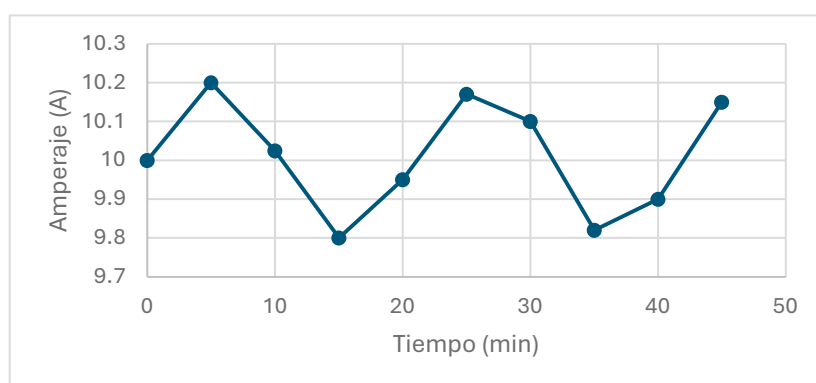


Tabla 4 Amperaje vs Tiempo

En la gráfica se muestra cómo se mantiene un amperaje promedio de 10 A con ligeras variaciones, lo cual indica un sistema estable durante el proceso de anodización.

- Gráfica de Espesor vs Tiempo

Esta gráfica muestra el aumento del espesor del recubrimiento en función del tiempo, evidenciando la relación directa entre el tiempo de anodización y la calidad del recubrimiento.

Capítulo 4. Resultados del proyecto

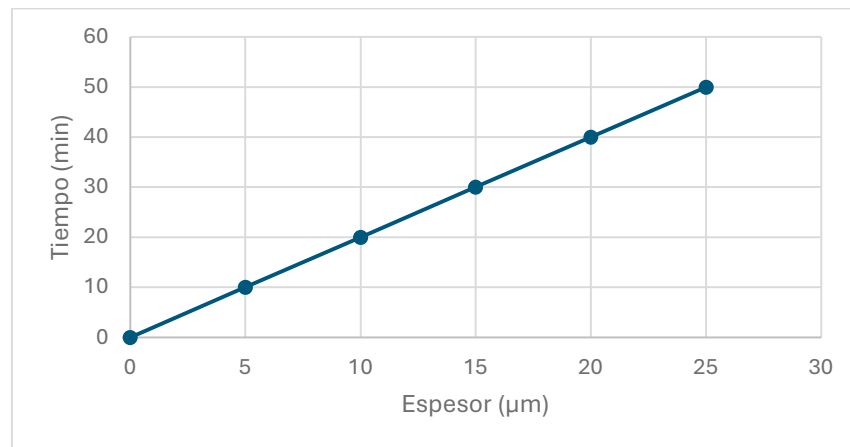


Tabla 5 Espesor vs Tiempo

Refleja el crecimiento lineal del espesor en función del tiempo, con una tasa promedio de $0.5 \mu\text{m}/\text{min}$. Este comportamiento confirma que el recubrimiento se desarrolla de manera controlada a lo largo del proceso.

Medidor de
espesores puesto
en $0.00 \mu\text{m}$



Ilustración 21 Pieza sin anodizar

Capítulo 4. Resultados del proyecto



Ilustración 23 Anodizado de 23 minutos

Las piezas a los 23 minutos de anodizado tienen un incremento de 11.6 μm



Ilustración 22 Anodizado de 44 minutos

Las piezas a los 44 minutos de anodizado tienen un incremento de 21.9 μm

El anodizado ideal para las piezas de fabricación tiene un incremento de $20\mu\text{m}$, en un tiempo de 40 minutos.



Ilustración 24 Anodizado ideal

4.7 Elaboración de manual de operación.

✓ Temas que Contendrá el Manual

Introducción

- Explicación del propósito del laboratorio de anodizado.
- Objetivo del manual y su importancia para el correcto funcionamiento del laboratorio.

Medidas de Seguridad

- Recomendaciones sobre el uso obligatorio de equipo de protección personal (EPP).
- Protocolos para el manejo seguro de químicos.
- Instrucciones de seguridad eléctrica para prevenir accidentes durante el uso de equipos como el rectificador.

Capítulo 4. Resultados del proyecto

- Acciones para tomar en caso de emergencias, como derrames químicos o fallos eléctricos.

Descripción de los Componentes del Laboratorio

- Detalles sobre los equipos principales, como el rectificador, las tinas de anodizado y el sistema de ventilación.
- Información sobre las herramientas auxiliares y materiales necesarios.

Preparación del Proceso de Anodizado

- Instrucciones para la limpieza e inspección de las piezas antes del anodizado.
- Indicaciones para la preparación de las soluciones químicas con sus concentraciones y proporciones exactas.
- Configuración inicial de los parámetros del rectificador (voltaje y amperaje).
- Ajustes del sistema de automatización para el control preciso de los tiempos.

Procedimiento Operativo del Anodizado

- Descripción de los pasos a seguir en cada etapa del proceso:
 - Desengrasado: Preparación de las piezas para garantizar la adhesión del recubrimiento.
 - Anodización: Parámetros técnicos recomendados (tiempo, corriente, temperatura).
 - Sellado: Proceso para cerrar los poros del recubrimiento anodizado.
 - Monitoreo de los parámetros durante el anodizado.

Capítulo 4. Resultados del proyecto

Control de Calidad y Resultados Esperados

- Métodos para medir el espesor del recubrimiento.
- Criterios de evaluación para determinar la calidad del recubrimiento (uniformidad, coloración, adherencia).

4.8 Capacitación del personal en el uso del laboratorio

Se capacito al 100% del personal asignado al laboratorio de anodizado, en el cual todos los participantes completaron las sesiones teóricas y prácticas.

Se espera una disminución significativa en errores operativos relacionados con el anodizado, gracias al entrenamiento enfocado en el uso correcto y las normativas de calidad.

El tiempo de configuración y operación del laboratorio se redujo en un 20% durante las simulaciones, así mismo el cumplimiento de las normativas de seguridad se elevó al 100%.

Capítulo 5. Resultados

5. Resultados.

Beneficios de la implementación del laboratorio de anodizado en SAYME.

La creación del laboratorio de anodizado dentro de la empresa ha generado múltiples beneficios en términos de eficiencia, costos y control de calidad, los principales impactos positivos con base en los datos obtenidos son:

- Reducción del tiempo de anodizado.

Uno de los problemas más significativos que enfrentaba la empresa era la dependencia de proveedores externos para el proceso de anodizado. Esto generaba retrasos de hasta 4 días en la producción debido a tiempos de espera y transporte. Con la implementación del laboratorio este proceso se ha reducido a solo 1 día, ya que ahora se realiza internamente sin la necesidad de coordinar con terceros. En la Tabla 6, se muestra la comparación del tiempo total requerido para el anodizado externo frente al proceso interno, evidenciando la mejora en los tiempos de producción.

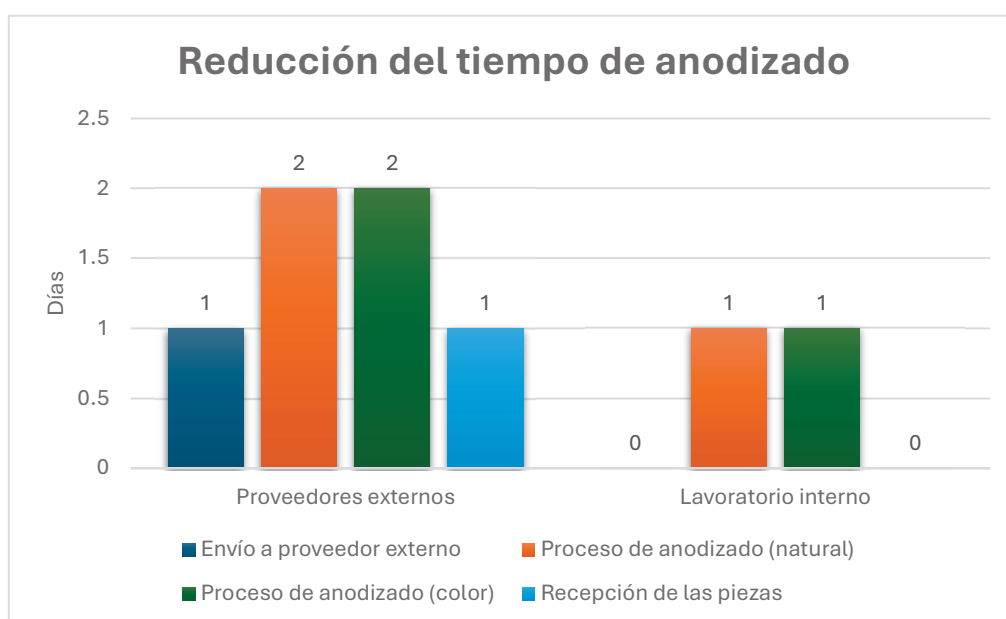


Tabla 6 Beneficio 1 del proyecto

Capítulo 5. Resultados

Para una carga de 15 piezas de diferentes tamaños, el proveedor externo se tardaba 2 días en poder hacer el proceso de anodización ya sea en anodizado de color o natural, en cambio con el laboratorio interno por la misma carga se tarda 1 día, sin contar el día extra de envío de material y el ir a recoger las piezas, teniendo un ahorro de tiempo de 3 días.

- Incremento de los Gastos en General vs Beneficio Económico.

Si bien el consumo de gastos en general ha aumentado un 25% (en el uso de materia prima, consumo de energía eléctrica, etc.), este costo adicional queda compensado con el ahorro total del 32% en costos de anodizado. En otras palabras, aunque hay un incremento de gastos en general, SAYME sigue obteniendo una reducción neta en los costos de operación. La Tabla 7 y Tabla 8 presenta un comparativo entre el aumento de gastos generales y la reducción de costos operativos, destacando la rentabilidad neta que representa la implementación del laboratorio interno.

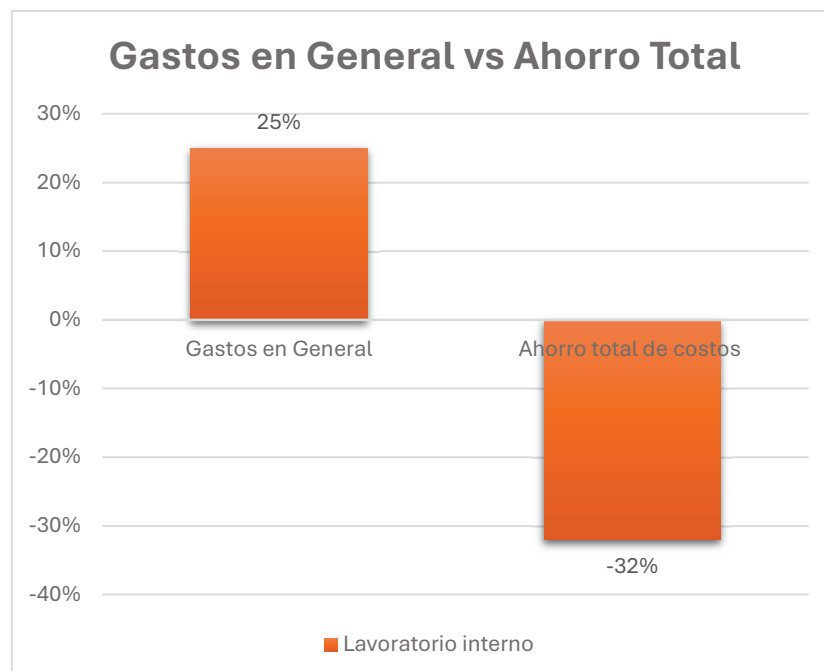


Tabla 7 Beneficio 2 del proyecto

Capítulo 5. Resultados

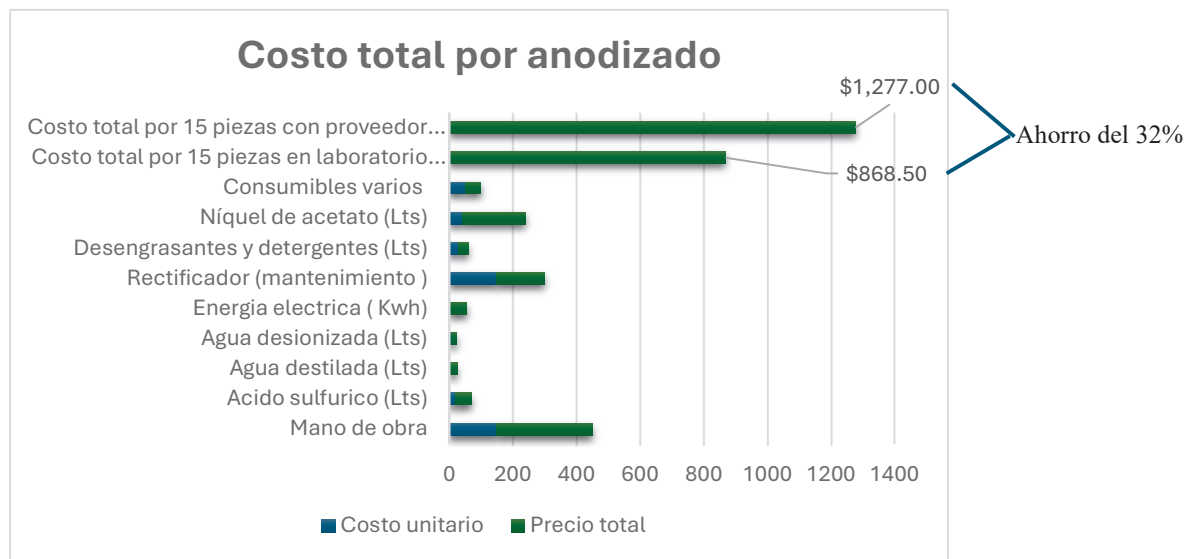


Tabla 8 Beneficio 3 del proyecto

- Calidad del anodizado vs Parámetros técnicos

Al depender de terceros, SAYME tenía poca capacidad para regular la calidad del acabado, lo que generaba variaciones en color, espesor y resistencia del anodizado. Ahora, con un laboratorio interno, se pueden ajustar parámetros como voltaje, amperaje, tiempo de inmersión y temperatura, garantizando un anodizado homogéneo y conforme a los estándares de la industria. La Tabla 7 muestra la diferencia en los resultados de calidad entre el anodizado externo y el interno, evaluando el espesor promedio de la capa anodizada y la uniformidad del color en distintas piezas.

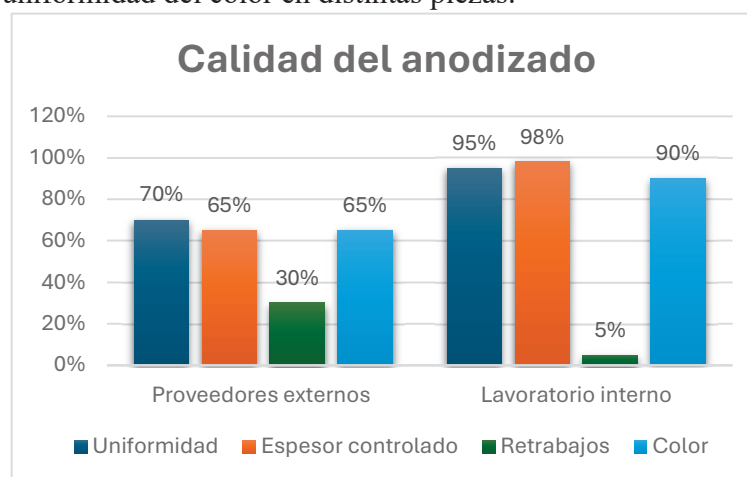


Tabla 9 Beneficio 4 del proyecto

Capítulo 5. Resultados

El establecimiento del laboratorio de anodizado dentro de SAYME ha sido una inversión estratégica que ha generado beneficios significativos. Se ha reducido la dependencia de proveedores externos, optimizando los tiempos de entrega, disminuido los costos operativos y mejorando la calidad del proceso. Aunque hay una incrementación en el consumo energético, este es ampliamente compensado por los ahorros generados. Además de la posibilidad de automatización permite una producción más eficiente y rentable.

Capítulo 6. Conclusiones y Competencias desarrolladas

6. Conclusiones y Competencias desarrolladas

El proyecto de la implementación de un laboratorio de anodizados para Soporte Asesoría y Medición representa un progreso significativo hacia la autogestión operativa y la optimización de sus procesos de producción. Durante las acciones llevadas a cabo, se consiguió construir una base firme para llevar a cabo el anodizado en las instalaciones, disminuyendo los gastos relacionados con la subcontratación y optimizando los plazos de entrega.

Sin embargo, debido a las restricciones en el espacio destinado al laboratorio, se adoptaron decisiones estratégicas para modificar la magnitud del proyecto, como la supresión del sistema de automatización que se había propuesto inicialmente. A pesar de que este sistema habría mejorado la gestión del tiempo y la exactitud del procedimiento, su puesta en marcha resultó inviable en las circunstancias presentes. Esta modificación asegura que el laboratorio opere eficazmente en el espacio a disposición, sin afectar la calidad del anodizado.

Por lo general, el laboratorio satisface los propósitos fundamentales del proyecto y constituye una respuesta factible y operativa para las demandas presentes, estableciendo los cimientos para futuras ampliaciones y avances tecnológicos.

Competencias desarrolladas: Diseño e ingeniería del proceso, manejo de equipos especializados, análisis químico y parametrización, gestión de recursos y materiales, resolución de problemas y planificación de proyectos.

Capítulo 6. Conclusiones y Competencias desarrolladas

Justificación de la eliminación del sistema de automatización:

El sistema de automatización para el proceso de anodizado se desarrolló e implementó como un componente del proyecto inicial, consiguiendo su operatividad y satisfaciendo las metas de exactitud, gestión de tiempos y disminución de fallos humanos. Durante las pruebas piloto, el sistema evidenció su efectividad en el manejo automatizado de los componentes y en la mejora del proceso de anodización.

Sin embargo, tras su instalación y funcionamiento, se demostró que el sistema provocaba ruido dentro del espacio destinado al laboratorio. La disposición del espacio obstaculizaba un flujo apropiado para las actividades manuales, el movimiento del personal y la ubicación segura de otros equipos vitales, tales como las tinas de anodizado, los sistemas de ventilación y el rectificador. Esta circunstancia no solo dificultaba el funcionamiento global del laboratorio, sino que también suponía posibles amenazas para la seguridad y eficacia de los empleados.

Después de una evaluación tanto técnica como operativa, se optó por desinstalar el sistema de automatización con el fin de optimizar el uso del espacio disponible y asegurar que las tareas del laboratorio se lleven a cabo de forma eficaz y segura. Esta acción posibilita que el laboratorio funcione con los equipos indispensables y que se conserven los criterios de calidad del anodizado, aunque de forma manual. A pesar de su eliminación, el sistema de automatización no se descarta como un componente del proyecto a largo plazo. Se sostiene que, en el futuro, si se dispone de un espacio más grande o rediseña sus instalaciones, el sistema podrá ser reubicado para incrementar la eficiencia y disminuir la intervención manual.

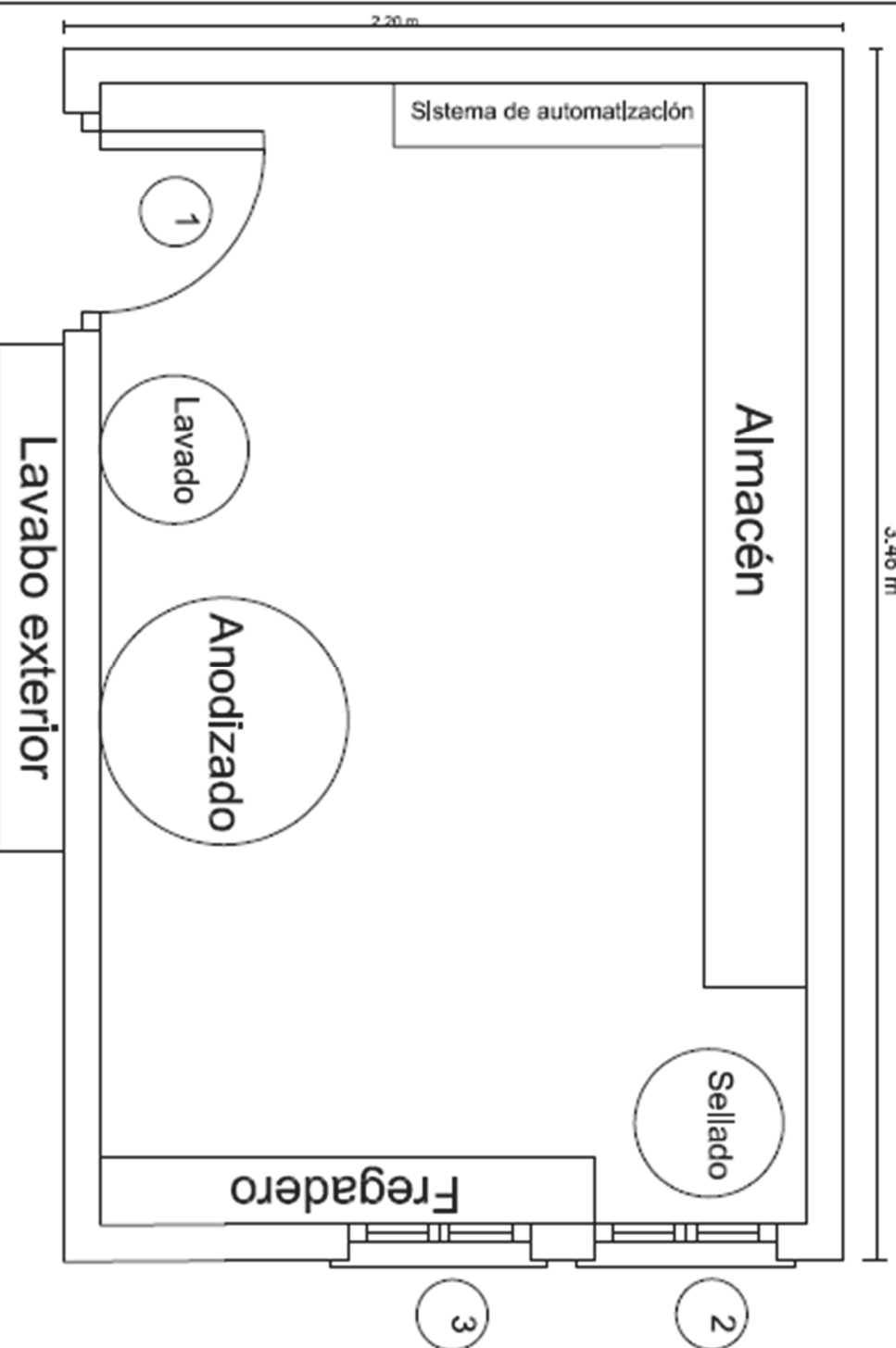
Fuentes de información

Fuentes de información

- Carpintería-Aluminio-Alicante. (2024, mayo 8). *Ventajas y desventajas del anodizado de aluminio*. Recuperado de: <https://carpinteria-aluminio-alicante.es/ventajas-desventajas-anodizado/>
- Certicalia. (2021, diciembre 30). *Las renovaciones de aire según el RITE*. Recuperado de <https://www.certicalia.com/blog/renovaciones-aire-segun-rite>
- Essengold. (2024, agosto 12). *Proceso de anodizado: su guía completa sobre aluminio anodizado*. Recuperado de <https://essengoldparts.com/es/blog/anodized-aluminum/>
- KDM Fabrication. (2022, septiembre 20). *Qué es el anodizado: La guía completa*. Recuperado de <https://es.kdmfab.com/que-es-el-anodizado/>
- MachineMFG. (2023, agosto 31). *Proceso de anodizado del aluminio: Características, métodos y últimos avances*. Recuperado de <https://www.machinemfg.com/es/aluminum-anodizing/>
- ISO. (2017). *ISO 3210:2017: Anodizing of aluminium and its alloys*. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/70156.html>
- ISO. (2018). *ISO 7599:2018: Anodizing of aluminium and its alloys — Method for specifying decorative and protective anodic oxidation coatings on aluminium*. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/70156.html>
- Anodizado California. (2025). El anodizado y su impacto ambiental. Anodizado California. <https://anodizadocalifornia.com/ambiente.php>

Anexos

3.46 m



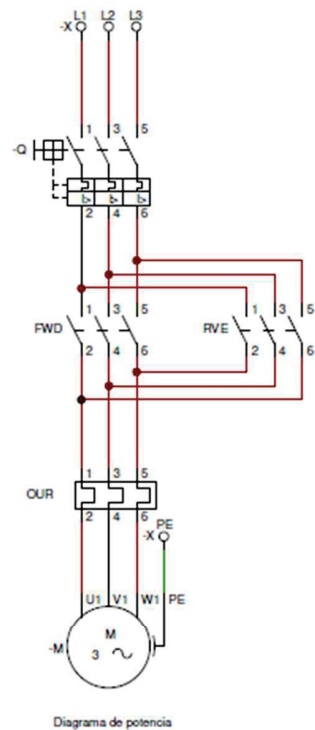
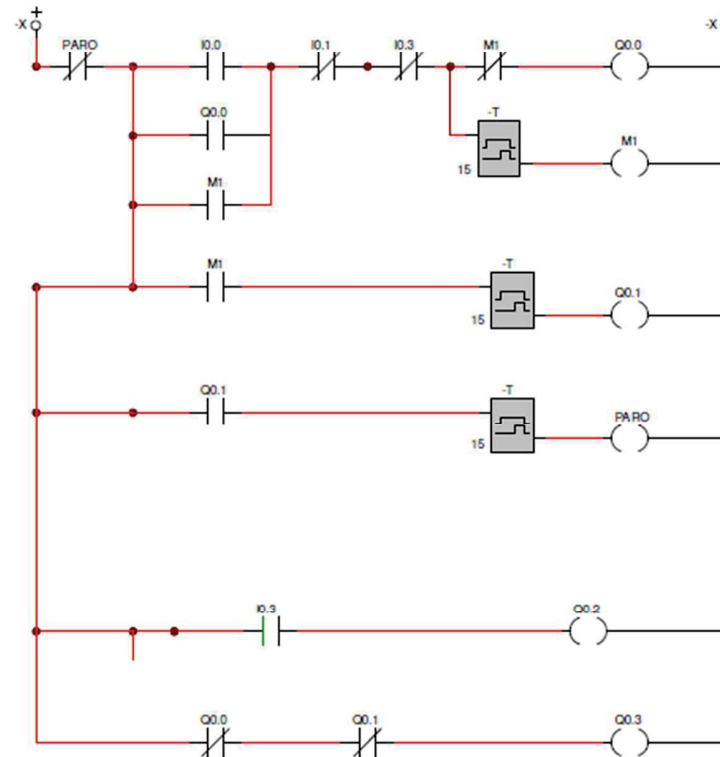
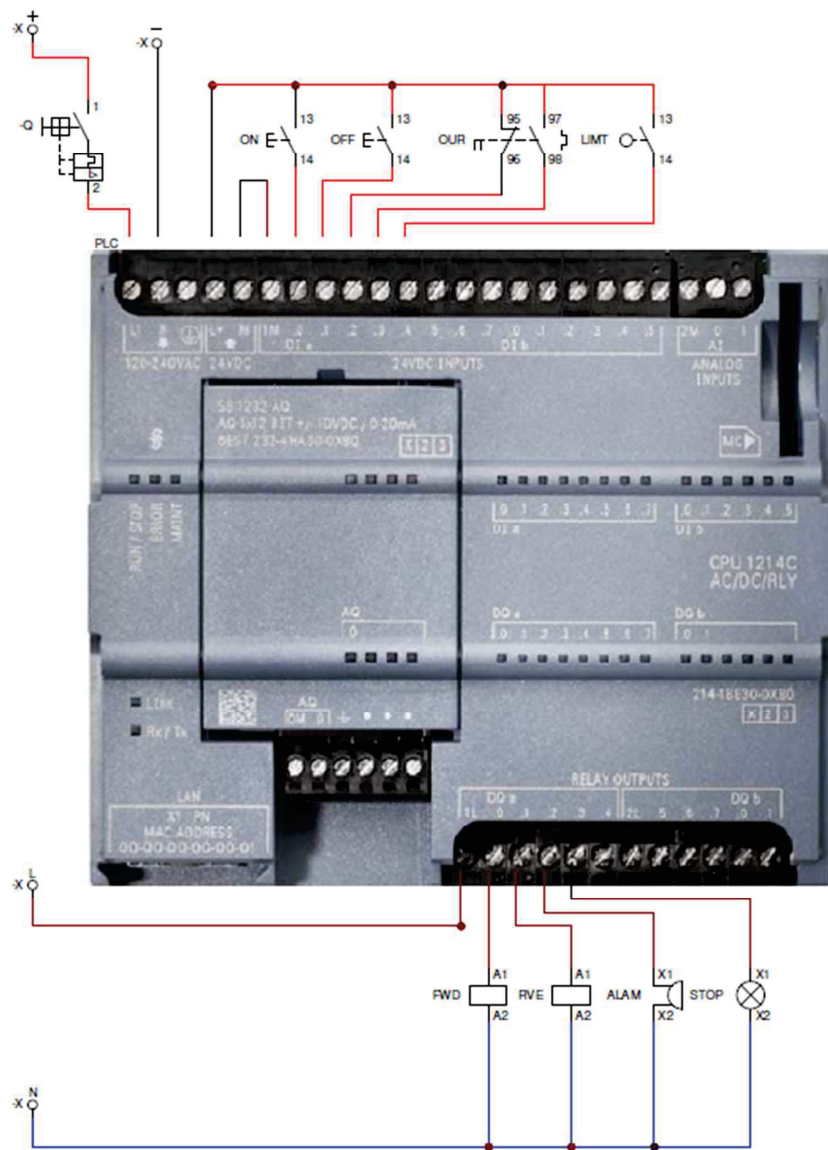
1. Puerta
2. Ventana
3. Extractor

NOTAS:

- 1.- Todas las especificaciones necesarias para la ejecución del proyecto se proporcionarán a medida que avance el desarrollo del mismo.
- 2.- Es responsabilidad de los involucrados revisar y aprobar las actualizaciones realizadas al proyecto en cada etapa.
- 3.- Este plano está sujeto a revisión y cambios hasta su aprobación final por todas las partes interesadas.

Firma de enterado:

Instituto Tecnológico de Apizaco	MATERIA Residencias Profesionales	ASESOR INTERNO: Marcos Bedolla Hernandez ASESOR EXTERNO: Guillermo Pilotzi Cortes	Asignatura 2 Diseño preliminar del laboratorio de anodizados	ESCALA 1:1 FECHA 11/10/2023	ALUMNO Alejandro Cervantes Nava 20370702	HOJA 1/1
---	--	--	---	--	---	---------------------



	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha	Núm:1 de 1
Dibujado	14/11/2024	Alejandro C		Tecnológico de Apizaco	Sistema de Automatización	14/11/2024	
Comprobado	14/11/2024	Guillermo P				Archivo:	FINAL



TECNOLOGICO
NACIONAL DE MÉXICO



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Manual de laboratorio de anodizados

NOMBRE DEL RESIDENTE Y NÚMERO DE CONTROL:

ALEJANDRO CERVANTES NAVA

20370702

ASESOR EXTERNO:

ING. GUILLERMO PILOTZI CORTES

ASESOR INTERNO:

MARCOS BEDOLLA HERNÁNDEZ

PERIODO

9 DE SEPTIEMBRE DEL 2024 – 9 DE ENERO DEL 2025

Introducción:

El laboratorio de anodizado tiene como propósito principal mejorar la calidad de las piezas fabricadas mediante un proceso electroquímico que genera una capa de óxido controlada sobre superficies metálicas, principalmente de aluminio.

Esta capa incrementa significativamente la resistencia a la corrosión y al desgaste, además de permitir acabados estéticos personalizados según las necesidades del cliente.

El objetivo de este manual es proporcionar una guía clara y detallada para el correcto uso y operación de los equipos e instalaciones del laboratorio de anodizado. Está diseñado para que el personal técnico y operativo pueda realizar sus funciones de manera eficiente, segura y conforme a los estándares de calidad establecidos.

Recomendaciones sobre el uso

obligatorio de Equipo de Protección

Personal (EPP):

Para operar en el laboratorio de anodizado de manera segura, es obligatorio que el personal que este en el, utilice el EPP adecuado, que incluye:

- Guantes resistentes a químicos, para proteger las manos del contacto directo con las soluciones químicas.
- Lentes de seguridad, para proteger los ojos de salpicaduras de ácidos y otros químicos.
- Delantal, para proteger la piel y la ropa.
- Mascarilla o cubrebocas, para no oler directamente los vapores derivados de las soluciones químicas.
- Calzado de seguridad, preferentemente con suela

antiderrapante y resistentes a químicos.

Protocolos para el Manejo Seguro de Químicos.

1. Recepción y Almacenamiento:

- Almacenar los químicos en áreas designadas, alejados de fuentes de calor o electricidad.
- Mantener etiquetas claras en los envases indicando contenidos, peligrosos y medidas de precaución.

2. Preparación de soluciones.

- Lavado (Desengrasado alcalino):

Antes del anodizado, las piezas se someten a un lavado para eliminar residuos superficiales.

Su composición típica para realizar dicha actividad es: Hidróxido de sodio al 3-5% en agua.

Para preparar 5 litros de solución al 4% es necesario calcular:

$\text{Peso de hidróxido necesario} = \text{Volumen total} * \text{Concentración deseada}$

Hidróxido

$\text{necesario} = 5L * 0.04 = 0.2kg = 200g$

- Baño de anodizado:

La sustancia principal en un baño de anodizado es el ácido sulfúrico diluido en agua desionizada. En el cual su concentración típica es entre un 15 y un 20% en peso de ácido sulfúrico.

Para poder preparar 10 litros de solución al 15% es necesario calcularlo de la forma:

Volumen de ácido necesario

= Volumen total

** $\frac{\text{Concentración deseada}}{\text{Densidad del ácido}}$*

La densidad del ácido sulfúrico es aproximadamente 1.84 g/ml. Por lo tanto, para una solución al 15% es necesario:

$$\text{Ácido necesario} = 10L * \frac{0.15}{1.84}$$

Ácido necesario = 0.815L = 815ml

- Sellado final:

Después del anodizado, las piezas se sellan para mejorar la resistencia a la corrosión. Usualmente se utiliza agua desionizada caliente entre (80-90°C), o a su vez una solución de níquel acetato.

Entre 2-5g/L de níquel acetato en agua caliente de (80-90°C).

3. Manejo durante el proceso:

Verificar que las tinas de anodizado tengan las concentraciones adecuadas antes de sumergir piezas.

Evitar el contacto directo con las soluciones, siempre ocupar el EPP.

Instrucciones de seguridad eléctrica:

4. Antes de encender el equipo:

Inspeccionar visualmente los cables y conexiones para detectar daños o desgaste.

Hay que confirmar que el área esta seca y libre de químicos.

5. Durante la operación:

Usar interruptores de circuito o protecciones térmicas adecuadas.

No tocar las conexiones o los equipos eléctricos con las manos húmedas.

6. Después del uso:

Apagar el rectificador y desconectar el suministro eléctrico.

Etiquetar claramente las zonas eléctricas para evitar manipulaciones por personal no capacitado.

Acciones en caso de emergencia.

7. Derrames químicos:

Evacuar el área inmediatamente y notificar al personal de seguridad.

Utilizar materiales absorbentes específicos para neutralizar los derrames según el tipo de químicos involucrado.

Ventilar el laboratorio para disipar vapores o gases generados.

8. Fallos eléctricos:

Apagar inmediatamente el suministro eléctrico general del laboratorio.

No intentar reparar hasta que un técnico capacitado evalúe la situación.

9. Lesiones o Exposición química

Lavar la zona afectada con abundante agua durante al menos 15 minutos en caso de contacto con la piel o los ojos.

Notifica a un supervisor y buscar atención medica de inmediato.

Descripción de los componentes del laboratorio.

Equipos principales:

- Rectificador:

Proporciona la corriente eléctrica necesaria para llevar a cabo el proceso de anodizado, convierte corriente alterna en corriente directa.

Especificaciones:

Voltaje de operación: 0-24v ajustable.

Rango de corriente: 0-300 ampers

dependiendo la carga.

Enfriamiento por aire.

- Tinas de anodizado:

Contenedores donde se sumergen las piezas para el tratamiento químico y electroquímico.

Especificaciones:

Material: Polipropileno o PVC.

Capacidades: Varían según el tamaño y volumen de las piezas a anodizar.

Tipos:

Tina para desengrasado químico.

Tina para anodización con ácido sulfúrico.

Tina para sellado de poros con soluciones químicas.

Herramientas auxiliares y materiales necesarios.

Herramientas auxiliares:

- Ganchos de sujeción y bastidores.
- Multímetro y amperímetro.
- Termómetro
- Cronómetros

Materiales químicos:

- Ácido sulfúrico
- Hidróxido de sodio
- Selladores
- Agua destilada.

Preparación del proceso de anodizado.

Inspección Visual:

Verificar que las piezas no presenten defectos como rayaduras profundas, rebabas o suciedad excesiva.

Asegurarse de que las piezas estén libres de aceites, grasas o contaminantes que puedan interferir con el anodizado.

Limpieza Previa:

Sumergir las piezas en una tina de desengrasado químico con una solución alcalina, preparada con:

Hidróxido de sodio (NaOH):

Concentración del 5-10% en agua.

Mantener las piezas en la solución durante 5-10 minutos, dependiendo del nivel de suciedad.

Enjuagar con abundante agua destilada para eliminar residuos alcalinos.

Configuración Inicial del Rectificador

Conexión:

Verificar que el rectificador esté correctamente conectado al sistema eléctrico y a las tinas.

Comprobar que las conexiones sean seguras y estén libres de humedad.

Parámetros Iniciales:

Voltaje: Configurar entre 12-18 V, dependiendo del tipo de anodizado (decorativo o duro).

Nota: Para nuestra configuración es necesario ocupar 13v

Monitoreo: Encender el rectificador y observar que los valores iniciales se mantengan estables durante los primeros minutos.

Descripción de los pasos a seguir en cada etapa del proceso.

Desengrasado:

Inspección inicial:

Verificar visualmente las piezas para identificar suciedad visible.

Preparación de la solución desengrasante:

Mezclar una solución alcalina con hidróxido de sodio (NaOH) o detergentes industriales específicos en una concentración de 5-10%.

La solución debe mantenerse a una temperatura de 40-60°C.

Inmersión de las piezas:

Sumergir las piezas en la solución durante 5-10 minutos.

Usar un agitador o sistema de recirculación para mejorar la eficiencia del desengrasado.

Enjuague:

Retirar las piezas y enjuagar inmediatamente con agua destilada para evitar residuos alcalinos.

Repetir si es necesario.

Anodizado:

Tiempo: 40 minutos

Voltaje: 13V.

Temperatura: Mantener el electrolito (ácido sulfúrico) entre 18-22°C.

Procedimiento:

Conectar las piezas al ánodo (positivo) del rectificador y las placas de aluminio o plomo al cátodo (negativo).

Sumergir las piezas en la tina con solución de ácido sulfúrico.

Encender el rectificador y ajustar los parámetros iniciales.

Monitorear constantemente el voltaje, amperaje y temperatura para evitar fluctuaciones que afecten el resultado.

Sellado:

Usar una solución con níquel o cobalto al 1-2%.

Mantener la solución a 70-80°C.

Enjuagar las piezas anodizadas con agua destilada.

Sumergir las piezas en la solución de sellado.

Mantenerlas sumergidas durante el tiempo recomendado. Tiempo recomendado: 20 minutos.

Retirar las piezas y dejarlas secar al aire en un área limpia y controlada.

Monitoreo de los parámetros durante el anodizado.

Requisitos de Monitoreo:

Voltaje y Amperaje:

Verificar cada 5 minutos que los valores se mantengan constantes según el ajuste inicial.

Temperatura del Electrolito:

Monitorear con un termómetro

Utilizar un sistema de enfriamiento si la temperatura supera los límites establecidos.

Condición del Electrolito:

Medir la densidad del ácido semanalmente para asegurar la concentración correcta.

Reponer ácido y agua destilada según sea necesario.

Inspección Visual:

Durante el proceso, observar cualquier cambio inusual en el color de la solución o burbujeo que pueda indicar fallas en el sistema eléctrico o químico.