

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA LÍNEA DE GALVANOPLASTIA EN LA  
EMPRESA NACIONAL DE LICUADORAS NALLET S.A.S**

**DANIELA BARRETO BERBEO  
BRIGITTE VANESSA BUITRAGO PÉREZ**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ  
2018**

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA LÍNEA DE GALVANOPLASTIA EN LA  
EMPRESA NACIONAL DE LICUADORAS NALIET S.A.S**

**DANIELA BARRETO BERBEO  
BRIGITTE VANESSA BUITRAGO PÉREZ**

**Proyecto integral de grado para optar el título de  
INGENIERO QUÍMICO**

**Orientador  
EDGAR FERNANDO MORENO TORRES  
Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ  
2018**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

**Edgar Fernando Moreno**

---

**Jairo Rubiano**

---

**Iván Ramírez**

**Bogotá D.C. agosto de 2018**

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

**Presidente de la Universidad y Rector del Claustro**

**Dr. Jaime Posada Díaz**

**Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.**

**Dr. Luis Jaime Posada García-Peña**

**Vicerrectora Académica y de Posgrados**

**Dra. Ana Josefa Herrera Vargas**

**Decano Facultad de Ingeniería**

**Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi**

**Director Programa Ingeniería Química**

**Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez**

## DEDICATORIA

A Dios por darme esperanza en los momentos más difíciles.

A mi madre Denis María Pérez y mi padre Carlos Julio Buitrago, que siempre me han apoyado en cada paso, que nunca perdieron la confianza en mí y me han dado las fuerzas para seguir adelante siempre.

A mi hermano John por apoyarme siempre en los momentos buenos y malos, por ser mi ejemplo a seguir

Y a todas las personas que contribuyeron a lo largo de este camino que culmina con el presente proyecto de grado.

Vanessa Buitrago Pérez

A Dios por llevarme siempre de su mano, por ser mi esperanza y darme siempre de su gracia, por guiarme hacia su propósito y por ayudarme a perseverar.

A mi madre Emma Berbeo Forero y mi padre William Barreto Correa por todo su apoyo, comprensión, motivación y esfuerzos para ayudarme a alcanzar mis sueños.

A mi hermano Camilo por su compañía y amistad, porque me motiva a dar lo mejor de mí y a ser un gran ejemplo para él.

A mi prima Ximena porque sus palabras siempre me levantan y me motivan a nunca rendirme; y a toda mi familia que de alguna manera siempre nos han apoyado en los momentos difíciles. A todas gracias.

Daniela Barreto Berbeo

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Dios por permitirnos culminar y alcanzar este objetivo.

Nuestras familias por todo su apoyo y esfuerzo que nos motiva a perseverar.

La empresa Nacional de Licuadoras Naliet S.A.S y al Ing. Larry Torres por su apoyo y por permitirnos realizar este proyecto.

Al Ing. Fernando Moreno por su orientación a lo largo de este proyecto.

Al Ing. Carlos Torres por toda la ayuda y conocimientos que nos prestó para desarrollar este proyecto.

A todas las personas que de una u otra forma hicieron parte de este proceso.

## LISTA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. MARCO TEORICO	15
1.1 METODO CROMADO DECORATIVO CONVENCIONAL	15
1.1.1 Premordentado	16
1.1.2 Mordentado	16
1.1.3 Neutralizado	18
1.1.4 Activación	19
1.1.5 Aceleración	21
1.1.6 Deposición química	22
1.1.7 Activación con cobre	23
1.1.8 Cobrizado ácido	24
1.1.9 Niquelado	24
1.1.10 Cromado	26
1.1.11 Equipos	27
1.2 MÉTODOS ALTERNATIVOS	30
1.2.1 Tratamiento optofísico	30
1.2.1.1 Tratamiento por descarga corona	31
1.2.1.2 Equipo de descarga corona	31
1.2.1.3 Tratamiento por radiación ultravioleta (UV)	33
1.2.2 Tratamiento fotocatalítico	34
1.2.2.1 Fotocatálisis heterogénea (Fch)	35
1.2.2.2 Modificación superficial del ABS con fotocatalisis heterogénea	36
1.2.3 Tratamiento optotérmico	38
1.2.3.1 Modificación láser de polímeros	38
1.2.3.2 Características de los láseres	39
1.2.3.3 Ablación láser: térmica y fotoquímica	40
1.3 PROCESO DE GALVANOPLASTIA PARA LA EMPRESA NACIONAL DE LICUADORAS NALIET S.A.S	42
2. SELECCIÓN DE LAS CONDICIONES PARA EL PROCESO DE GALVANOPLASTIA	45
2.1 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA ETAPA DE CROMADO	45
2.1.1 Hipótesis	45
2.1.2 Variables independientes	46
2.1.3 Variables fijas	46
2.1.4 Factores perturbadores	47
2.1.5 Variable respuesta	48
2.1.6 Modelo experimental y número de tratamientos	48
2.2 METODOLOGÍA	49
2.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	49

2.4	CONDICIONES PARA EL PROCESO DE CROMADO CONVENCIONAL PARA LA EMPRESA NACIONAL DE LICUADORAS NALIET S.A.S	53
3.	ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE GALVANOPLASTIA EN LA EMPRESA NACIONAL DE LICUADORAS NALIET S.A.S	59
3.1	ETAPAS DE ENJUAGUE	59
3.2	FUENTE DE CORRIENTE	60
3.3	FUENTES DE CALOR	63
3.4	SISTEMA DE AGITACIÓN	67
3.5	SISTEMA DE FILTRACIÓN	68
3.6	CUBAS ELECTROLÍTICAS	69
3.6.1	Dimensionamiento de las cubas	71
3.6.2	Distribución de las cubas	73
3.7	GANCHERAS	74
3.8	ÁNODOS	78
3.9	MANTENIMIENTO DE LOS BAÑOS	79
3.9.1	Mantenimiento baño de mordentado	79
3.9.2	Mantenimiento baño de cobre	80
3.9.3	Mantenimiento baño de níquel	80
3.9.4	Mantenimiento baño de cromo	81
4.	DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DE LA PROPUESTA PARA LA LÍNEA DE GALVANOPLASTIA EN LA EMPRESA NACIONAL DE LICUADORAS NALIET S.A.S	82
4.1	COSTOS DIRECTOS	83
4.1.1	Costos de equipos	83
4.1.2	Costos de insumos	84
4.1.3	Costos de personal	85
4.2	COSTOS INDIRECTOS	86
4.3	COSTO TOTAL DE LA PROPUESTA	87
5.	CONCLUSIONES	89
6.	RECOMENDACIONES	90
	BIBLIOGRAFÍA	91
	ANEXOS	96

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Condiciones etapa de premordentado	16
Tabla 2. Condiciones etapa de mordentado	18
Tabla 3. Condiciones etapa de neutralizado	19
Tabla 4. Condiciones etapa de activación	20
Tabla 5. Condiciones etapa de aceleración	22
Tabla 6. Condiciones etapa de niquelado químico	23
Tabla 7. Condiciones etapa de activación con cobre	24
Tabla 8. Condiciones etapa de cobrizado ácido	24
Tabla 9. Condiciones etapa de niquelado	25
Tabla 10. Condiciones etapa de cromado	27
Tabla 11. Clasificación para el acabado de la pieza	48
Tabla 12. Resultados diseño factorial $2^2$ con tres replicas	50
Tabla 13. Suma de los datos	51
Tabla 14. Tabla ANOVA	52
Tabla 15. Condiciones del proceso de cromado decorativo convencional	53
Tabla 16. Enjuagues para el proceso de cromado decorativo convencional	60
Tabla 17. Desventajas y ventajas de filtros mangas, disco y cartucho	68
Tabla 18. Selección de material de las cubas	70
Tabla 19. Mantenimiento de los baños	82
Tabla 20. Costos de equipos	83
Tabla 21. Costos de insumos	84
Tabla 22. Costos de personal	86
Tabla 23. Costos indirectos	87
Tabla 24. Costos totales de la propuesta	88

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de cromado decorativo convencional	16
Figura 2. Gancheras	28
Figura 3. Agitación con sistema mecánico	29
Figura 4. Cuba con sistema de agitación por aire	29
Figura 5. Representación esquemática del equipo de descarga corona	32
Figura 6. Partes de una lámpara de mercurio a alta presión	33
Figura 7. Diagrama del proceso de metalizado optofísico para el plástico ABS	34
Figura 8. Tratamiento fotocatalítico en suspensión aplicado a una pieza ABS	37
Figura 9. Diagrama del proceso de metalizado fotocatalítico para el ABS	38
Figura 10. Esquema de los mecanismos principales de la ablación fototérmica	41
Figura 11. Diagrama proceso de metalizado optotérmico para el plástico ABS	42
Figura 12. Geometría de la pieza	43
Figura 13. Diagrama de proceso de cromado decorativo convencional	43
Figura 14. Diagrama de proceso de cromado decorativo convencional	55
Figura 15. Esquema de enjuague múltiple en cascada	60
Figura 16. Rectificador de corriente	63
Figura 17. Componentes internos de un filtro por platos	69
Figura 18. Dimensiones de las cubas	73
Figura 19. Distribución de las cubas	74
Figura 20. Distintos diseños de ganchos para suspender piezas	75
Figura 21. Parte posterior del anillo de plástico ABS	75
Figura 22. Gancheras con pinza a presión	76
Figura 23. Dimensiones de las gancheras	77

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Resistencia química del polipropileno	96
Anexo B. Resistencia química del PVC	99
Anexo C. Propiedades térmicas del PVC	102
Anexo D. Propiedades térmicas del polipropileno	104
Anexo E. Cotización rectificador	106

## GLOSARIO

ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS): polímero termoplástico de uso muy extendido para recubrimiento metálico.

ÁNODO: electrodo en el que ocurre una reacción de oxidación.

CÁTODO: electrodo deposito en el que ocurre una reacción de reducción.

CUBA: recipiente para soluciones de galvanoplastia con alta resistencia al ataque químico.

ELECTRODESPOSICIÓN: depositar metales mediante la aplicación de corriente eléctrica, lo que conlleva la reducción de un compuesto metálico disociado en agua y la deposición del metal resultante de la semirreacción de reducción sobre una superficie conductora.

GALVANOPLASTIA: proceso de deposición electrolítica de capas metálicas sobre objetos no metálicos que principalmente son plásticos, revestidos inicialmente de una capa conductora que preparan la superficie para depositar posteriormente las capas metálicas.

GANCHERA: bastidor metálico usados para el tratamiento de las piezas en el proceso de galvanoplastia.

## RESUMEN

El presente proyecto de grado trata sobre el desarrollo de una propuesta para la línea de proceso de galvanoplastia en la empresa Nacional de Licuadoras Naliet S.A.S. ya que la empresa desea contar con una línea de galvanoplastia que permita el control de calidad de la pieza cromada. Se ha realizado un diseño de experimental sobre el efecto del tiempo y la concentración de ácido crómico con respecto al acabado de la pieza en la etapa de cromado y así seleccionar las condiciones más adecuadas para esta etapa como también para el resto de etapas del proceso convencional. Además se ha determinado los costos totales de la propuesta final.

El material de la pieza a tratar es plástico ABS. Se utilizaron ánodos de cobre, níquel y plomo en las etapas de Cobrizado ácido, niquelado y cromado respectivamente, los recubrimientos obtenidos en la pieza son para fines decorativos, mas no para medios severos de corrosión. Se controló los parámetros: concentración de componentes en las demás etapas, voltajes, temperatura y densidad de corriente según el proceso convencional.

En los resultados el recubrimiento final de la pieza no es afectado por el tiempo y si por concentración de ácido crómico en la etapa de cromado, donde se observa que se lograron acabados brillantes y con pocas irregularidades a concentraciones de ácido crómico de 216 g/L con un tiempo de trabajo de 1 min.

Debido a que se manejan grandes volúmenes de material, sobre todo por la cantidad de etapas de enjuague y algunos equipos e insumos costosos, el coste de la propuesta para la línea de galvanoplastia es de \$49.538.443 COP, a pesar de ser alto el costo de inversión se puede llegar a reducir con técnicas de mejoramiento de rendimientos de enjuagues, entre otros.

**PALABRAS CLAVES:** ABS, galvanoplastia, proceso electroquímico, cromado decorativo, cromo hexavalente, acabado superficial, ánodo.

## INTRODUCCIÓN

La galvanoplastia es un proceso utilizado para el recubrimiento de piezas no conductoras como lo son los plásticos ABS mediante un mecanismo de electrodeposición, este proceso es de gran importancia en numerosos sectores de la industria como por ejemplo el sector electrodoméstico; para este proceso son usados tanto métodos convencionales como innovadores que proporcionan a la pieza un recubrimiento metálico con un acabado brillante que le agrega valor. Actualmente, en la empresa Nacional de Licuadoras Naliet S.A.S este proceso es realizado por terceros lo que impide a la empresa el control de calidad en el acabado de las piezas.

Dada la necesidad de aumentar su competitividad en el mercado es importante buscar el mejor método de galvanoplastia que se ajuste a los requerimientos de la empresa Nacional de Licuadoras Naliet S.A.S y así poder destacar y ser aún más reconocida en el mercado. Para esto se determina el proceso más adecuado para la empresa, se selecciona de manera experimental las condiciones adecuadas para el proceso para luego poder determinar las especificaciones de cada etapa y equipos, y de esta manera determinar los costos que genera la propuesta de la línea de galvanoplastia para la empresa.

La presente propuesta no contempla el diseño básico ni el diseño a detalle, así como tampoco la fase de tratamiento de aguas resultantes del proceso de galvanoplastia.

## **1. MARCO TEORICO**

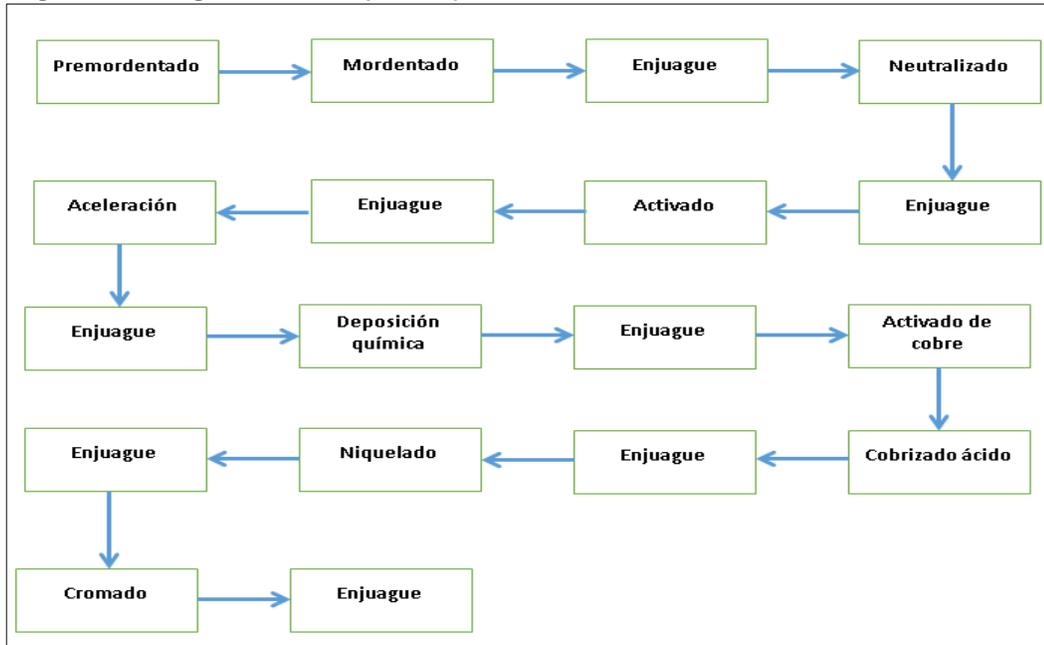
El presente capítulo tiene el objetivo de establecer el proceso para la línea de galvanoplastia para la empresa Nacional de Licuadoras Naliet S.A.S, ya que la empresa no cuenta con este proceso en la actualidad es necesario describir los métodos existentes en la industria para así poder seleccionar el más adecuado para este caso. A continuación, se describen cada una de las etapas del método convencional y los equipos necesarios como lo son el sistema de agitación, el sistema de calentamiento, cubas, gancheras y ánodos; también se describen los métodos alternativos como los tratamientos foto físicos, foto catalíticos y foto térmicos.

### **1.1 METODO CROMADO DECORATIVO CONVENCIONAL**

Gran parte de los recubrimientos metálicos sobre materiales plásticos se realiza sobre ABS ya que es un polímero termoplástico de gran uso en la industria, esto ha provocado que se desarrollen diferentes técnicas químicas y tecnologías para metalizar polímeros. La demanda de cromo electrolítico aumentó considerablemente luego de los trabajos realizados por Sargent en Norteamérica, antes de esto no se llevaba a cabo el cromado en la industria en ninguna escala.

Este proceso es el más común y empleado en la industria actualmente, su mayor aplicación es la de embellecer piezas o volverlas conductoras; las piezas plásticas se deben tratar en la fase pre-electrolítica que consiste en las etapas de premordentado, mordentado, neutralizado, activado y deposición química para luego realizar la fase de metalizado que son las etapas de activado de cobre, cobrizado ácido, níquelado y cromado. La figura 1 muestra el diagrama del proceso de galvanoplastia convencional.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de cromado decorativo convencional.



Fuente: elaboración propia.

**1.1.1 Premordentado.** Las piezas que se llevan al proceso de cromado presentan en su superficie impurezas, grasas y barnices que pueden dificultar el proceso de deposición del metal, para lograr una buena limpieza es necesaria la etapa de premordentado, además de liberar impurezas esta etapa ayuda a liberar tensiones del plástico, también es fundamental para que el butadieno de la superficie del plástico se consuma más fácilmente en la etapa de mordentado. La solución utilizada en esta etapa tiene una composición de 150 a 200 g/L de ácido crómico y ácido sulfúrico diluido al 70%, a una temperatura de 75 °C como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Condiciones etapa de premordentado.

Parámetro	Cantidad	Medida
Dosificación de ácido sulfúrico	150 - 200	g/L
Dosificación de ácido crómico	150 - 200	g/L
Temperatura	75	°C

Fuente: Elaboración propia.

**1.1.2 Mordentado.** En esta etapa, también denominada ataque químico o baño sulfo-crómico, la superficie de la pieza es acondicionada químicamente para obtener micro poros que permiten una base de anclaje para el metal en el polímero, aumentando el área superficial y permitiendo de esta manera una adecuada adherencia en la etapa posterior de metalizado.

Según la Guía de mejores técnicas disponibles en España del sector de tratamiento de superficies metálicas y plásticas, la composición del baño de mordentado es de 400 g/L de ácido crómico y ácido sulfúrico (diluido al 70%), a una temperatura de 60 a 70 °C con un tiempo de trabajo de 5 a 10 min.

Durante el proceso se produce cromo trivalente, esto determina la vejez del baño de mordentado siendo la concentración ideal de cromo trivalente de 5 a 40 g/L.<sup>1</sup>

Según el artículo “Estudio del proceso electroless para el metalizado de modelos plásticos usados en electroconformado”, para plástico ABS es necesaria una composición de ácido sulfúrico (diluido al 70%) y ácido crómico de 380 g/L, una temperatura de trabajo de 40 a 70 °C y tiempos de trabajo que no excedan 10 min, para asegurarse de atacar químicamente solamente las primeras micras del polímero y que no penetre la pieza.<sup>2</sup>

El uso excesivo de esta etapa puede llegar a deteriorar la superficie de la pieza; el mordentado puede ser complementado con una operación mecánica en la cual la pieza se somete a un rozamiento en un polvo abrasivo.<sup>3</sup>

Según la tesis de grado Cromado en plástico ABS, la composición de la solución es de 425 g/L de ácido crómico y 118 g/L de ácido sulfúrico (70% diluido), con un tiempo de trabajo de 5 a 7 min, una temperatura de 60 a 63 °C y agitación por aire. Se debe tener en cuenta que son necesarios una serie de enjuagues luego del baño sulfo-crómico para eliminar el excedente de cromo hexavalente y así evitar la contaminación de los baños posteriores; generalmente se realizan tres a cuatro enjuagues, o se puede realizar un enjuague en un tanque recuperador que se usará además para mantener el nivel de la solución de mordentado seguido de tres enjuagues en cascada. Se recomienda que la cuba esté forrada con fibra de vidrio ya que la reacción entre los ácidos es exotérmica.<sup>4</sup>

Las condiciones para la etapa de mordentado se muestran en la tabla 2.

---

<sup>1</sup> MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO. Guía de Mejores Técnicas disponibles en España del Sector de Tratamiento de Superficies Metálicas y Plásticas. España. 2009, 70p.

<sup>2</sup> DÍAZ, N; MARRERO, M.D; MONZÓN, M.D; HERNÁNDEZ, P.M y BENÍTEZ, A.N. Estudio del proceso electroless para el metalizado de modelos plásticos usados en electroconformado. En: Anuales de ingeniería mecánica (2010); p.3.

<sup>3</sup> HURTADO MELO, Sergio. Manual Acabado de transformados Poliméricos. ic Editorial, 2014. 59p.

<sup>4</sup> VALVERDE HERRERA, Roberto Vicente. Cromado en plástico ABS. Guayaquil, 1991, 42 p. Tesis de grado (ingeniero mecánico).Escuela Superior Politécnica de Litoral. Facultad de Ingeniería Mecánica.

Tabla 2. Condiciones etapa de mordentado.

Parámetro	Cantidad	Medida	Referencia
Dosificación de ácido sulfúrico	400	g/L	Guía de mejores técnicas disponibles en España del sector de tratamiento de superficies metálicas y plásticas
Dosificación de ácido crómico	400	g/L	
Temperatura	60 - 70	°C	
Tiempo	5 - 10	min	
Dosificación de ácido sulfúrico	380	g/L	Estudio del proceso electroless para el metalizado de modelos plásticos usados en electroconformado
Dosificación de ácido crómico	380	g/L	
Temperatura	40 – 70	°C	
Tiempo	10	min	
Dosificación de ácido sulfúrico	118	g/L	Cromado en plástico ABS
Dosificación de ácido crómico	425	g/L	
Temperatura	60 – 63	°C	
Tiempo	5 - 7	min	

Fuente: elaboración propia.

**1.1.3 Neutralizado.** Con el fin de evitar cualquier efecto nocivo del cromo hexavalente como por ejemplo la falta de metalización de la pieza y contaminación de los baños en las siguientes etapas, se realiza una neutralización de los restos de cromo hexavalente que pueden quedar en la pieza luego del mordentado, para lo cual se emplean soluciones ácidas reductoras que reduzcan el cromo hexavalente a cromo trivalente. Normalmente los enjuagues posteriores al baño de mordentado remueven casi por completo el cromo hexavalente.<sup>5</sup>

Según la tesis de grado Cromado en plástico ABS, la composición debe ser de 1.5 cm<sup>3</sup>/L de ácido clorhídrico, un tiempo de trabajo de 5 min, a una temperatura de 27 °C, dos enjuagues y agitación por aire.<sup>6</sup>

Según la Guía de mejores técnicas disponibles en España del sector de tratamiento de superficies metálicas y plásticas, la concentración recomendada

<sup>5</sup>Mac Dermid Española S.A. La metalización galvánica de los plásticos. España, 12 p.

<sup>6</sup> VALVERDE HERRERA, op. cit, p. 43

para el agente reductor de cromo hexavalente es de 2 a 4 cm<sup>3</sup>/L a una temperatura de 25 a 35 °C con un tiempo de trabajo de 1 a 3 min.<sup>7</sup>

Según el artículo Estudio del proceso electroless para el metalizado de modelos plásticos, la composición para esta solución es de 1 a 2 cm<sup>3</sup>/L de ácido clorhídrico, temperatura ambiente y un tiempo de 6 a 8 min.<sup>8</sup>

Las condiciones para la etapa de neutralizado se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Condiciones etapa de neutralizado.

Parámetro	Cantidad	Medida	Referencia
Dosificación de ácido clorhídrico	1.5	cm <sup>3</sup> /L	Cromado en plástico ABS
Temperatura	27	°C	
Tiempo	5	min	
Dosificación agente reductor	2 - 4	cm <sup>3</sup> /L	Guía de mejores técnicas disponibles en España del sector de tratamiento de superficies metálicas y plásticas
Temperatura	25 - 35	°C	
Tiempo	1 - 3	min	
Dosificación de ácido clorhídrico	1 a 2	cm <sup>3</sup> /L	Estudio del proceso electroless para el metalizado de modelos plásticos
Temperatura	Ambiente		
Tiempo	6 - 8	min	

Fuente: elaboración propia.

**1.1.4 Activación.** En esta etapa la superficie del polímero es activada empleándose complejos químicos que penetran los micro poros obtenidos en el mordentado para así activar la superficie y hacerla conductora.

Es necesaria previamente una preactivación usando una disolución de una sustancia reductora la más usada es cloruro de estaño (II) y ácido sulfúrico.

Luego de pasar la pieza por un enjuague se procede a la activación en la cual se usa una solución de una sal de paladio, plata u oro que tiene propiedades catalizadoras adecuadas para reacciones de transferencia de electrones para que posteriormente se deposite el recubrimiento metálico por vía auto-catalítica.

Según la tesis de grado Cromado en plástico ABS, es necesaria una composición de 20 g/L de cloruro de paladio, 0.2 g/L de ácido clorhídrico y 240 g/L de cloruro

<sup>7</sup> MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO, op.cit, 70 p.

<sup>8</sup> DÍAZ, N; MARRERO, M.D; MONZÓN, M.D; HERNÁNDEZ, P.M y BENÍTEZ, A.N, op. cit, p.3

de estaño, con un tiempo de trabajo de 5 a 7 min, una temperatura de 27 °C, dos enjuagues y sistema de agitación mecánico.<sup>9</sup>

Según el manual Acabado de transformados Poliméricos, la composición de la solución es de 0.25 g/L de ácidos fuertes, 4 a 8 g/L de sales de estaño, 0.05 a 0.16 g/L de sales de paladio, a una temperatura de 25 a 30 °C y un tiempo de trabajo de 3 a 6 min.<sup>10</sup>

Según el artículo Estudio del proceso electroless para el metalizado de modelos plásticos, la composición del preactivado es de 30 g/L cloruro de estaño (II), 60 g/L de ácido clorhídrico, a temperatura ambiente y un tiempo de trabajo de 5 a 10 min. Para el activado se recomiendan dos formulaciones, la primera: 1 g/L de nitrato de plata y 10 g/L de amoniaco, a una temperatura de 55 °C y un tiempo de 10 a 15 min; la segunda formulación: 0.02 g/L de cloruro de paladio y 0.4 g/L de ácido clorhídrico, a temperatura ambiente y un tiempo de trabajo de 10 a 15 min.<sup>11</sup>

Para escoger la solución más adecuada se tienen en cuenta las ventajas de la solución de nitrato de plata frente a la solución de cloruro de paladio: Los núcleos de plata son visibles mientras que los núcleos de paladio no son visibles, aparecen manchas amarillas o grises visibles que identifican las zonas en las que no será posible la deposición de plata, el activado mediante nitrato de plata requiere de temperatura (en torno a 50°C), mientras que el activado con cloruro de paladio se realiza a temperatura ambiente.<sup>12</sup>

Las condiciones para la etapa de activación se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Condiciones etapa de activación.

Parámetro	Cantidad	Medida	Referencia
Dosificación de cloruro de Paladio	20	g/L	Cromado en plástico ABS
Dosificación de ácido clorhídrico	0.2	g/L	
Dosificación de estaño	24	g/L	
Temperatura	27	°C	
Tiempo	5 - 7	min	

<sup>9</sup> VALVERDE HERRERA, op. cit, p. 43

<sup>10</sup> HURTADO MELO, op. cit, p. 60

<sup>11</sup> DÍAZ, N; MARRERO, M.D; MONZÓN, M.D; HERNÁNDEZ, P.M y BENÍTEZ, A.N, op. cit, p.4

<sup>12</sup> DÍAZ, N; MARRERO, M.D; MONZÓN, M.D; HERNÁNDEZ, P.M y BENÍTEZ, A.N, op. cit, p.4

Tabla 4. (Continuación)

Parámetro	Cantidad	Medida	Referencia
Dosificación de ácidos fuertes	0.25	g/L	Manual Acabado de transformados Poliméricos
Dosificación de sales de estaño	4 – 8	g/L	
Dosificación de sales de paladio	0.05 – 0.16	g/L	
Temperatura	25 – 30	°C	
Tiempo	3 - 6	min	
Dosificación de nitrato de plata	1	g/L	Estudio del proceso electroless para el metalizado de modelos plásticos
Dosificación de amoniaco	10	g/L	
Temperatura	55	°C	
Tiempo	10 - 15	min	
Dosificación de cloruro de paladio	0.02	g/L	Estudio del proceso electroless para el metalizado de modelos plásticos
Dosificación de ácido clorhídrico	0.4	g/L	
Temperatura	Ambiente		
Tiempo	10 – 15	min	

Fuente: elaboración propia.

**1.1.5 Aceleración.** Tras la etapa de activación el paladio metálico se encuentra presente en la superficie de la misma rodeado por hidróxido de estaño (II), este último debe ser eliminado de la superficie antes de que el paladio comience a desarrollar su actividad catalítica ya que puede inhibir la acción de la deposición química y por tanto no sería posible el metalizado. En la etapa de aceleración se elimina el exceso de estaño de la pieza dejando los sitios ocupados por el paladio preparados para el baño de deposición química. Los baños de aceleración están formados normalmente por ácidos orgánicos o minerales.<sup>13</sup>

Según la tesis de grado Cromado en plástico ABS, la composición de la solución es de 38.9 g/L de ácido fluoborico, con un tiempo de trabajo de 3 a 5 min, una

<sup>13</sup> REYES PINEDA, Henry. Estudio de la recuperación de cromo hexavalente mediante un reactor electroquímico de compartimentos separados por separadores cerámicos. Valencia, 2007, 26p. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Química y Nuclear.

temperatura de 49 °C, dos a tres enjuagues y sistema de agitación mediante aire.<sup>14</sup>

Según el Manual acabado de transformados Poliméricos, para eliminar el estaño se necesita una composición de ácidos orgánicos de 35 a 60 g/L, a una temperatura de 54 a 60 °C y un tiempo de trabajo de 2 a 3 min.<sup>15</sup>

Las condiciones de la etapa de aceleración se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Condiciones etapa de aceleración.

Parámetro	Cantidad	Medida	Referencia
Dosificación de ácido fluoborico	38.9	g/L	Cromado en plástico ABS
Temperatura	49	°C	
Tiempo	3 – 5	min	
Dosificación de ácidos orgánicos	35 - 60	g/L	Manual acabado de transformados Poliméricos
Temperatura	54 – 60	°C	
Tiempo	2 - 3	Min	

Fuente: elaboración propia.

**1.1.6 Deposición química.** También denominado proceso electroless; en esta etapa se recubre con una delgada película de metal la superficie del plástico, que no alcanza el espesor de una micra, otorgándole así la propiedad conductora.

El mecanismo de deposición del metal se basa en la descomposición catalítica del reductor en la superficie activa del plástico en este caso el paladio o plata de la etapa de activación; se produce una reducción auto-catalítica ya que el metal depositado en esta etapa es el que cataliza su reducción; debido a esto no se requiere de corriente externa.

El baño está compuesto por una disolución acuosa de un agente reductor y una sal metálica. Los metales más empleados para la deposición química son el cobre y el níquel; y como sustancias reductoras son empleados borohidruros, hipofosfitos, formaldehído, hidracina y dimetilaminoborano.

Según la tesis de grado Cromado en plástico ABS, la composición del baño es de 33.02 g/L de cloruro de níquel, 53.2 g/L de hipofosfito de sodio, 82.4 a 89.9 g/L de citrato de sodio, con un tiempo de 5 a 7 min, una temperatura de 26 a 27 °C, un enjuague y agitación mecánica.<sup>16</sup>

<sup>14</sup> VALVERDE HERRERA, op. cit, p. 43

<sup>15</sup> HURTADO MELO, op. cit, p. 62

<sup>16</sup> VALVERDE HERRERA, op. cit, p. 48

Según el Manual acabado de transformados Poliméricos, la composición del baño para esta etapa es de 15 a 30 g/L de cloruro de níquel, 35 a 70 g/L de hipofosfito de sodio, 5 a 10 g/L de ácidos orgánicos, a una temperatura de 24 a 38 °C y tiempo de trabajo de 7 a 10 min. Con las anteriores concentraciones y parámetros de trabajo se consiguió un grosor de 0,25 a 0,80  $\mu\text{m}$  del metal.<sup>17</sup>

Las condiciones para la etapa de deposición química se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Condiciones etapa de niquelado químico.

Parámetro	Cantidad	Medida	Referencia
Dosificación de cloruro de níquel	33.02	g/L	Cromado en plástico ABS
Dosificación de hipofosfito de sodio	53.2	g/L	
Dosificación de citrato de sodio	82.4 – 89.9	g/L	
Temperatura	26 – 27	°C	
Tiempo	5 – 7	Min	
Dosificación de cloruro de níquel	15 - 30	g/L	Manual acabado de transformados Poliméricos
Dosificación de hipofosfito de sodio	35 - 70	g/L	
Dosificación de ácidos orgánicos	5 – 10	g/L	
Temperatura	24 – 38	°C	
Tiempo	7 - 10	Min	

Fuente: elaboración propia.

**1.1.7 Activación con cobre.** Luego de la fase pre-electrolítica se procede con la fase de metalización de la pieza, primeramente, se trata la pieza en un baño activador de cobre compuesto por 5 g/L ácido sulfúrico, 5 g/L de sulfato de cobre y un tiempo de trabajo de 5 min como se muestra en la tabla 7.

<sup>17</sup> HURTADO MELO, op. cit, p. 64

Tabla 7. Condiciones etapa de activación con cobre.

Parámetro	Cantidad	Medida
Dosificación de ácido sulfúrico	5	g/L
Dosificación de sulfato de cobre	5	g/L
Temperatura	18	°C
Tiempo	5	min

Fuente: elaboración propia.

**1.1.8 Cobrizado ácido.** Este baño es usado como revestimiento metálico ya que tiene gran ductilidad, la pieza pasa al baño de cobre ácido compuesto por 180 a 220 g/L de sulfato de cobre, 60 a 70 g /L de ácido sulfúrico y aditivos de brillos, con un tiempo de 20 min y temperatura de 18 a 22 °C como se muestra en la tabla 8. Este baño necesita de refrigeración ya que al superar los 22 °C los aditivos se pueden descomponer.<sup>18</sup>

Tabla 8. Condiciones etapa de cobrizado ácido.

Parámetro	Cantidad	Medida
Dosificación de ácido sulfúrico	60 – 70	g/L
Dosificación de sulfato de cobre	180 – 220	g/L
Temperatura	18 – 22	°C
Tiempo	20	min

Fuente: elaboración propia.

**1.1.9 Niquelado.** Antes de la etapa de cromado es necesario recubrir la pieza con otro metal como níquel, ya que el cromo tiene poco poder cubriente y la superficie puede tener imperfecciones.

El baño electrolítico de esta etapa está compuesto por un ión metálico, un electrolito soportante, agentes acomplejantes y aditivos orgánicos. Para este baño la solución más usada por su costo y sencillez es la solución tipo Watts que está compuesta por sulfato de níquel, que posee un anión estable que no es reducido por el cátodo además de ser la más económica; cloruro de níquel, para conservar los ánodos en solución, y ácido bórico, que estabiliza el pH de la solución.

Según la tesis de grado “Cromado en plástico ABS”, la composición del baño de níquel es de 299.6 g/L sulfato de níquel, 89.9 g/L de cloruro de níquel y 44.9 g/L de ácido bórico, a una temperatura de 27 °C, tres a cuatro enjuagues y agitación

<sup>18</sup> VALVERDE HERRERA, op. cit, p. 57.

mecánica. Una alternativa para recubrir la pieza de níquel luego de la activación sin necesidad de pasar la pieza por la etapa de deposición química es usar una solución de níquel brillante que está compuesta por sulfato de níquel, cloruro de níquel, ácido bórico, y adicionalmente abrillantadores primarios y secundarios que producen depósitos brillantes en la pieza; sin embargo estos depósitos son duros y quebradizos lo que hace que la solución de níquel brillante no sea recomendable para cubrir imperfecciones del plástico.<sup>19</sup>

Según el trabajo de grado “Métodos galvánicos en la industria química”, en esta etapa se debe trabajar a un pH de 5.6 a 5.8, densidad de corriente de 0.1 a 0.3 A/dm<sup>2</sup>, con concentraciones de sulfato de níquel de 240 a 300 g/L, cloruro de níquel de 40 a 60 g/L, ácido bórico de 25 a 40 g/L, temperatura de 25 a 50 °C, agitación por aire, ánodos de níquel ‘S’ en cestas. Los baños con 100 a 500 g/L se trabajan frecuentemente en frío empleando densidades de corriente de 0.6 A/dm<sup>2</sup>, cuando los baños son más concentrados, se usan en caliente y se puede aumentar la densidad de corriente hasta 6 a 8 A/dm<sup>2</sup> además de una reducción del tiempo.<sup>20</sup>

Las condiciones de la etapa de niquelado se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Condiciones etapa de niquelado.

Parámetro	Cantidad	Medida	Referencia
Dosificación de sulfato de níquel	299.6	g/L	Cromado en plástico ABS
Dosificación de cloruro de níquel	89.9	g/L	
Dosificación de ácido bórico	44.9	g/L	
Temperatura	27	°C	
Dosificación de sulfato de níquel	240 - 300	g/L	Métodos galvánicos en la industria química
Dosificación de cloruro de níquel	40 - 60	g/L	
Dosificación de ácido bórico	25 - 40	g/L	
Temperatura	25 - 50	°C	
Densidad de corriente	3 - 7	A/dm <sup>2</sup>	
pH	4.0 – 5.0		

Fuente: elaboración propia.

<sup>19</sup> VALVERDE HERRERA, op. cit, p. 57

<sup>20</sup> DALMAU JORDÁ, Daniel. Métodos galvánicos en la industria química. Barcelona, 2005, 208p. Trabajo de grado (Especialización en Química Industrial). Escola d’Enginyeria de Barcelona Est.

**1.1.10 Cromado.** El baño de cromo es uno de los baños más sencillos usados en la industria, se utiliza principalmente para mejorar el aspecto de piezas tanto metálicas como plásticas; inicialmente se implementó la solución de Sargent que está compuesta por ácido crómico y sulfato crómico pero este último se ha sustituido en algunos procesos por ácido sulfúrico; el ácido crómico aporta el cromo hexavalente.

Es muy importante para la especificación del baño tener en cuenta la relación de ácido crómico-ácido sulfúrico o relación sulfato, las condiciones de la etapa de cromado pueden variar a partir de esta relación. La relación ácido crómico-ácido sulfúrico puede verse afectada al aumentar la cantidad de sulfatos que es provocado por un incorrecto enjuague de la pieza en la etapa de niquelado, esto hace necesario que un enjuague meticuloso antes de la etapa de cromado. La cantidad de cromo que se deposita en la superficie en esta etapa es de 1 micra o menos.<sup>21</sup>

Según la tesis de grado Cromado en plástico ABS, la composición es de 229.2 g/L de ácido crómico, a una temperatura de 46 °C, dos a tres enjuagues y agitación mediante aire.<sup>22</sup>

Según el trabajo de grado Métodos galvánicos en la industria química, la composición del baño es de 250 g/L de ácido crómico, 2.5 g/l de ácido sulfúrico (70% diluido). Se recomienda una densidad de 9 A/dm<sup>2</sup> para piezas planas y una densidad de corriente de 10 a 20 A/dm<sup>2</sup> dependiendo de la concentración y temperatura, para la mayoría de los artículos es recomendado una densidad de corriente de 10 a 15 A/dm<sup>2</sup>; según la naturaleza de la pieza, temperatura y distancia entre electrodos la densidad de corriente media se obtiene a 5 o 6 V. Con respecto a la temperatura debe ser de 40 a 45 °C.<sup>23</sup>

Según la Guía de mejores técnicas disponibles en España del sector de tratamiento de superficies metálicas y plásticas, la composición necesaria es de 180 a 300 g/L ácido crómico, 1 a 4 g/L de ácido sulfúrico (70% diluido), a una temperatura de 40 a 50 °C, densidad de corriente de 5 a 55 A/dm<sup>2</sup>, tiempo de 2 a 3 min y ánodos insolubles 93% Pb, 7% Sn.<sup>24</sup>

Según el artículo Cromado: un proceso de dos caras, la composición de la solución es de 200 a 300 g/L de ácido crómico, 1 a 3 g/L de ácido sulfúrico (70%

---

<sup>21</sup> BUSTOS CEDEÑO, Andrea Lizbeth; ROSERO ESPÍN, Marco Vinicio. Método electroquímico para la reducción de cromo hexavalente de aguas residuales de la industria galvanoplástica. Quito, 2016, 11p. Trabajo de Titulación (Ingeniera Química).Universidad Central de Ecuador. Facultad de Ingeniería Química.

<sup>22</sup> VALVERDE HERRERA, op. cit, p. 57

<sup>23</sup> DALMAU JORDÁ, op. cit, p.235

<sup>24</sup> MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO, op. cit, p.212

diluido), a una temperatura de trabajo de 36.5 a 45 °C, densidad de corriente de 6 a 12 A/dm<sup>2</sup>.<sup>25</sup>

Las condiciones de la etapa de cromado se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Condiciones etapa de cromado.

Parámetro	Cantidad	Medida	Referencia
Dosificación de ácido crómico	229.2	g/L	Cromado en plástico ABS
Temperatura	46	°C	
Dosificación de ácido crómico	250	g/L	Métodos galvánicos en la industria química
Dosificación de ácido sulfúrico	2.5	g/L	
Densidad de corriente	10 – 15	A/dm <sup>2</sup>	
Temperatura	40 – 45	°C	Guía de mejores técnicas disponibles en España del sector de tratamiento de superficies metálicas y plásticas
Dosificación de ácido crómico	180 – 300	g/L	
Dosificación de ácido sulfúrico	1 – 4	g/L	
Densidad de corriente	5 – 55	A/dm <sup>2</sup>	
Temperatura	40 – 50	°C	
Tiempo	2 - 3	min	Cromado: Un Proceso de Dos Caras
Dosificación de ácido crómico	200 – 300	g/L	
Dosificación de ácido sulfúrico	1 – 3	g/L	
Densidad de corriente	6 – 12	A/dm <sup>2</sup>	
Temperatura	37 – 45	°C	

Fuente: elaboración propia.

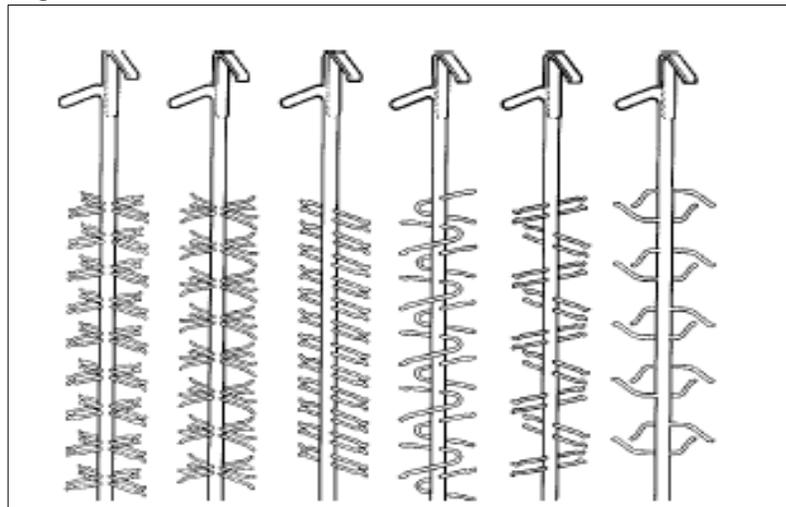
**1.1.11 Equipos.** Las cubas deben ser resistentes al ataque químico de los baños, no deben contaminar los baños, deben ser resistente a altas temperaturas y aislar la corriente eléctrica; la cuba de mordentado debe ser de plomo, vidrio o PVDF, las cubas de neutralización y activación de polipropileno o fibra de vidrio, las cubas de niquelado químico y niquelado brillante de fibra de vidrio sin rugosidad en su interior, las cubas de activación de cobre y cobrizado de fibra de vidrio recubiertas en PVC y la cuba de cromado de acero 316, fibra de vidrio o polipropileno recubierto en PVC. Las cubas para los procesos electrolíticos deben

<sup>25</sup> ROJAS CRUZ, María Cristina. Cromado: Un proceso de dos caras. En: Virtual Pro.(may,2016); p. 55.

ser de ancho superior a las cubas usadas en la fase pre-electrolítica, ya que deben contener los ánodos y es necesario dejar como mínimo un espacio de entre 10 y 15 cm entre las piezas a tratar y los ánodos.

Las piezas a tratar cuelgan de bastidores metálicos llamados gancheras que suelen ser de cobre o latón y en casos muy especiales de hierro o níquel como se muestra en la figura 2; o pueden utilizarse canastas de polipropileno pero son más usadas las gancheras ya que proporcionan un mejor contacto de la solución del baño con la pieza a tratar. Las barras en las que son colgados los ánodos están conectados a la terminal positiva de la fuente de alimentación y los soportes en los que se ubican las piezas a recubrir están conectados de la terminal negativa. El ánodo más apropiado para la etapa de níquelado es un ánodo de níquel y en la etapa de cromado un ánodo de plomo.

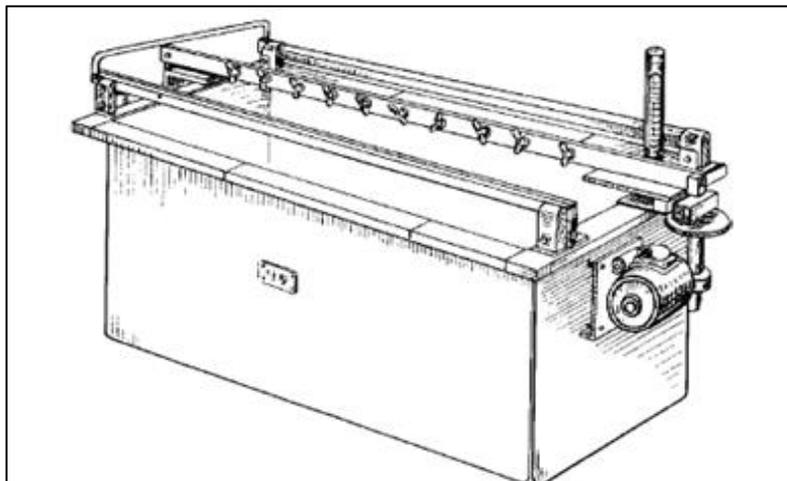
Figura 2. Gancheras.



Fuente: DALMAU JORDÁ, Daniel. Métodos galvánicos en la industria química. Barcelona, 2005, 208p. Trabajo de grado (Especialización en Química Industrial). Escola d'Enginyeria de Barcelona Est.

Con respecto a la agitación de las piezas denominada normalmente agitación mecánica o catódica como se muestra en la figura 3; consiste en desplazar la barra catódica de manera longitudinal en plantas manuales, es decir, desplazamiento paralelo a los ánodos.

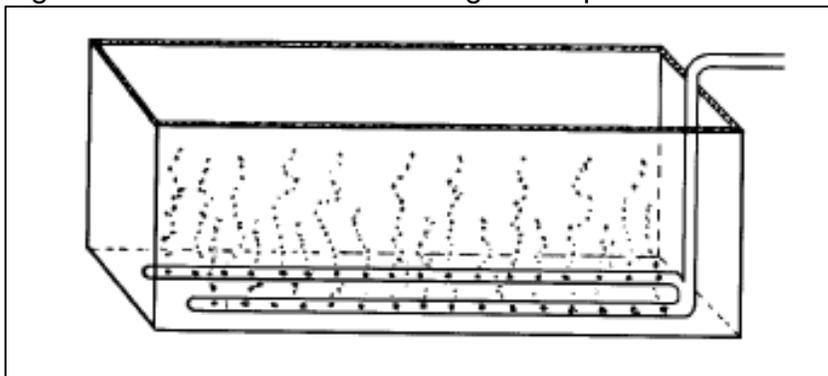
Figura 3. Agitación con sistema mecánico.



Fuente: DALMAU JORDÁ, Daniel. Métodos galvánicos en la industria química. Barcelona, 2005, 208p. Trabajo de grado (Especialización en Química Industrial). Escola d'Enginyeria de Barcelona Est.

La agitación por aire proporciona movimiento total a la solución y consiste en suministrar aire comprimido por medio de serpentines en los que se han practicado pequeños orificios como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Cuba con sistema de agitación por aire.



Fuente: DALMAU JORDÁ, Daniel. Métodos galvánicos en la industria química. Barcelona, 2005, 208p. Trabajo de grado (Especialización en Química Industrial). Escola d'Enginyeria de Barcelona Est.

Para el sistema de calentamiento los más utilizados son los calentadores eléctricos de inmersión, es recomendable usar calentadores tipo cuarzo para

sustancias ácidas o agresivas y calentadores de acero inoxidable para sustancias básicas o neutras, también se pueden utilizar resistencia en titanio.<sup>26</sup>

## 1.2 MÉTODOS ALTERNATIVOS

En la actualidad el proceso tradicional de la metalización de polímeros requiere de numerosas etapas para llevarse a cabo, lo que genera que el tiempo del proceso sea mayor, además la utilización de reactivos como los usados para la adherencia de la película metálica sobre el polímero obtenida por un tratamiento químico del polímero (sulfo-crómico o permanganato) proceso tóxico y muy contaminante, se traduzcan en elevados costos de mantenimiento, almacenaje y de tratamientos residuales para la empresa, por esto la búsqueda de métodos alternativos que puedan permitir suprimir estos componentes tóxicos o alterar el número de etapas del proceso es cada vez mayor.

Algunos tipos de plásticos, no pueden recubrirse de la película metálica de forma satisfactoria porque su baja polaridad impide que el recubrimiento se adhiera de forma adecuada, el cual es el caso del plástico ABS. Entonces deben efectuarse pretratamientos complementarios que originan transformaciones en la superficie de los plásticos y un aumento de la polaridad del material, con vistas a una mejor adherencia de la capa aplicada.

Los métodos utilizados para aumentar la polaridad son el tratamiento corona (transformación superficial a base de descargas de alta tensión), tratamiento con plasma a baja presión, ataque con ácido crómico en caliente, aplicación de una solución de benzofenona y aplicación de radiación ultravioleta, flameado, aplicación de solución de poliolefinas cloradas, entre otras.<sup>27</sup>

A continuación se presentan tres métodos de modificación superficial de bajo impacto ambiental que facilite al acondicionamiento de la superficie del ABS sin el requerimiento de agentes químicos.

**Tratamiento optofísico.** Este tratamiento consiste en la alternancia de descargas Corona y radiación UV las cuales son utilizados en el tratamiento de superficies de polímeros donde hay un tipo de modificación morfológica a nivel superficial.

---

<sup>26</sup> DALMAU JORDÁ, op. cit, p.83-88.

<sup>27</sup> SANVICENTE VELASCO, I. (1996). El pintado de los elementos plásticos. November 29, 2017, disponible en: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/4222-El-pintado-de-los-elementos-plasticos.html>

**1.2.1.1 Tratamiento por descarga corona.** El tratamiento de superficies de diferentes polímeros usando una descarga eléctrica (Corona) en una atmósfera de aire, nitrógeno, helio o argón ha sido ampliamente usado a nivel industrial para obtener adhesión entre diferentes materiales.<sup>28</sup> El principio del tratamiento por descarga corona consiste en la presencia de una descarga de alto voltaje en un espacio gaseoso (generalmente aire) por medio de electrodos de diámetro pequeño esto hace que se forme un campo de ionización alterando las propiedades superficiales.

Como consecuencia de este tratamiento se producen cambios significativos en la superficie de los polímeros, destacando los siguientes:

- Aumento de la energía superficial. El aumento de la energía superficial de un polímero se puede deber principalmente a la introducción de grupos polares. Estos facilitan el mojado de la superficie por líquidos polares, disminuyendo los ángulos de contacto. La disminución en los ángulos de contacto facilita la adhesión del polímero con adhesivos polares.
- Entrecruzamientos en la superficie. Las partículas altamente energéticas, al impactar con el sustrato, provocan la creación de radicales de larga vida. Éstos pueden reaccionar con otras partículas reactivas, que contienen oxígeno y nitrógeno, produciendo fragmentos de bajo peso molecular. A su vez, estos radicales de cadenas adyacentes se pueden combinar entre sí mediante reacciones de entrecruzamiento.
- Rugosidad superficial. Mediante el tratamiento con descarga corona, la superficie del polímero se modifica físicamente a escala microscópica. Se crean cráteres donde puede penetrar el adhesivo, tinta o recubrimiento posterior, aumentando la adhesión.<sup>29</sup>

**1.2.1.2 Equipo de descarga corona.** El sistema del equipo de descarga Corona está constituido de una alimentación eléctrica y de una estación de descarga. La fuente de potencia acepta los 50/60 Hz estándar de potencia eléctrica y los convierte a una fase simple de una frecuencia mayor (nominalmente

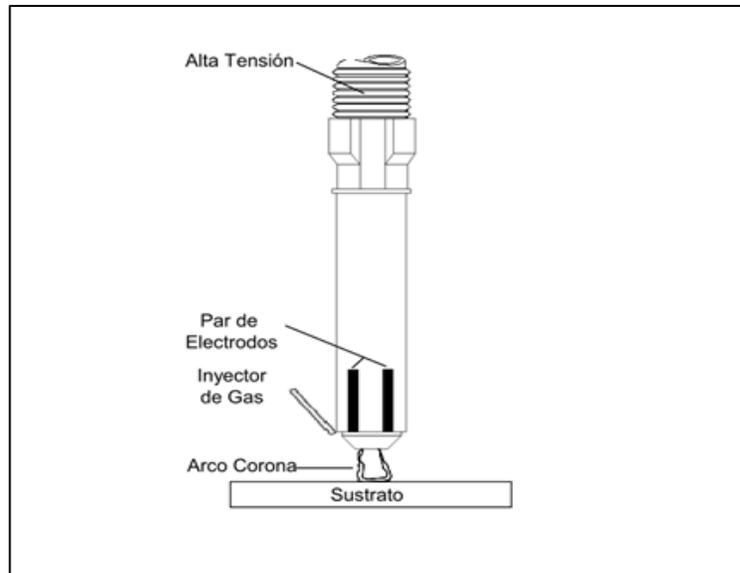
---

<sup>28</sup> YOVCHEVA, T.A., AVRAMOVA, I.A., MEKISHEV, G.A., & MARINOVA, T.S. (2007). Corona-charged polypropylene electrets analyzed by XPS. *Journal of Electrostatics*, p.667–671

<sup>29</sup> MARTÍNEZ GARCÍA, A. Tratamiento de copolímeros EVA mediante descarga corona. Influencia de la naturaleza y contenido de diferentes cargas. Alicante. (1999). Tesis doctoral. Universidad de Alicante.

de 10 a 30 KHz) de potencia, la cual alimenta a la estación de descarga. La estación de tratamiento aplica esta alta tensión a la superficie del material a través de un par de electrodos ubicados de forma paralela y separada por un espacio gaseoso que será ionizado después de aplicarse la tensión de 20 kV, como se puede observar en la figura 5.

Figura 5. Representación esquemática del equipo de descarga corona.



Fuente: OZDEMIR, M., & SADIKOGLU, H. (1998). A new and emerging technology: Laser-induced surface modification of polymers. Trends in Food Science & Technology, 9(4).

La elección del tipo de carga, diámetro y tamaño de partícula depende fundamentalmente de las propiedades deseadas del producto acabado y del método de procesado, y dicha elección se realiza siguiendo criterios económicos o de rendimiento.

Las cargas se pueden clasificar según su origen, función, composición o morfología. Una clasificación simple de las cargas se basa en cargas finas inertes (diluyentes) y cargas reforzantes (o activas).<sup>30</sup> La principal diferencia entre cargas

---

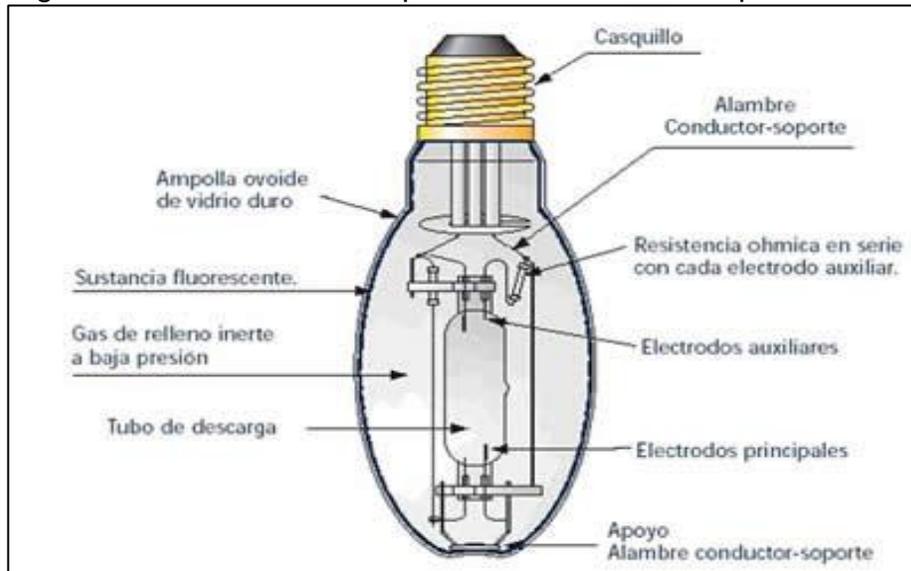
<sup>30</sup> MARTÍN MARTÍNEZ, José Miguel. Adhesión de Polímeros y Elastómeros mediante Adhesivos de Contacto, Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Alicante. (1992).

inertes y reforzantes es su influencia en las propiedades físicas, reológicas y mecánicas del polímero al que se adiciona.

**1.2.1.3 Tratamiento por radiación ultravioleta (UV).** La exposición a la radiación UV logra provocar cambios micro-estructurales, los cuales pueden llevar a la oxidación y degradación de materiales poliméricos. Este proceso de foto-oxidación deriva en cambios químicos y una normal reducción del peso molecular del polímero. Por consecuencia el material suele ser más brillante, coincidiendo con una reducción de la fuerza de tensión, fuerza al impacto, elongación y rompimiento.

Este tratamiento del polímero a nivel superficial está influenciado por la distancia entre el sustrato y el bulbo de la lámpara (Figura 6.) así como también por el tiempo de irradiación.

Figura 6. Partes de una lámpara de mercurio a alta presión.



Fuente: Romero Sánchez, M. D. (2002, June 11). Un nuevo tratamiento superficial con radiación ultravioleta para mejorar la adhesión de cauchos SBS. Universidad de Alicante. Disponible en: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/3949>.

Otros factores que también pueden afectar a la efectividad del tratamiento superficial de materiales con radiación UV son los siguientes:

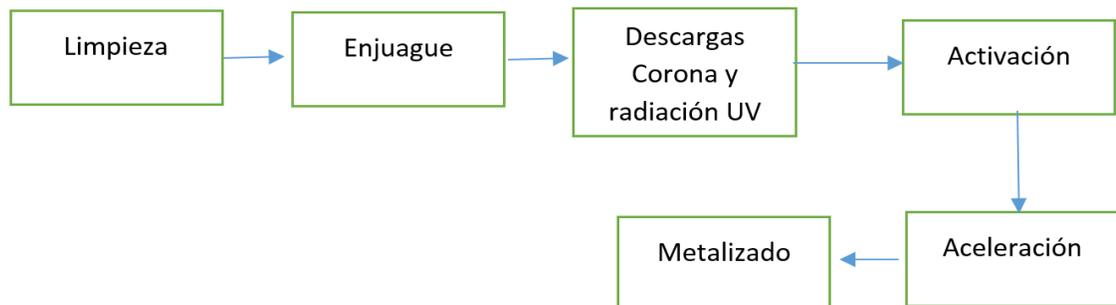
- Intensidad o longitud de onda de la radiación UV.
- Repetición de pulsos, en el caso de que la radiación UV se realizase con lámparas láser.
- Temperatura del sustrato.

- Composición química, estructura y morfología del sustrato.
- Presencia y naturaleza de agentes de contaminación en la superficie.
- Presencia de gases que pueden influir en la reacción de formación o descomposición de ozono (vapor de agua, óxidos de nitrógeno, etc).

Aunque el proceso de radiación con luz UV no es igualmente sensible a todos estos factores. Los principalmente los factores que más influyen en las modificaciones superficiales que se producen en un polímero son la estructura del polímero, la concentración de ozono y la naturaleza de la radiación (tipo de lámpara UV utilizada y longitud de onda).<sup>31</sup>

En la figura 7 se muestra el diagrama del proceso de metalizado por el método optofísico en el cual la etapa que sustituye la de ataque químico, se aplica la alternancia de las técnicas (Descargas Corona y radiación UV) descritas en esta sección. Además la etapa de neutralización que es necesaria para el proceso convencional de metalizado en plástico ABS puede ser suprimida, ya que al no emplear la mezcla sulfo-crómica se prescinde de esta etapa, pasando de manera directa a la activación del sustrato por inmersión en el baño de paladio.

Figura 7. Diagrama del proceso de metalizado optofísico para el plástico ABS.



Fuente: elaboración propia.

**1.2.2 Tratamiento fotocatalítico.** Este tratamiento consiste en la utilización de uno de los proceso de oxidación avanzada usados para el tratamiento de efluentes líquidos, los cuales fueron producto de la creciente demanda de la sociedad por

---

<sup>31</sup> POULIS, J. A., COOL, J. C., & LOGTENBERG, E. H. P. (1993). UV/ozone cleaning, a convenient alternative for high quality bonding preparation. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, citado por Romero Sánchez, M. D. (2002, June 11). Un nuevo tratamiento superficial con radiación ultravioleta para mejorar la adhesión de cauchos SBS. universidad de Alicante., 32p.

la descontaminación de aguas de diversos orígenes, incluyendo los impactos causados en los recursos hídricos por las industrias, desarrollando estas nuevas tecnologías de purificación.<sup>32</sup>

Con el fin de obtener una modificación superficial que sea suficiente como para permitir el pre-metalizado con níquel o cobre, a través de métodos de metalizado, se utiliza un método fotocatalítico altamente oxidante como el proceso de fotocátalisis heterogénea.

**1.2.2.1 Fotocatálisis heterogénea (FCH).** La fotocátalisis heterogénea se basa en la absorción directa o indirecta de energía radiante (visible o UV) por un sólido semiconductor (fotocatalizador heterogéneo de banda ancha). En la región interfacial entre el sólido semiconductor excitado y la solución tienen lugar las reacciones de destrucción de compuestos contaminantes, sin que el catalizador sufra cambios químicos. Existen muchos materiales que tienen las propiedades ideales para comportarse como un catalizador y llevar a cabo reacciones foto sensibilizadas, como por ejemplo,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{CdS}$ ,  $\text{ZnO}$ , óxidos de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ),  $\text{ZnS}$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , etc.<sup>33</sup>

La fotocátalisis heterogénea, a diferencia de la mayoría de los procesos fotoquímicos, no es selectiva y puede emplearse para tratar distintos tipos de contaminantes, incluso mezclas de contaminantes, por lo que se ha empleado en varios tratamientos de afluentes para su descontaminación. Es un proceso complejo que depende de multitud de variables como: naturaleza (composición y estructura) del catalizador, tipo y concentración del contaminante, procesos de adsorción del contaminante, medio de reacción (acuoso o aire), presencia de  $\text{O}_2$  en el aire, configuración del foto-reactor, fuente de luz empleada (natural como el sol, o artificial como lámparas) o temperatura a la que se realiza el proceso.

Los parámetros que influyen en el proceso de fotocátalisis son los siguientes:

- Longitud de onda e intensidad de la luz: El dióxido de titanio absorbe longitudes de onda inferiores a 400 nm, que corresponden al espectro ultravioleta. Cualquier radiación de estas características tendrá la capacidad de generar en los semiconductores pares electrón-hueco.
- El catalizador: Cuanto mayor sea la dosis del catalizador, mayor será en principio la eficiencia obtenida. En lo que respecta a su disposición, el dióxido de titanio puede estar en suspensión o inmovilizado. Algunas características

---

<sup>32</sup> CACHO, L. M. Desarrollo de procesos verdes para modificar la superficie del ABS previo a su metalización. 2009, 185p. Centro de investigación y desarrollo tecnológico en electroquímica Ecole centrale de Lyon.

<sup>33</sup>CACHO, L. M., op. cit, p 186.

generales que debe presentar un catalizador son: área superficial alta, distribución de tamaño de partícula uniforme, forma esférica de las partículas y ausencia de porosidad interna.

- Efecto del oxígeno: Los huecos generados en la fotocatalisis producen radicales hidroxilo en la interfase del semiconductor con el agua. Los electrones que son generados requieren una especie aceptora de electrones, evitando que estos se recombinen con los huecos. Así, el oxígeno molecular actúa como aceptor de electrones generándose el radical superóxido, siendo este un promotor de más radicales hidroxilo. El oxígeno es el oxidante más empleado, ya que es el más barato y no compite con el sustrato en el proceso de adsorción además de que un aumento de  $O_2$  favorece el proceso de fotocatalisis.
- Temperatura y pH: La variación de la temperatura no afecta significativamente la velocidad de las reacciones fotocatalíticas. Aparentemente el pH no afecta notablemente este tratamiento ya que se han obtenido buenos resultados empleando  $TiO_2$  a diferentes rangos de pH, pero también se ha comprobado que éste afecta el tamaño de las partículas, la carga superficial y las posiciones de los máximos y mínimos de las bandas de conducción, así como la forma química del compuesto a degradar. Debe trabajarse a un pH diferente al punto isoeléctrico para el  $TiO_2$  (pH 7), donde la superficie del óxido no está cargada.<sup>34</sup>

**1.2.2.2 Modificación superficial del ABS con fotocatalisis heterogénea.** El uso de fotocatalisis heterogénea como se mencionó anteriormente no solo puede emplearse al tratamiento de efluentes si no que se ha demostrado que el principio básico a través del cual se generan radicales  $OH\cdot$ , sirve también para modificar la superficie del copolímero termoplástico Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS).<sup>35</sup> En la figura 8 se puede observar un diagrama del tratamiento fotocatalítico en piezas de plástico ABS.

Los radicales  $OH\cdot$  generados por el proceso fotocatalítico actúan como agentes altamente oxidantes que fácilmente pueden oxidar y destruir la mayoría de los compuestos orgánicos. Esto sugiere que los principales anillos de carbono

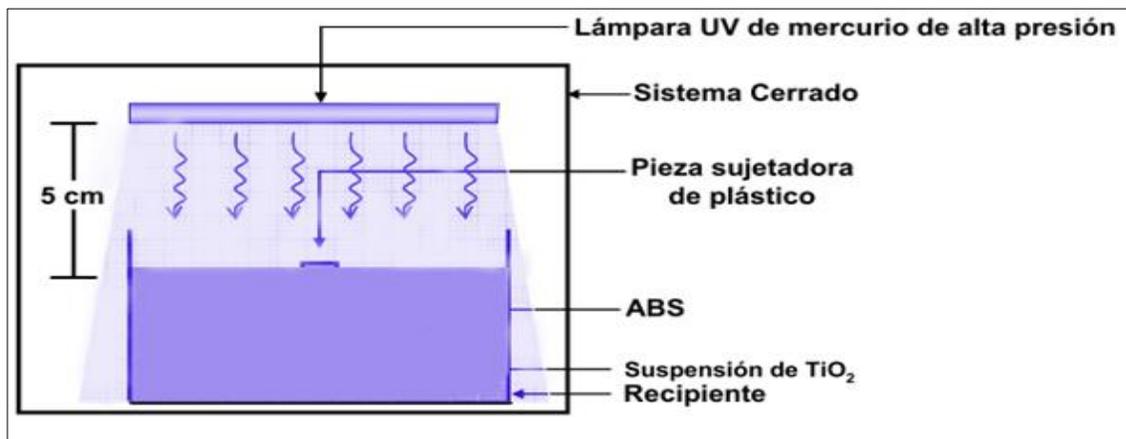
---

<sup>34</sup> GARCÉS GIRALDO, L., MEJÍA FRANCO, E., & SANTAMARÍA ARANGO, J. (25 septiembre de 2017). Artículo de Revisión La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Disponible en: ([http://www.lasallista.edu.co/fxcu/media/pdf/Revista/Vol1n1/083-92 La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento.pdf](http://www.lasallista.edu.co/fxcu/media/pdf/Revista/Vol1n1/083-92%20La%20fotocatalisis%20como%20alternativa%20para%20el%20tratamiento.pdf))

<sup>35</sup> MEAS V.Y, CACHO, L. M., ORTEGA B.R, PÉREZ B.J, (2005). Proceso de tratamiento de piezas de ABS para generarles una superficie rugosa. Exp. PA/a/2005/008856. México.

comiencen a ser destruidos y reaccionen rápidamente con oxígeno como una consecuencia de la reacción fotocatalítica de la solución dispersa de  $\text{TiO}_2$ . Las especies oxigenadas activadas tales como  $\text{C}=\text{O}$ ,  $\text{C}-\text{O}$ ,  $-\text{OH}$  y  $-\text{COOH}$ , pueden inducir la mojabilidad de la funcionalidad polar, que permite un mayor contacto íntimo entre el sustrato y la capa del depósito metálico. Así la reacción fotocatalítica puede contribuir a la mejora en la fuerza de adherencia de la película del depósito electroless en la superficie del polímero.<sup>36</sup>

Figura 8. Tratamiento fotocatalítico en suspensión aplicado a una pieza ABS.

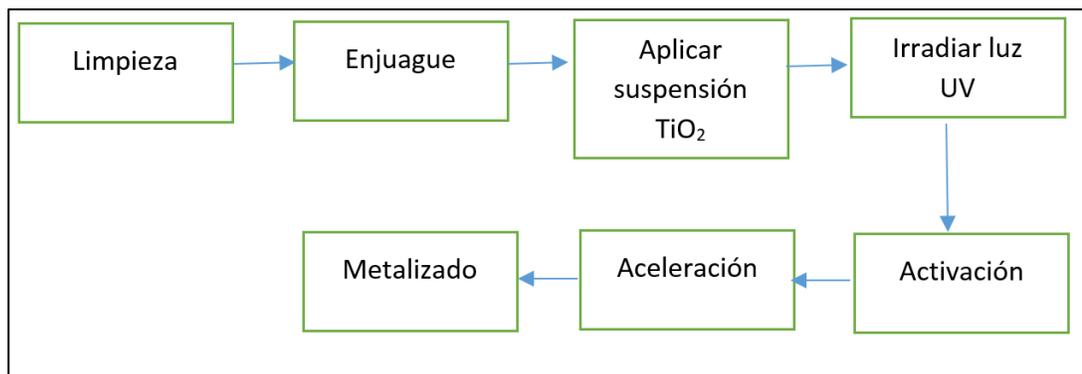


Fuente: OZDEMIR, M., & SADIKOGLU, H. (1998). A new and emerging technology: Laser-induced surface modification of polymers. Trends in Food Science & Technology, 9(4).

En la figura 9 se muestra el diagrama del proceso de metalizado de plástico ABS donde se reemplaza la etapa de ataque químico de la mezcla sulfo-crómica por la técnica de modificación superficial fotocatalítico.

<sup>36</sup> CACHO, L. M, Op. cit., 8p.

Figura 9. Diagrama del proceso de metalizado fotocatalítico para el ABS.



Fuente: elaboración propia.

**1.2.3 Tratamiento optotérmico.** Las superficies poliméricas son mayormente inertes, de naturaleza hidrofóbica, y prácticamente tiene una baja energía superficial. Por consiguiente, no poseen propiedades de superficie específicas necesarias en ciertas aplicaciones, como el metalizado de polímeros para el área electrónica o decorativa. Si bien las superficies de las películas poliméricas han sido modificadas químicamente durante muchos años, estos suelen provocar cambios superficiales no deseados, como los siguientes: una superficie rugosa, con un excesivo daño y contaminación superficial. Estos métodos requieren rigurosos procesos de control de los baños y efluentes, y puede causar severos problemas ambientales debido a los agentes químicos empleados. Por esto nuevos métodos de tratamiento de superficies han sido desarrollados para introducir grupos funcionales conteniendo oxígeno en la superficie del polímero, principalmente para mejorar la adhesión.<sup>37</sup>

**1.2.3.1 Modificación láser de polímeros.** Por medio de la modificación de la superficie a través de la radiación se logra realizar modificaciones precisas superficiales con un ligero daño superficial que con los métodos físicos y químicos no se consigue. Las modificaciones químicas y morfológicas de superficie de polímeros inducido por la ablación láser puede llevar a la mejora de la adhesión de diferentes recubrimientos. Debido a las propiedades que ofrece este tipo de tratamiento y el potencial en las aplicaciones industriales, la modificación superficial por láser es ampliamente usada en áreas como electrónica, opto-

---

<sup>37</sup> OZDEMIR, M., & SADIKOGLU, H. (1998). A new and emerging technology: Laser-induced surface modification of polymers. *Trends in Food Science & Technology*, 9(4), 159.

electrónica, Aero-espacio, procesamiento de materiales, industria automotriz donde se requiere un alto grado de precisión.<sup>38</sup>

Este es un método satisfactorio para procesar materiales poliméricos en una gran variedad de campos, como la fabricación de micro-estructuras, maquinaria de ultra-precisión, síntesis y tratamiento de superficies. En particular, en el procedimiento de fabricación de materiales para el campo de la microelectrónica.<sup>39</sup>

Sin embargo, esta tecnología aún no se ha implantado masivamente en el sector productivo industrial debido a varias razones entre las que se destacan la elevada inversión en el equipo, la baja tasa de repetición o su mayor complejidad y necesidad de mantenimiento por personal altamente cualificado.<sup>40</sup>

**1.2.3.2 Características de los láseres.** Para entender mayormente el efecto que el tratamiento láser puede tener sobre los polímeros es importante entender las características del mismo. La luz láser es significativamente diferente de la luz convencional y tiene aplicaciones importantes en el área de la electrónica, mecánica, médica, informática, entre otras.

A continuación se presentan las características propias de la luz láser:

- Un láser produce radiación de muy alta intensidad que puede ser colimada sin que ocurra dispersión. Esto significa que puede viajar por encima de grandes distancias mientras mantiene su concentración de energía.
- Es monocromática. Esto significa que tiene un único color. Por lo tanto, puede ser usado para interaccionar selectivamente con varios materiales incluyendo metales, plásticos, papel, vidrio.
- Es altamente enfocable, lo que permite el control de precisión de la entrada de calor a áreas específicas.
- No está sujeto a desgaste. Esto significa que se evita la contaminación del material con el cual se está trabajando.

---

<sup>38</sup> Ibid., 167p.

<sup>39</sup> BENNETT, L. S., LIPPERT, T., FURUTANI, H., FUKUMURA, H., & MASUHARA, H. (1996). Laser induced microexplosions of a photosensitive polymer. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 63(4), 327p.

<sup>39</sup> RODRÍGUEZ, G. F. (2016). Funcionalización de superficies metálicas mediante procesos láser. Escuela técnica superior de ingenieros industriales de Madrid.

- Realiza un modo de operación de onda continua o de pulsos. Lo que representa un amplio rango en el cual los materiales pueden ser tratados exitosamente.

Los tratamientos superficiales mediante láseres, dependiendo del propósito de la modificación superficial, puede llevarse a cabo por diferentes métodos, donde se deben tener en cuenta las condiciones ambientales, el material o materiales a ser tratados. Actualmente se cuenta con un gran número de láseres que son capaces de operar a diferentes longitudes de onda y modos operacionales (onda continua o pulsada) logrando que se pueda adquirir las características que se desean para el producto final.<sup>41</sup>

Varios criterios son los que deben considerarse durante la elección de un posible láser para la modificación superficial de materiales, hay algunos que son característicos del equipo utilizado y no pueden modificarse, como la longitud de onda, la duración del pulso y eficiencia del equipo. Otros parámetros dependerán de las condiciones de irradiación establecidas según los objetivos propuestos, como es el caso de la energía por pulso, el radio del haz, la tasa de repetición de pulso, la cantidad de pulsos emitidos, la velocidad de barrido, así como gastos corrientes y de inversión y tiempo de vida del gas. Las características ópticas y térmicas del material a ser tratado deben ser conocidas antes del procesamiento láser, porque tales propiedades sustancialmente afectan la condición de la superficie del material durante y después del tratamiento.<sup>42</sup>

**1.2.3.3 Ablación láser: térmica y fotoquímica.** Dependiendo de la intensidad del láser y propiedades de los materiales, dos diferentes fenómenos de interacción pueden presentarse: ablación fotoquímica y/o térmica.

En términos generales, la ablación láser se produce cuando la energía del haz láser absorbida por el material es lo suficientemente intensa como para que se produzca un aumento significativo de la temperatura y con ello fenómenos de sublimación, evaporación y expulsión de partículas del mismo como se puede observar en la figura 10. Donde la utilización de radiación láser cuya energía de fotón, asociada a su longitud de onda de emisión, no excede la energía de los enlaces de unión química del material irradiado se le conoce como fototérmica.

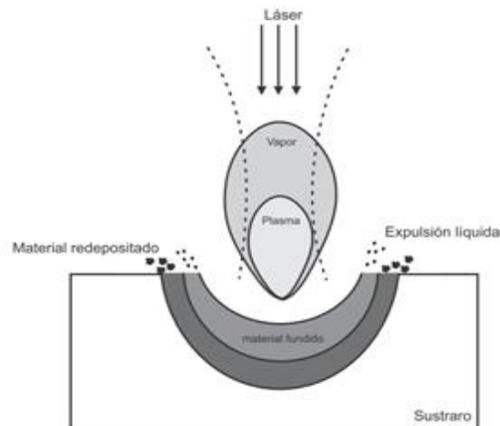
---

<sup>41</sup> BACHS, L., CUESTA, J., & CARLES, N. (1988). Aplicaciones industriales de láser. Marcombo. Disponible en: [https://books.google.com.co/books?id=IgncbogtBCoC&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.co/books?id=IgncbogtBCoC&source=gbs_navlinks_s)

<sup>42</sup> FIORUCCI, M. P. (2015). Aplicación de la ablación mediante láser pulsado de nanosegundo a la limpieza y texturizado de materiales. Universidad Da Coruña. Disponible en: [http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/14741/Fiorucci\\_MPPaula\\_TD\\_2015.pdf?sequence=4](http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/14741/Fiorucci_MPPaula_TD_2015.pdf?sequence=4)

Cuando la energía del fotón es capaz del rompimiento de enlaces químicos se establece otro tipo de ablación, la fotoquímica. Este proceso se da frecuentemente en la interacción de láseres emitiendo en el rango del ultravioleta, UV, con polímeros orgánicos.<sup>43</sup>

Figura 10. Esquema de los mecanismos principales de la ablación fototérmica.



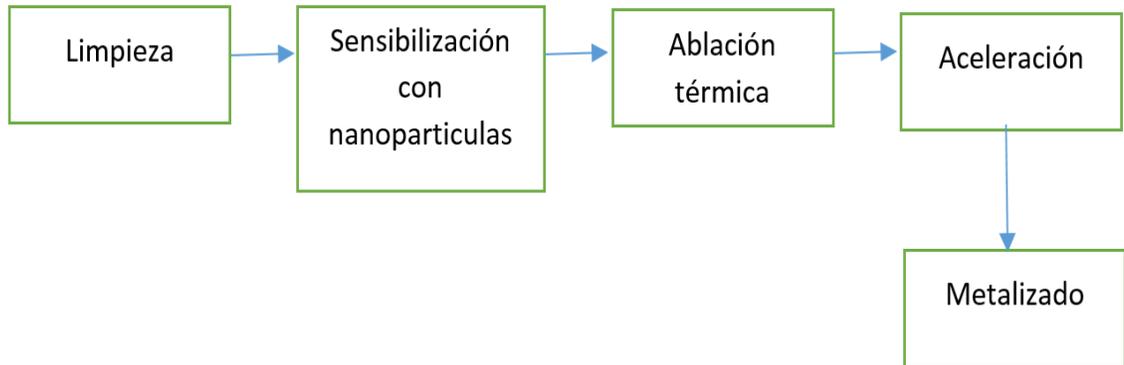
Fuente: OZDEMIR, M., & SADIKOGLU, H. (1998). A new and emerging technology: Laser-induced surface modification of polymers. *Trends in Food Science & Technology*, 9(4).

En el proceso de metalización del plástico ABS por medio del método optérmico como muestra la figura 11, el número de etapas se reduce con respecto al proceso convencional, donde una vez realizada la sensibilización es posible proceder con la ablación láser a bajas potencias (alrededor de 40 mW) permitiendo que tenga lugar el fenómeno fototérmico.

---

<sup>43</sup>Fiorucci, M. P. (2015). Aplicación de la ablación mediante láser pulsado de nanosegundo a la limpieza y texturizado de materiales. Universidad de Coruña. Disponible en: [http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/14741/Fiorucci\\_MPPaula\\_TD\\_2015.pdf?sequence=4](http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/14741/Fiorucci_MPPaula_TD_2015.pdf?sequence=4)

Figura 11. Diagrama del proceso de metalizado optotérmico para el plástico ABS.



Fuente: elaboración propia.

### 1.3 PROCESO DE GALVANOPLASTIA PARA LA EMPRESA NACIONAL DE LICUADORAS NALIET S.A.S

Para establecer el método más apropiado para la línea de galvanoplastia en la empresa Nacional de Licuadoras Naliet S.A.S se tienen a consideración los siguientes aspectos:

- El aspecto técnico: la pieza que la empresa desea cromar tiene forma de anillo como muestra la figura 12 lo que dificulta el uso de los métodos alternativos donde la mayoría de ellos están pensados para usarlos en piezas con formas planas, lo que impide que se metalicen bien ciertas zonas de las piezas y además de aumentar el tiempo de la operación ya que solo se podría tratar una pieza a la vez. Caso contrario con el método convencional ya que las piezas se sumergen por completo en los baños logrando un contacto total con la solución.
- El aspecto económico: dado que la empresa donde se realiza el proyecto no precisa de un gran presupuesto se ha descartado los métodos alternativos propuestos en este capítulo; tomando en cuenta que solo en los costos de los equipos necesarios para estos tratamientos pueden llegar aproximadamente a \$30'000.000 COP lo que elevaría los costos finales del proyecto volviéndolo inviable.

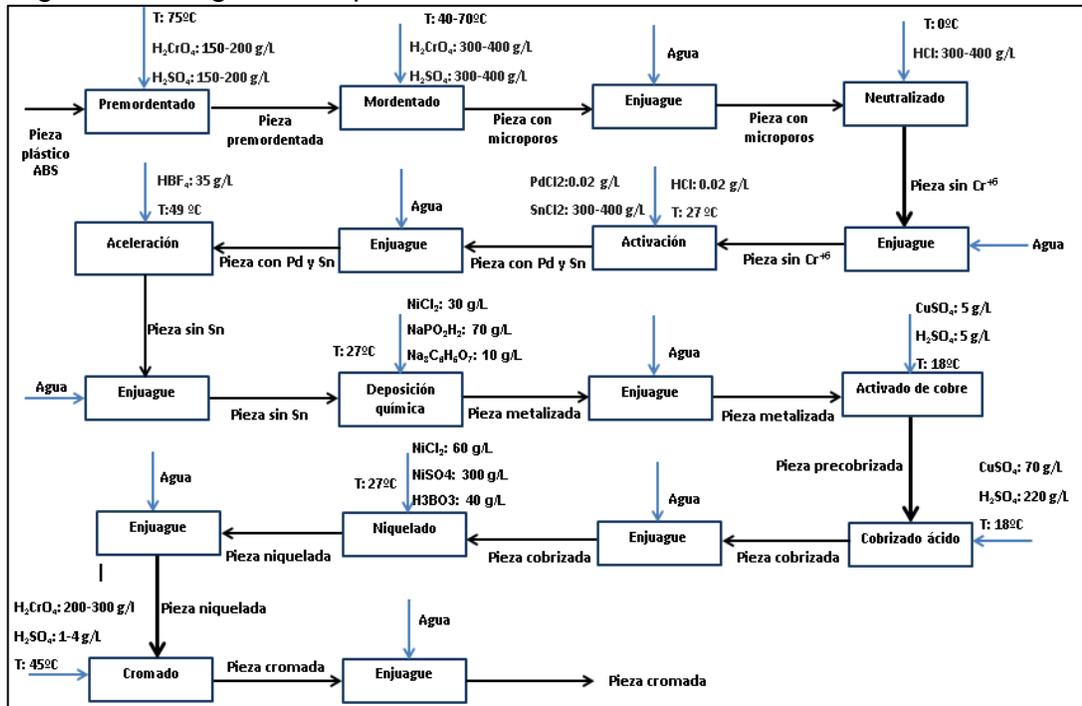
Figura 12. Geometría de la pieza.



Fuente: elaboración propia.

Por lo anterior se establece el método de cromado decorativo convencional como el más apropiado para la línea de galvanoplastia en la empresa Nacional de Licuadoras Naliet S.A.S, que se muestra detalladamente en la figura 13.

Figura 13. Diagrama de proceso de cromado decorativo convencional.



Fuente: elaboración propia.

Para seleccionar las condiciones del método de cromado decorativo convencional de galvanoplastia se tiene en cuenta que la etapa de mordentado es fundamental para el acabado superficial ya que en esta etapa se proporcionan los microporos que son puntos de anclaje para los metales que se depositaran en las etapas posteriores, como lo son la activación y la deposición química, sin estos puntos de anclaje la adhesión del metal en la superficie del plástico sería muy pobre y la capa metálica podría desprenderse.<sup>44</sup> Actualmente no existe una norma o parámetro para determinar la eficiencia del mordentado ni de la etapa de activación<sup>45</sup>, por lo tanto no se realizó el diseño experimental en ninguna de estas etapas. Por otro lado las capas metálicas que son depositadas en las etapas de deposición química, cobrizado ácido, niquelado, son acabados sensibles al ambiente atmosférico, si las piezas son expuestas por un corto periodo de tiempo al ambiente atmosférico se pueden oxidar y de esta manera se puede dañar el acabado final de la pieza<sup>46</sup>, debido a esto difícilmente se pueden realizar mediciones entre cada una de estas etapas; por el contrario la etapa de cromado proporciona el acabado final de la pieza, ayuda a que la apariencia del depósito se mantenga durante la exposición a la intemperie ya que el cromo tiene una mínima tendencia a mancharse u oxidarse por la acción del ambiente atmosférico.<sup>47</sup> Por esta razón en el presente proyecto solo se realizó el diseño experimental de la etapa de cromado para de esta manera seleccionar las condiciones de trabajo más adecuadas para el anillo de plástico ABS, para las demás etapas del método convencional se manejaron los valores establecidos en la bibliografía.

---

<sup>44</sup>REYES PINEDA, Henry. op. cit, p 19.

<sup>45</sup>Mac Dermid Española S.A, op. cit, p.50

<sup>46</sup>VALVERDE HERRERA, op. cit, p. 22.

<sup>47</sup>SUAREZ GARCIA, Oscar Javier. Obtención y caracterización electroquímica y estructural de recubrimientos de cromo decorativo a partir de soluciones de cromo trivalente. Bogotá D.C, 2010, 26p.Trabajo de grado (Maestría en Materiales y Procesos). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ingeniería.

## 2. SELECCIÓN DE LAS CONDICIONES PARA EL PROCESO DE GALVANOPLASTIA

De acuerdo al planteamiento de las hipótesis, las variables de respuesta, las variables independientes, las variables fijas y teniendo en cuenta los recursos de los que se dispone, se determinó el modelo de diseño experimental más adecuado, así como el número de tratamientos. Luego de determinar el modelo de la experimentación y desarrollando la metodología expuesta en este capítulo, se obtuvieron los resultados de la experimentación que se analizaron respectivamente para seleccionar las condiciones más adecuadas para la etapa de cromado y así mismo determinar las condiciones del proceso convencional.

### 2.1 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA ETAPA DE CROMADO

Se planteó el diseño de experimento para el efecto del tiempo de trabajo y de la concentración de ácido crómico, así como el efecto de su interacción con respecto al acabado de la pieza en la etapa de cromado; a continuación, se muestra el planteamiento de las hipótesis del experimento, a su vez se plantearon detalladamente las variables independientes, las variables fijas, los factores perturbadores y finalmente el modelo de diseño experimental.

#### 2.1.1 Hipótesis.

- Para el tiempo de trabajo:

$H_0: \alpha = 0$ . No hay efecto del tiempo de trabajo en el acabado de la pieza

$H_1: \alpha \neq 0$ . Hay efecto del tiempo de trabajo en el acabado de la pieza

- Para la concentración de ácido crómico:

$H_0: \beta = 0$ . No hay efecto de la concentración de ácido crómico en el acabado de la pieza.

$H_1: \beta \neq 0$ . Hay efecto de la concentración de ácido crómico en el acabado de la pieza.

- Para la interacción del tiempo de trabajo y la concentración de ácido crómico:

$H_0: \alpha\beta = 0$ . No hay efecto de la interacción del tiempo de trabajo y la concentración de ácido crómico en el acabado de la pieza.

$H_1: \alpha\beta \neq 0$ . Hay efecto de la interacción del tiempo de trabajo y la concentración de ácido crómico en el acabado de la pieza.

### 2.1.2 Variables independientes.

- Tiempo de trabajo: Hay que considerar el tiempo de exposición ya que puede determinar la calidad del proceso.<sup>48</sup> Teniendo en cuenta las referencias se tomaron los valores para el tiempo de trabajo los cuales fueron de 1 min y 2 min.<sup>49</sup>
- Concentración de ácido crómico: En la formulación el ácido crómico se utiliza como base para remplazar el metal cromo y provee la conductividad requerida en el baño.<sup>50</sup> Las soluciones con concentraciones bajas de ácido crómico (concentraciones menores a 150 g/L) presentan una elevada resistencia y condiciones límites muy estrechas para obtener depósitos brillantes.<sup>51</sup> Teniendo en cuenta las referencias se tomaron los valores para la concentración de ácido crómico los cuales fueron de 216 g/L y 396 g/L.<sup>52</sup>

**2.1.3 Variables fijas.** Las variables que permanecieron constantes en todos los tratamientos realizados en la etapa de cromado fueron:

- Temperatura: La temperatura adecuada para llevar a cabo esta etapa es de 45 °C, aunque la temperatura puede oscilar entre 44 a 46 °C sin afectar el depósito brillante ni la velocidad de deposición.<sup>53</sup> Una disminución en la temperatura y la concentración de cromo aumentan la eficiencia de la reacción, algunas veces se prefiere sacrificar la eficiencia para obtener velocidades altas de deposición y mejorar la uniformidad del depósito en partes de geometría compleja.<sup>54</sup>
- Concentración de ácido sulfúrico: El ácido sulfúrico cataliza la actividad del baño, la concentración de ácido sulfúrico se mantiene relativa a la concentración de ácido crómico, cuando se mantienen cantidades óptimas de cromo en solución y de radicales de catalizador se pueden obtener depósitos uniformes. Una relación por peso de ácido crómico/ácido sulfúrico de 100:1 es lo más común, a relaciones menores de 50:1 se obtienen depósitos más lisos

---

<sup>48</sup> VALVERDE HERRERA, op. cit, p.107.

<sup>49</sup> MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO, op. cit, p.212

<sup>50</sup> ARTAVIA VEGA, Nelson. Diseño, construcción y puesta en marcha de un equipo de electrodeposición de cromo para el laboratorio de Ingeniería Química. San José, Costa Rica, 2008, 29p. Universidad de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Química. Proyecto de Grado para licenciatura en Ingeniería Química.

<sup>51</sup> DALMAU JORDÁ, Daniel, op. cit, p.240.

<sup>52</sup> MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO, op. cit, p.212.

<sup>53</sup> MORENO DIAZ, Esteban Camilo. Propuesta para una planta de cromado plástico en la empresa NALIET S.A.S. Bogotá D.C, 2015, 42p. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Química. Fundación Universidad de América.

<sup>54</sup> SUAREZ GARCIA, Oscar Javier, op. cit, p.27.

pero el poder de recubrimiento se reduce, a relaciones mayores de 200:1 se obtienen depósitos ásperos y se reduce la velocidad de deposición, siendo estas relaciones de concentraciones límites entre las cuales se efectúa el depósito.<sup>55</sup> Bajas concentraciones de catalizador resultan en ausencia de depósito o manchas oscuras mientras que altas concentraciones producen recubrimientos incompletos y muy baja penetración.<sup>56</sup> Según lo anterior para la presente experimentación se manejó una relación por peso de ácido crómico/ácido sulfúrico de 180:1, por lo tanto para la concentración de ácido crómico de 216 g/L se utilizó una concentración de 1,2 g/L de ácido sulfúrico y para la concentración de ácido crómico de 396 g/L una concentración de 2,2 g/L de ácido sulfúrico.

- Densidad de corriente y voltaje: La densidad de corriente es muy variable con intervalos de 5 hasta 50 A/dm<sup>2</sup>; el voltaje requerido es más alto que en la mayoría de los procesos de electrodeposición generalmente entre 4 y 12 V, dependiendo de las condiciones de operación como la concentración del baño y la temperatura.<sup>57</sup> Un depósito brillante se consigue con una densidad de corriente más baja teniendo a su vez una diferencia de potencial menor.<sup>58</sup> En esta experimentación se utilizó una densidad de corriente de 6 A/dm<sup>2</sup> y un voltaje de 4,5 V.

**2.1.4 Factores perturbadores.** Un acabado uniforme y brillante en la pieza es influido también por las condiciones de elaboración del plástico, una pieza metalizada no puede ser mejor que la superficie situada bajo el metal; las condiciones de moldeo de la pieza hacen parte de las variables más importantes para asegurar la satisfactoria metalización galvánica entre las cuales se encuentran:

- Temperatura de fusión del plástico ABS: La temperatura de fusión en el área de inyección entre 255°C y 270°C produce moldeados de más baja tensión residual y consecuentemente con superior acabado metalizado.
- Velocidad de inyección: Cuanto más lenta sea la velocidad de inyección, mejor será el acabado del depósito metálico.<sup>59</sup>
- Presión de inyección: La presión de inyección debe mantenerse a un nivel medio ya que tiene influencia sobre las tensiones en la pieza y estas pueden producir burbujas en la pieza que estallan tras el proceso galvanizado.<sup>60</sup>

---

<sup>55</sup> ARTAVIA VEGA, Nelson, op. Cit, p.42.

<sup>56</sup> SUAREZ GARCIA, Oscar Javier, op. cit, p.27.

<sup>57</sup> ARTAVIA VEGA, Nelson, op. cit, p.43.

<sup>58</sup> DALMAU JORDÁ, Daniel, op. cit, p.249.

<sup>59</sup> Mac Dermid Española S.A, op. cit, p.50.

**2.1.5 Variable respuesta.** La etapa de cromado se realiza con un fin decorativo por esta razón el acabado de la pieza es de gran importancia, ya que no se realiza un recubrimiento con fines de resistencia a la corrosión no es necesario evaluar el espesor de la capa de recubrimiento.

La norma ASTM D523 presenta el método de ensayo estándar para calcular el brillo de recubrimientos de diferentes tipos, para esta medición es necesario un brillómetro el cual no se tenía disponible para la presente experimentación, por lo cual se optó por una inspección visual utilizado en el proyecto de grado Propuesta para una planta de cromado plástico en la empresa NALIET S.A.S<sup>61</sup>; para este caso se modificaron los valores en una escala del 1 al 5 con la cual se evaluó el acabado final de la pieza como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Clasificación para el acabado de la pieza.

Calificación	Características del acabado de la pieza
1	La pieza no tiene un acabado brillante y la superficie presenta irregularidades.
2	La pieza no tiene un acabado brillante y la superficie no presenta irregularidades.
3	La pieza tiene un acabado brillante y la superficie presenta irregularidades.
4	La pieza tiene un acabado brillante y la superficie presenta pocas irregularidades.
5	La pieza tiene un acabado brillante y la superficie no presenta ninguna irregularidad.

Fuente: elaboración propia.

**2.1.6 Modelo experimental y número de tratamientos.** Se escogió el diseño factorial como modelo experimental ya que este es el más eficiente y en cada ensayo del experimento se investiga el efecto de la interacción de todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores; además este modelo es usado para encontrar la combinación de niveles que optimizan la variable respuesta<sup>62</sup>, y esto es lo que se pretende obtener con la experimentación.

El diseño que se ajusta a la experimentación es factorial de dos factores, dado que se desea conocer el efecto del tiempo de trabajo y de la concentración de ácido

<sup>60</sup> PAREDES VALENCIA, Jorge David. Proceso de galvanización en polímeros utilizando los equipos de metalurgia de la FIME. Ecuador, 2007, 204p. Escuela Politécnica del Ejército. Carrera de Ingeniería Mecánica.

<sup>61</sup> MORENO DIAZ, Esteban Camilo, op. cit p.42.

<sup>62</sup> REYES MAZARIEGOS, Memphis Sofonias. Aplicación del diseño experimental en el desarrollo de las prácticas internas, en el área de operaciones unitarias. Guatemala, 2009, 48p. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

crómico; debido al límite en los recursos solo se tomaron en cuenta dos niveles de factores.

El número de tratamientos ( $N_T$ ) es igual al número de niveles ( $N$ ) elevado al número de factores o variables independientes ( $V_{ind}$ ), por lo tanto:

$$N_T = N^{V_{ind}}$$

$$N_T = 2^2$$

$$N_T = 4$$

El número de tratamientos para este diseño de experimentos es cuatro, con tres réplicas para un total de doce pruebas realizadas en la experimentación.

## **2.2 METODOLOGÍA**

Para la realización del desarrollo experimental se siguió con la siguiente metodología.

Se seleccionaron las condiciones de cada una de las etapas del proceso encontrados en la literatura que se pueden ver en la tabla 15 exceptuando la que se va a estudiar (etapa de cromado).

En la etapa de cromado se realizó el diseño factorial explicado anteriormente y que corresponde a doce pruebas experimentales.

Una vez obtenidos los resultados de la experimentación se realizó un estudio cualitativo para determinar el acabado final de la pieza, esta inspección visual la llevó a cabo el Ingeniero de producción Larry Torres Soler, según el criterio establecido en la tabla 11.

Por último, de acuerdo con esta información se realizó el análisis de ANOVA para determinar la hipótesis planteada inicialmente en este capítulo y se determinaron las condiciones finales para la etapa de cromado del proceso convencional para la empresa.

## **2.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Los resultados del diseño factorial  $2^2$  con tres réplicas se encuentran consignados en la tabla 12.

Tabla 12. Resultados diseño factorial 2<sup>2</sup> con tres replicas.

Tiempo de trabajo (min)	Concentración ácido crómico (g/L)	
	216	396
1	3	2
	4	3
	4	2
2	4	2
	3	1
	3	2

Fuente: elaboración propia.

Las ecuaciones correspondientes para el análisis de varianza:

$$SCT = SCE_A + SCE_B + SCE_{AB} + SCD_{ER}$$

- Suma de cuadrados totales:

$$SCT = \sum \sum \sum Y_{ijk}^2 - \frac{Y_{...}^2}{N}$$

- Suma de cuadrados efecto del cambio de nivel:

$$SCE_A = \frac{1}{b * n} \sum Y_{i..}^2 - \frac{Y_{...}^2}{N}$$

$$SCE_B = \frac{1}{a * n} \sum Y_{.j.}^2 - \frac{Y_{...}^2}{N}$$

- Suma de cuadrados entre tratamientos:

$$SCE_{AB} = \frac{1}{n} \sum \sum Y_{ij.}^2 - \frac{Y_{...}^2}{N} - SCE_A - SCE_B$$

- Suma de cuadrados dentro de los tratamientos:

$$SCD_{ER} = SCT - SCE_A - SCE_B - SCE_{AB}$$

Donde:

$$N = a * b * n$$

$a$  : Niveles del factor tiempo de trabajo

$b$  : Niveles del factor concentración de ácido crómico

$n$  : Número de réplicas

Para este caso,

$$N = 2 * 2 * 3 = 12$$

En la tabla 13 se encuentran consignados los datos correspondientes a la suma de los datos.

Tabla 13. Suma de los datos.

Tiempo de trabajo (min)	Concentración ácido crómico (g/L)		
	216	396	$Y_{i..}$
1	$Y_{11.} = 11$	$Y_{12.} = 7$	$Y_{1..} = 18$
2	$Y_{21.} = 10$	$Y_{22.} = 5$	$Y_{2..} = 15$
$Y_{.j.}$	$Y_{.1.} = 21$	$Y_{.2.} = 12$	$Y_{...} = 33$

Fuente: elaboración propia.

El análisis de varianza se muestra en la tabla 14.

Tabla 14. Tabla ANOVA.

Tabla ANOVA				
Fuentes de variación	Sumas de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F <sub>o</sub>
Entre tiempos	SCE <sub>A</sub> = 0,75	1	CME <sub>A</sub> = 0,75	F <sub>A</sub> = 2,27
Entre concentraciones	SCE <sub>B</sub> = 6,75	1	CME <sub>B</sub> = 6,75	F <sub>B</sub> = 20,45
Entre la iteración	SCE <sub>A</sub> = 0,083	1	CME <sub>AB</sub> = 0,083	F <sub>AB</sub> = 0,25
Error residual	SCD <sub>ER</sub> = 2,67	8	CMD <sub>ER</sub> = 0,33	
TOTAL	SCT = 10,25	11	CME <sub>A</sub> = 0,93	

Fuente: elaboración propia.

Según las tablas de distribución F con una significancia de 0,05:

$$F_{TA, 0.05, 1, 8} = 5,32$$

$$F_{TB, 0.05, 1, 8} = 5,32$$

$$F_{TAB, 0.05, 1, 8} = 5,32$$

De acuerdo con esto:

Para el factor tiempo de trabajo:  $F_{TA, 0.05, 1, 8} = 5,32 > F_A = 2,27$ , se acepta la hipótesis nula ( $H_0: \alpha = 0$ ), no hay efecto del tiempo de trabajo en el acabado de la pieza.

Para el factor concentración de ácido crómico:  $F_{TB, 0.05, 1, 8} = 5,32 < F_B = 20,45$ , se rechaza la hipótesis nula ( $H_1: \beta \neq 0$ ), hay efecto de la concentración de ácido crómico en el acabado de la pieza, el efecto de la concentración es significativo.

Para la interacción entre el tiempo de trabajo y la concentración de ácido crómico:  $F_{TAB, 0.05, 1, 8} = 5,32 > F_{AB} = 0,25$ , se acepta la hipótesis nula ( $H_0: \alpha\beta = 0$ ), no hay efecto de la interacción del tiempo de trabajo y la concentración de ácido crómico en el acabado de la pieza.

Como se puede observar en los resultados del experimento (tabla 12), ninguna de las piezas tratadas alcanzó un acabado superficial brillante y sin irregularidades, además se puede observar que se obtuvieron acabados brillantes y con pocas irregularidades a concentraciones de ácido crómico de 216 g/L por esta razón se tomara este valor como el más indicado para la etapa de cromado con un tiempo de trabajo de 1 min.

## 2.4 CONDICIONES PARA EL PROCESO DE CROMADO CONVENCIONAL PARA LA EMPRESA NACIONAL DE LICUADORAS NALIET S.A.S

Teniendo en cuenta la metodología desarrollada y los resultados experimentales se determinaron las condiciones para el proceso de cromado convencional para la empresa Nacional de Licuadoras NALIET S.A.S como se muestra en la tabla 15:

Tabla 15. Condiciones del proceso de cromado decorativo convencional.

<b>Proceso de cromado decorativo convencional</b>	
<b>Etapa de mordentado</b>	
Concentración de ácido crómico	400 g/L
Concentración de ácido sulfúrico (Diluido al 70%)	400 g/L
Tiempo de trabajo	15 min
Temperatura	68 °C
<b>Etapa de neutralizado</b>	
Concentración de reductor	1,5 cm <sup>3</sup> /L
Tiempo de trabajo	3 min
Temperatura	Ambiente
<b>Etapa de activación</b>	
Concentración coloide de paladio	0,9 cm <sup>3</sup> /L
Tiempo de trabajo	2 min
Temperatura	Ambiente
<b>Etapa de aceleración</b>	
Concentración de acelerador	1,3 cm <sup>3</sup> /L
Tiempo de trabajo	2 min
Temperatura	45 °C
<b>Etapa de niquelado químico</b>	
Concentración de cloruro de níquel	84 cm <sup>3</sup> /L
Concentración de reductor	76 cm <sup>3</sup> /L
Tiempo de trabajo	12 min
Temperatura	Ambiente
<b>Etapa de cobrizado ácido</b>	
Concentración de sulfato de cobre	218 g/L
Concentración de ácido sulfúrico	55 g/L
Tiempo de trabajo	15 min
Temperatura	Ambiente
Densidad de corriente	2 A/dm <sup>2</sup>
Voltaje	4 V
Ánodo	Cobre

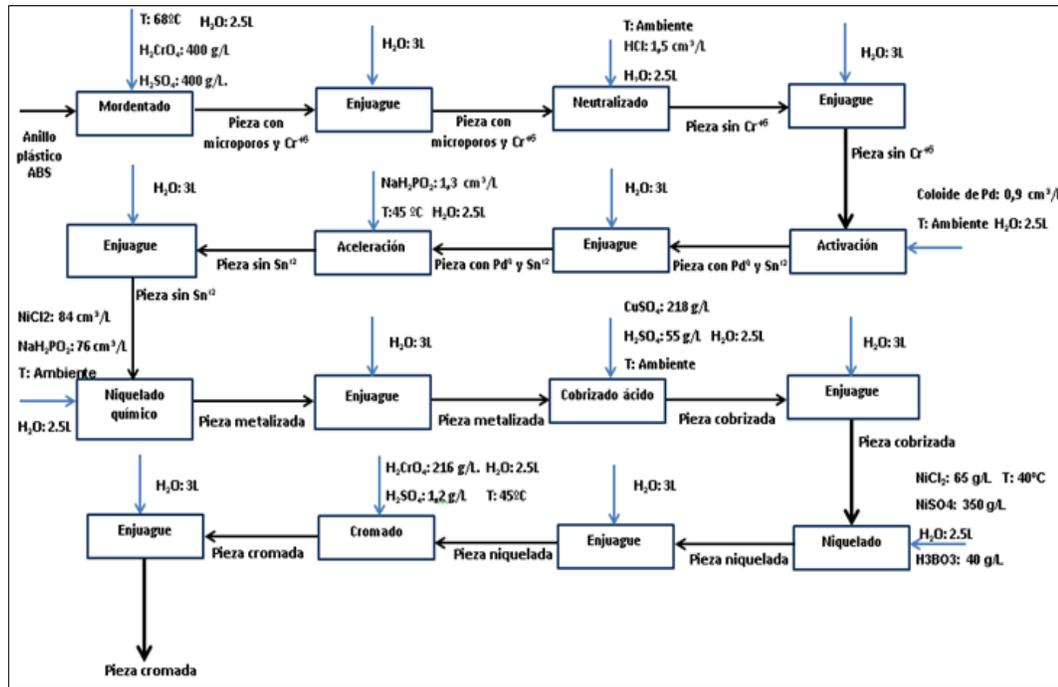
Tabla 15. (Continuación)

<b>Proceso de cromado decorativo convencional</b>	
<b>Etapa de niquelado</b>	
Concentración de sulfato de níquel	350 g/L
Concentración de cloruro de níquel	65 g/L
Concentración de ácido bórico	40 g/L
Tiempo de trabajo	10 min
Temperatura	40 °C
Densidad de corriente	2 A/dm <sup>2</sup>
Voltaje	5,5 V
pH	4,7
Ánodo	Níquel
<b>Etapa de cromado</b>	
Concentración de ácido crómico	216 g/L
Concentración de ácido sulfúrico (Diluido 70%)	1,2 g/L
Tiempo de trabajo	1 min
Temperatura	45°C
Densidad de corriente	6 A/dm <sup>2</sup>
Voltaje	4,5 V
Ánodo	Plomo

Fuente: elaboración propia.

El diagrama del proceso se muestra en la figura 14:

Figura 14. Diagrama de proceso de cromado decorativo convencional para la empresa Nacional de Licuadoras NALIET S.A.S.



Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestra la determinación teórica de la masa depositada sobre la superficie de la pieza:

- **Masa teórica depositada de paladio:** Para determinar la masa de paladio sobre la pieza se realizaron las siguientes suposiciones:

En la etapa de acelerado es eliminado todo el Sn<sup>+2</sup> de la superficie de la pieza.

Según la bibliografía, se obtiene en la etapa de activación una capa uniforme de Pd<sup>0</sup> de 0,05 µg/cm<sup>2</sup> para un tiempo de 2 min.<sup>63</sup>

Teniendo en cuenta las dimensiones de la pieza ( $r_1 = 5.5$  cm,  $r_2 = 4$  cm,  $h = 3$  cm), y suponiendo que el área de la pieza es el área de un cilindro hueco sin irregularidades, se calculó el área superficial de la siguiente manera:

$$A = 2\pi h(r_1 - r_2) + 2\pi(r_1^2 - r_2^2)$$

$$A = 2\pi(3 \text{ cm})(5.5 \text{ cm} - 4 \text{ cm}) + 2\pi(5.5 \text{ cm}^2 - 4 \text{ cm}^2)$$

$$A = 268,61 \text{ cm}^2$$

<sup>63</sup>MORENO DIAZ, Esteban Camilo, op. cit p.61.

La masa de paladio en la pieza es:

$$m_{Pd} = 0,05 \frac{\mu g}{cm^2} * 268,61 cm^2$$

$$m_{Pd} = 13 \mu g = 1,3 * 10^{-5} g$$

- **Masa teórica depositada de níquel químico:** Para determinar la masa de níquel de la etapa de níquel químico y según la bibliografía, se supone una capa uniforme de níquel de  $7,5 \mu g/cm^2$  para un tiempo de 12 min.<sup>64</sup>

La masa depositada de níquel químico es:

$$m_{Ni\text{químico}} = 7,5 \frac{\mu g}{cm^2} * 268,61 cm^2$$

$$m_{Ni\text{químico}} = 2014,575 \mu g = 0,002014 g$$

- **Masa teórica depositada de cobre:** Teniendo en cuenta las leyes de Faraday, se puede calcular la masa de metal depositada de la siguiente manera:

$$m = \frac{eq * I * t}{F}$$

En donde:

m = masa depositada del metal

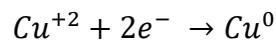
eq = equivalente químico de una sustancia (masa de la sustancia liberada por mol de electrones)

I = Corriente

t = tiempo de trabajo

F = constante de Faraday = 96500 C

Para el equivalente químico del cobre, según la reacción:



Para la obtención de 1 mol de Cu se requiere 2 moles de electrones, entonces:

$$eq_{Cu} = \frac{63,54 g}{2} = 31,77 g Cu$$

---

<sup>64</sup> PINEDA REYES, Henry, op. cit p.11.

Calculando la corriente de la etapa de cobrizado ácido:

$$I = 2 \frac{A}{dm^2} * 2,6861 dm^2$$

$$I = 5,37 A$$

La masa depositada para el cobre es:

$$m_{Cu} = \frac{31,77 g * 5,37 A * 900 s}{96500 C} = 1,59 g$$

- **Masa teórica depositada de níquel:** Teniendo en cuenta las leyes de Faraday y según la reacción<sup>65</sup>:



El equivalente químico del níquel es:

$$eq_{Cu} = \frac{58,71g}{2} = 29,36 g Ni$$

Calculando la corriente de la etapa de niquelado:

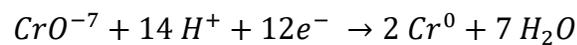
$$I = 2 \frac{A}{dm^2} * 2,6861 dm^2$$

$$I = 5,37 A$$

La masa depositada para el níquel es:

$$m_{Ni} = \frac{29,36 g * 5,37 A * 600 s}{96500 C} = 0,98 g$$

- **Masa teórica depositada de cromo:** Teniendo en cuenta las leyes de Faraday y según la reacción:



---

<sup>65</sup> MORENO DIAZ, Esteban Camilo, op. cit p.23.

El equivalente químico del cromo es:

$$eq_{Cu} = \frac{2(51,99)g}{12} = 8,67g Cr$$

Calculando la corriente de la etapa de cromado:

$$I = 6 \frac{A}{dm^2} * 2,6861 dm^2$$

$$I = 16,12 A$$

La masa depositada para el cromo es:

$$m_{Cr} = \frac{8,67 g * 16,2 A * 60 s}{96500 C} = 0,0869 g$$

La masa total teórica deposita en la pieza es de:

$$m_{Total} = m_{Pd} + m_{Ni} + m_{Cu} + m_{Ni} + m_{Cr} = 2,66 g$$

### **3. ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE GALVANOPLASTIA EN LA EMPRESA NACIONAL DE LICUADORAS NALLET S.A.S**

La tecnología empleada por la industria en Colombia no presenta demasiados desarrollos en los procesos de galvanoplastia y estos se realizan de una manera prácticamente artesanal.<sup>66</sup> Teniendo en cuenta la determinación del proceso de galvanoplastia y el diagrama de flujo del proceso de los capítulos anteriores, se procedió a especificar los equipos necesarios para cada etapa, incluyendo las etapas de enjuague, la fuente de corriente, sistemas de agitación, sistemas de calentamiento, ánodos y tipo de gancheras y sus dimensiones. También se realizó la distribución de la planta para determinar el área necesaria según el dimensionamiento de las cubas así como la determinación de los materiales más adecuados para estas. Además, se determinaron las causas de agotamiento de los baños y métodos de mantenimiento de los baños de mordentado, activación, cobrizado, niquelado y cromado.

#### **3.1 ETAPAS DE ENJUAGUE**

Las etapas de enjuague son primordiales luego de cada baño, dado que eliminan posibles residuos de las soluciones que pueden contaminar los baños posteriores, esto a su vez puede dañar el proceso que se realiza en la superficie de la pieza; además puede generar mayores gastos para mantener en buenas condiciones operativas los baños.

Por lo general la temperatura del agua de enjuague se mantiene a temperatura ambiente, en algunos casos se realizan enjuagues con agua caliente para contribuir a eliminar los residuos de productos alojados en los poros superficiales, para el presente proceso se sugiere usar agua a temperatura ambiente ya que los enjuagues calientes son necesarios exclusivamente para baños cianurados.

Existen diferentes tipos de enjuagues como lo son:

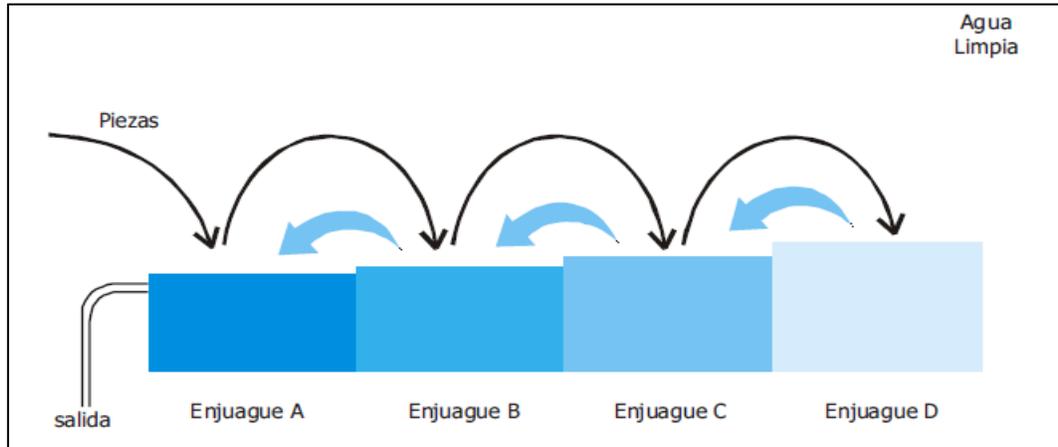
- Enjuagues simples: Se trata de una única cuba de enjuague con agua corriente circulando de forma continua, aunque actualmente está en desuso ya que es necesario un caudal de agua continuo para garantizar un lavado óptimo lo cual genera un gran gasto de agua.
- Enjuague múltiple en cascada: Se compone de varias cubas en donde el agua limpia es vertida en la última cuba y el flujo de agua la distribuye hasta la primera cuba como muestra la figura 15, funciona a contracorriente y el caudal que se necesita para conseguir una eficiencia y calidad óptima de enjuague es bajo.

---

<sup>66</sup>MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE DE COLOMBIA, FUNDES. Guía de Buenas Prácticas para el Sector Galvanotecnia. Colombia, 84p.

- Enjuague estanco: Usado principalmente para retener el arrastre proveniente del baño, no tiene alimentación continua, sino que se debe renovar totalmente cada cierto tiempo.<sup>67</sup>

Figura 15. Esquema de enjuague múltiple en cascada.



Fuente: CENTRO NACIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA. Guía de producción más limpia para el sector de recubrimientos electrolíticos en Colombia. Colombia.

Para el presente proceso de cromado decorativo convencional se sugiere realizar las etapas de enjuague como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 16. Enjuagues para el proceso de cromado decorativo convencional.

<b>Etapas de enjuague</b>	<b>Tipo de enjuague</b>	<b>Cantidad de enjuagues</b>
Enjuague de mordentado	Estanco	Cuatro
Enjuague de neutralizado	Estanco	Dos
Enjuague de activación	Estanco	Dos
Enjuague de aceleración	Estanco	Tres
Enjuague de niquelado químico	Estanco	Uno
Enjuague de cobrizado ácido	Estanco	Tres
Enjuague de niquelado	Estanco	Tres
Enjuague de cromado	Estanco	Tres

Fuente: elaboración propia.

<sup>67</sup>CARBAJO VALLEJO, Carlos. Línea de recubrimiento electroquímico para plateado de piezas a granel. Valladolid, 2017, 45p. Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales. Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales.

### 3.2 FUENTE DE CORRIENTE

En el proceso de galvanoplastia, es preciso una fuente de corriente directa de bajo voltaje donde se pueden encontrar diferentes opciones para alimentar el sistema de electrodeposición dependiendo de factores como: tamaño del tanque, dimensión de la pieza a recubrir, tipo de electrodepósito, entre otros. Para este caso, ya que se va a galvanizar de manera constante es mejor utilizar un aparato rectificador que esté constituido básicamente por un transformador y un puente rectificador (figura 16). El puente rectificador, convierte la corriente alterna en corriente continua, dependiendo del tipo de puente rectificador, la corriente continua será de mayor o menor calidad. La variación que pueda quedar sobre la corriente continua así obtenida se denomina "ripple". A mayor valor de "ripple", la calidad de corriente continua disminuye. Para determinados electrolitos como por ejemplo el cromo, estas variaciones deben ser reducidas al mínimo posible.<sup>68</sup>

El rectificador que se necesita para el presente proyecto, se debe conectar a la corriente alterna normal de 110V para convertirla en una corriente de 1 a 12V que se encuentra en el rango de potencia necesario para el cromado de las piezas obtenido en el capítulo anterior y como regla general se tiene que la fuente debe proporcionar al menos un amperio por cada dos litros de solución.<sup>69</sup>

Por lo que se calculó la cantidad requerida de corriente para el sistema con una regla de tres directa ya que el voltaje y corriente que se utiliza en la electrodeposición es continua, como se muestra a continuación:

$$2 \text{ litros} \rightarrow 1 \text{ amperio}$$

$$450 \text{ litros} \rightarrow x$$

En el que  $X = 225$  amperios; así que el rectificador además de variar su voltaje entre 2 y 12 voltios de corriente continua debe tener un amperaje por lo menos mayor a 255. La potencia de la corriente del rectificador para las etapas de cobrizado ácido, niquelado y cromado se calcularon con la siguiente ecuación<sup>70</sup>:

$$kW_{(DC)} = \frac{V_{DC} * I_{DC}}{1000}$$

---

<sup>68</sup> LARA NÚÑEZ, Mario Alcides. Estudio del cromado metálico en superficies de aros para buses bajo normas INEN y su incidencia en la adherencia superficial. Ecuador, 2017, 29p. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de ingeniería civil y mecánica. Trabajo de Investigación previo a la obtención del Grado Académico de Magister en Diseño Mecánico.

<sup>69</sup> C. Mayacela y O. Nelson, Diseño, construcción e implementación de un sistema de pulido electrolítico de materiales ferrosos para el proceso de cromado en la empresa "Ingenieros Lara Nuñez CIA LTDA", Latacunga: Escuela Politécnica del Ejército, 2013.

<sup>70</sup> Elliott Electric Supply. (2018). Electrical Formulas For Calculating Ampere, horsepower, kilowatts, and kva.

- Etapa de cobrizado ácido:

$$kW_{(DC)} = \frac{4V * 225A}{1000} = 0.900kW$$

- Etapa de niquelado:

$$kW_{(DC)} = \frac{5,5V * 225A}{1000} = 1.237kW$$

- Etapa de cromado:

$$kW_{(DC)} = \frac{4,5V * 225A}{1000} = 1.013kW$$

- La potencia total de la corriente del rectificador es:

$$kW_{(DC)total} = 0.900kW + 1.237kW + 1.013kW = 3.15 kW$$

Para la potencia de entrada del rectificador ya que se utiliza la corriente alterna de los tomacorrientes ubicado en la empresa se calcula con la siguiente ecuación<sup>71</sup> que corresponde a corriente alterna de tres fases.

$$kW = \frac{V * I * 1.73 * PF}{1000}$$

Siendo kW la potencia en kilowatts, V es el voltaje medido en Volts, I es la corriente medida en Amperios y PF el factor de potencia que nos indica cuánto de la potencia total entregada por la fuente es aprovechada por el circuito.

$$kW = \frac{220V * 18A * 1.73 * 0.94}{1000} = 6.17 kW$$

La potencia de entrada del rectificador cada vez que se utilice es de 6.17kW y es la que se tiene en cuenta para calcular la energía consumida por la empresa.

---

<sup>71</sup> Elliott Electric Supply. (2018). Electrical Formulas For Calculating Ampere, horsepower, kilowatts, and kva.

Figura 16. Rectificador de corriente.



Fuente: SERVELEC. Manual rectificadores línea RGM. Argentina

### 3.3 FUENTES DE CALOR

Muchas etapas del proceso de galvanoplastia necesitan trabajar a temperaturas mayores que la ambiental para poder bajar los tiempos del proceso, pues el calor acelera y facilita el movimiento de los iones de metal desde el ánodo hasta el cátodo. La forma de calentamiento más usado para galvanoplastia es la calefacción eléctrica de inmersión que a pesar de no ser la más económica tiene una gran ventaja y es que permite obtener una precisión alta para alcanzar una temperatura determinada, teniendo un margen de tolerancia de  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ .<sup>72</sup>

Los calefactores eléctricos están hechos de cuarzo o vidrio térmico haciéndolos resistentes al ataque de los ácidos y evitando que el material del calentador contamine el baño. Estos calentadores estarán sujetos en el borde de la cuba y de forma vertical.

Para el proceso expuesto en este proyecto las etapas de mordentado, aceleración, niquelado y cromado deben contar con calentadores propios.

La potencia requerida para calentar cada baño del proceso, PW, se calculara de la siguiente manera:

---

<sup>72</sup>GARCÍA OLIVA, E. R. Guía para la implementación del proceso de galvanoplastia, en el laboratorio de metalurgia y metalografía de la facultad de ingeniería, USAC. Guatemala, 2009, 18p. Universidad de San Carlos de Guatemala.

$$Q_t = P_v * C_e * \Delta t$$

Dónde:

$Q_t$  , Calor Transferido [Kj]

$P_v$  , Masa de la solución Kg

$C_e$  , calor especifico [Kj \* Kg<sup>-1</sup> \* °K<sup>-1</sup>]

$\Delta t$  , variación de la temperatura [°K]

$$P_w = \frac{Q}{t}$$

Donde:

$P_w$  Potencia [Watts]

$t$  Tiempo [seg]

Para calcular la masa del agua contenida en la cuba se usa la ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho * v$$

Donde:

$\rho$  Densidad  $\left[\frac{Kg}{cm^3}\right]$

$m$  Volumen  $[m^3]$

$v$  Masa [Kg]

$$m = 1000 \frac{Kg}{m^3} * 315 m^3 = 0.315 Kg = 315 Kg$$

A esta masa debe añadirse la masa proporcional de los compuestos químicos de cada etapa mencionados en la tabla 15.

- Etapa de mordentado:

$$m_{\text{ácido crómico}} = 400 \frac{g}{l} * 315 l = 126000g = 126 kg$$

$$m_{\text{ácido sulfúrico}} = 400 \frac{g}{l} * 315l = 126000g = 126 kg$$

La masa total de la solución en el tanque de mordentado es:

$$m_{total} = 315 kg + 126 kg + 126 kg = 567 kg$$

- Etapa de aceleración:

$$m_{\text{hipofosfito de sodio}} = 1.3 \frac{cm^3}{l} * 315l = 409.5cm^3 * 0.8 \frac{g}{cm^3} = 327.6g = 0.3276kg$$

La masa total de la solución en el tanque de aceleración es:

$$m_{total} = 315 kg + 0.3276 kg = 315.3276 kg$$

- Etapa de niquelado:

$$m_{\text{sulfato de niquel}} = 350 \frac{g}{l} * 315l = 110250g = 110.25 kg$$

$$m_{\text{cloruro de niquel}} = 65 \frac{g}{l} * 315l = 20475g = 20.475 kg$$

$$m_{\text{ácido bórico}} = 40 \frac{g}{l} * 315l = 12600g = 12.6 kg$$

La masa total de la solución en el tanque de niquelado es:

$$m_{total} = 315 kg + 110.25 kg + 20.475 kg + 12.6 kg = 458.33 kg$$

- Etapa de cromado:

$$m_{\text{ácido crómico}} = 216 \frac{g}{l} * 315l = 68040g = 68.04 kg$$

$$m_{\text{ácido sulfúrico}} = 1.2 \frac{g}{l} * 315l = 378g = 0.378 kg$$

La masa total de la solución en el tanque de cromado es:

$$m_{total} = 315 kg + 68.04 kg + 0.378 kg = 383.42 kg$$

Para determinar el calor específico de la solución, Rodríguez recomienda utilizar el calor específico del agua.<sup>73</sup> Para la variación de la temperatura se utilizan la temperatura del baño y la ambiental, siendo la diferencia de temperatura igual en las escalas Celsius y kelvin.

---

<sup>73</sup> F. Rodríguez, «Universidad autónoma de México,» 1 Enero 2008. [En línea].p33

La potencia requerida para cada baño teniendo en cuenta 5 horas de trabajo y utilizando la ecuación es la siguiente:

- Etapa de mordentado:

$$Q_c = 567 \text{ kg} * 4.18 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}} * (68 - 20)^\circ\text{K}$$

$$Q_c = 113762.88 \text{ Kj}$$

$$P_w = \frac{113762.88 \text{ Kj}}{18000 \text{ seg}} = \mathbf{6.32 \text{ Kw}}$$

- Etapa de acelerado:

$$Q_c = 315.3276 \text{ kg} * 4.18 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}} * (45 - 20)^\circ\text{K}$$

$$Q_c = 32950.9 \text{ Kj}$$

$$P_w = \frac{32950.9 \text{ Kj}}{18000 \text{ seg}} = \mathbf{1.8306 \text{ Kw}}$$

- Etapa de niquelado:

$$Q_c = 458.33 \text{ kg} * 4.18 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}} * (40 - 20)^\circ\text{K}$$

$$Q_c = 38316.38 \text{ Kj}$$

$$P_w = \frac{38316.38 \text{ Kj}}{18000 \text{ seg}} = \mathbf{2.128 \text{ Kw}}$$

- Etapa de cromado:

$$Q_c = 383.42 \text{ kg} * 4.18 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}} * (45 - 20)^\circ\text{K}$$

$$Q_c = 40067.2 \text{ Kj}$$

$$P_w = \frac{40067.2 \text{ Kj}}{18000 \text{ seg}} = 2.225 \text{ Kw}$$

Para la fuente de calor de las etapas de acelerado, niquelado y cromado se utilizará calentadores de 3000 watts y para el calentador del mordentado será de 7000 watts.

### 3.4 SISTEMA DE AGITACIÓN

Al igual que el calor, el movimiento o agitación de las sustancias químicas del baño hace que el metal se deposite más a prisa en el objeto que se desea galvanizar ya que la distribución homogénea de la corriente eléctrica que ayuda a la disolución de las sales metálicas es mejorada y además ayuda a la liberación de hidrógeno disuelto.

Existen varias formas de lograr el movimiento del líquido del baño, una es por movimiento mecánico de oscilación horizontal (vaivén) o vertical (sube y baja) sobre la barra catódica y la otra por agitación del electrolito por insuflación de aire a presión. La más utilizada para aplicaciones decorativas es la agitación mediante un soplador de aire de baja presión.<sup>74</sup>

La gran ventaja de usar la agitación por aire es que se puede introducir en cualquier parte del tanque, y el grado de agitación puede controlarse con válvulas y además su uso amplía los rangos de concentración utilizables de los ingredientes en el baño, reduce su concentración en las proximidades del sustrato y minimiza la necesidad del uso de agentes surfactantes y los problemas de agrietamiento causados por el H<sub>2</sub>. Como desventaja la agitación con aire desde el fondo, provoca que sólido decantado en el fondo del tanque acceda a las proximidades del cátodo, comprometiendo su acabado. Este problema se puede solucionar con la utilización de filtración en la disolución.

Por lo anterior para el presente proyecto se sugiere usar agitación por aire, este se lleva a cabo inyectando aire comprimido perfectamente limpio a través de tubos confeccionados en material inatacable que debe ser resistente a altas temperaturas ya que en la etapa de mordentado se alcanza una temperatura de 68°C. El material de la tubería que cumple con todos los requisitos es la de CPVC (Poli-Cloruro de Vinilo Clorinado); se sugiere implementarla en todos los baños para retirar impurezas y evitar pérdidas de calor. El aire debe ingresar por la parte inferior de los tanques y específicamente en las zonas donde se encuentran los electrodos con el fin de proporcionar una agitación uniforme. El sistema debe contar con válvulas de regulación de flujo y válvulas de retención en las

---

<sup>74</sup> Observatorio de Yebes (2015). Deposición electrolítica de Níquel. [online] Guadalajara, pp.15-27.

conexiones de cada tanque para evitar la entrada de líquido a la bomba. La bomba debe mantenerse siempre a una altura sobre el nivel del líquido para favorecer su desempeño y tener un rango mínimo de 0,14 Kg/cm<sup>2</sup> por cada metro de profundidad de la solución.<sup>75</sup>

## SISTEMA DE FILTRACIÓN

Como se explicó anteriormente dado que generalmente se utiliza un sistema de agitación por aire es necesario la implementación de un sistema de filtración que permite retirar las partículas en suspensión ajenas al baño y los restos insolubles de reactivos para evitar que estas se adhieran sobre las piezas y además puede servir para eliminar el exceso de residuos de abrillantador y de otros residuos orgánicos siempre que se utilice en conjunción con un filtro de carbón activo.

Habitualmente son tres los tipos de filtros utilizados en galvanoplastia, en la tabla 17 se muestra las ventajas y desventajas de cada filtro:

Tabla 17. Desventajas y ventajas de filtros mangas, disco y cartucho.

FILTROS	MATERIAL	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Manga</b>	Tejido de polipropileno	Fácil de limpiar y cambiar.	Se necesita muchas mangas para obtener el área de filtración óptima. No hay muchas variedades de mallas
<b>Disco</b>	Papel o polipropileno	Cuenta con aberturas de mallas diferentes. Trabaja bien en filtración continua.	Limitado por el tipo de baño (alcalinos) en el caso del papel.
<b>Cartucho</b>	Diversos	Mayor retención. Mayor vida útil. Reduce el volumen de residuo por el re uso. Menor pérdida de tiempo. Trabaja bien en filtración continua.	Costo elevado de mantenimiento.

Fuente: elaboración propia.

Para el presente proyecto se sugiere usar el filtro de disco o platos de polipropileno (figura 17), ya que tiene un buen desempeño en filtración continua

<sup>75</sup>DEL CASTILLO RODRÍGUEZ, F. D. Principios de electrodeposición. Cuautitlán, 2008.

con respecto al filtro de manga y son fáciles de cambiar los filtros usados, además de contar con gran variedad en la abertura de malla del filtro lo que permite mejor retención de partículas en periodos de operación prolongados siendo el nivel de inversión y de mantenimiento pequeño.

Figura 17. Componentes internos de un filtro por platos.



Fuente: Fuente: DALMAU JORDÁ, Daniel. Métodos galvánicos en la industria química. Barcelona, 2005, 91p. Trabajo de grado (Especialización en Química Industrial). Escola d'Enginyeria de Barcelona Est.

### 3.5 CUBAS

Los tanques o cubas que utilizan para realizar cada una de las etapas del proceso no han cambiado substancialmente en su diseño pero si en los materiales de construcción, ya que con el desarrollo de resinas y plásticos de alta resistencia química, se han reemplazando las viejas cubas de concreto, madera o enchapadas en plomo por cubas en hierro recubiertas con resina reforzada con fibra de vidrio; en algunas instalaciones los tanques son de concreto recubierto de una resina para protegerlos del ataque químico. Los baños de metales preciosos son de poco volumen y para este efecto se utilizan cubas plásticas. Algunas cubas

poseen canales para recoger el goteo y los derrames. El fondo puede ser plano o con un pequeño desnivel para facilitar la limpieza y el retiro de los lodos que se acumulen.<sup>76</sup>

Los tipos de tanque más usuales en la industria son:

- Acero al carbón recubierto(forrado)
- Concreto recubierto
- Plásticos auto soportado
- Hierro y acero inoxidable recubierto

Las cubas deben reunir ciertas condiciones que son fundamentales: resistente a los ataques ácidos, ser inerte, no conducir corriente eléctrica, ser resistente a daños físicos y estar separadas del suelo ligeramente para evitar deterioración de la cuba por derrames.

Como en este proceso las condiciones de operación, definidas en el capítulo anterior, son diferentes para cada etapa la elección del material de la cuba se determinará de acuerdo con la resistencia química (ver Anexos A y B) y la resistencia térmica (ver Anexos C y D). A continuación, se muestra en la tabla 18 el material elegido para cada etapa de acuerdo con los requisitos explicados anteriormente.

Tabla 18. Selección de material de las cubas.

<b>Etapa</b>	<b>Resistencia química</b>	<b>Resistencia térmica</b>	<b>Material elegido</b>
Enjuague	Se realizan con agua. Las paredes del tanque no sufre ataques agresivos	No necesitan de calentamiento	PVC cumple con todos requerimientos
Mordentado	Se encuentra una mezcla sulfo-crómica muy oxidante y corrosiva	Debe resistir una calentamiento de 68°C	Con el criterio de resistencia térmica el mejor es el polipropileno
Neutralizado	Se utiliza agentes reductores, ambiente oxidante y corrosivo.	Se realiza a temperatura ambiente	Con el criterio de resistencia química el mejor es el PVC

<sup>76</sup>MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE DE COLOMBIA, FUNDES. op. Cit p 82.

Tabla 18. (Continuación)

<b>Etapa</b>	<b>Resistencia química</b>	<b>Resistencia térmica</b>	<b>Material elegido</b>
Activación	la concentración de ácido sulfúrico es algo elevada	Se realiza a temperatura ambiente	Con el criterio de resistencia química el mejor es el polipropileno
Aceleración	Los baños de aceleración están formados normalmente por ácidos orgánicos o minerales. muy corrosivo	Debe resistir un calentamiento de 45°C	El polipropileno cumple con ambos requisitos
Niquelado químico	En este proceso interviene el cloruro de níquel y un agente reductor, muy corrosivo	Se realiza a temperatura ambiente	Con el criterio de resistencia química el mejor es el PVC
Cobrizado	Solución que contiene fundamentalmente sulfato de cobre y ácido sulfúrico. Muy corrosiva Es necesario usar un tanque con un material no conductor	Se realiza a temperatura ambiente	Con el criterio de resistencia química el mejor es el PVC
Niquelado	Es necesario usar un tanque con un material no conductor Y el ataque químico de esta operación no es considerable	Debe resistir un calentamiento de 40°C	El PVC cumple con los requerimientos
Cromado	Es necesario usar un tanque con un material no conductor. También es usada una mezcla sulfo-crómica pero con una concentración de ácidos crómico y sulfúrico distinta que resiste el PVC	Debe resistir un calentamiento de 45°C	El PVC cumple con los requerimientos

Fuente: elaboración propia.

**3.6.1 Dimensionamiento de las cubas.** Las dimensiones de las cubas dependen del tamaño de las piezas a tratar así como la producción que se desea obtener, además hay que tener en cuenta todos los implementos que van a estar sumergidos como pueden ser calentadores, ánodos, etc.

Según el trabajo de Wilfrido Armando De la hoz Díaz y Jonathan Torres Soler titulado “Estudio de mejora de los procesos administrativos, productivos y comerciales de la empresa Naliet S.A.S.” su proyección de la producción para el año 2018 es de 300 piezas cromadas por día; teniendo en cuenta las dimensiones de la pieza se puede calcular el volumen de las cubas y sus respectivas dimensiones.

Para obtener las 300 piezas en 5 lotes distintos, y de esta forma obtener la cantidad requerida en un turno laboral, ya que cada lote demora 1 hora aproximadamente. Se realizara la línea de cromado en plástico para 60 piezas por lote, distribuidas en seis filas con capacidad de cargar diez piezas, como se mostrara en el diseño de gancheras.

Para determinar el ancho de la cuba se utilizó la profundidad de la ganchera, el grosor de la cesta de ánodos que son de 5 cm y se sumó 8 cm de distancia a cada lado:

$$Ancho_{cuba} = d_{profundidad} + 2 * d_{anodo} + 2 * 8 \text{ cm}$$

$$Ancho_{cuba} = 24 \text{ cm} + 2 * 5 \text{ cm} + 2 * 8 \text{ cm}$$

$$Ancho_{cuba} = 50 \text{ cm}$$

Para determinar el largo de la cuba se usó la distancia entre gancheras y se sumó 10 cm a cada lado:

$$Largo_{cuba} = 5 * d_{gancheras} + 2 * 10 \text{ cm}$$

$$Largo_{cuba} = 5 * 16 \text{ cm} + 2 * 10 \text{ cm}$$

$$Largo_{cuba} = 100 \text{ cm}$$

Para determinar el alto de la cuba se usó el largo de la ganchera y se sumó 15 cm para tener espacio suficiente para el sistema de filtración.

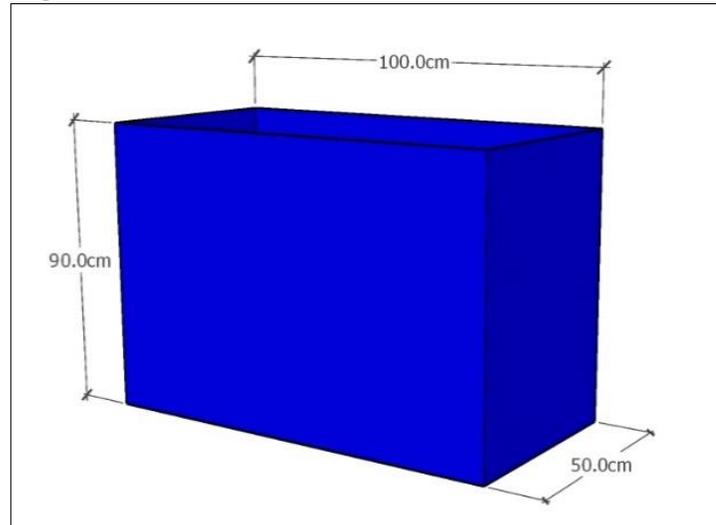
$$Alto_{cuba} = l_{ganchera} + 15 \text{ cm}$$

$$Alto_{cuba} = 75 \text{ cm} + 15 \text{ cm}$$

$$Alto_{cuba} = 90 \text{ cm}$$

Por lo anterior las dimensiones seleccionadas se muestran a continuación en la figura 18:

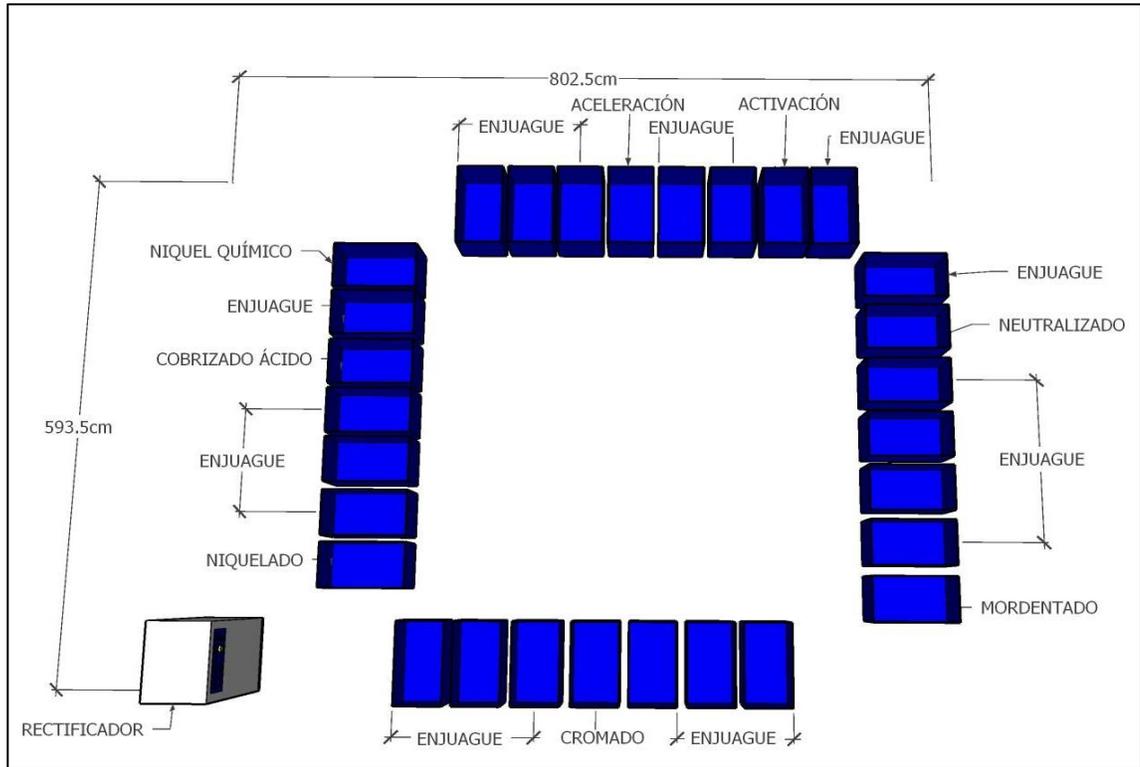
Figura 18. Dimensiones de las cubas.



Fuente: elaboración propia.

**3.6.2 Distribución de las cubas.** La distribución de las cubas debe ser de tal forma que la distancia entre las cubas de cada etapa y las cubas de enjuague sea la menor posible para no desperdiciar tiempo y evitar posibles derrames. Por esto la línea de cromado decorativo convencional debe estar dispuesta en línea recta o en forma de U. Teniendo en cuenta las dimensiones de las cubas y el área ocupada por el rectificador, el área total necesaria para la línea de producción es de 47.63 m<sup>2</sup>, esta área será dispuesta en las instalaciones de la empresa ya que cuentan con el espacio suficiente para esto. La distribución de las cubas se encuentra esquematizada en la figura 19.

Figura 19. Distribución de las cubas.



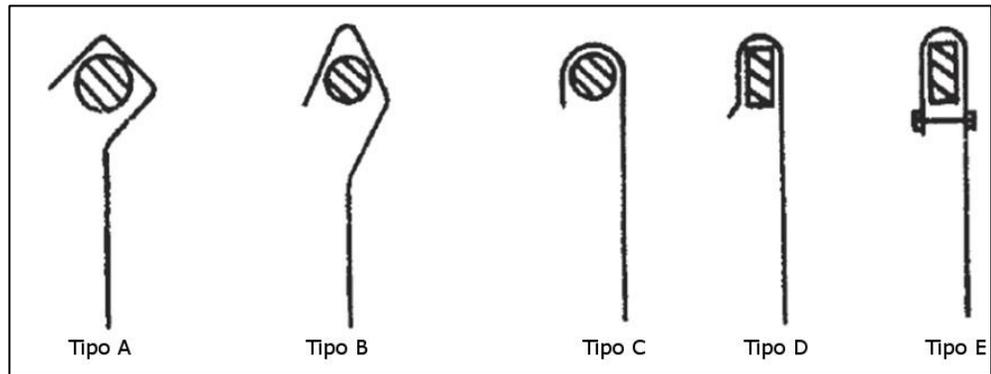
Fuente: elaboración propia.

### 3.7 GANCHERAS

Estos sistemas son utilizados para sujetar y mantener las piezas dentro del electrolito, además de usarse cuando se procesa grandes lotes de piezas con el mismo formato. Existen diferencias de diseño y construcción para los ganchos como se puede ver en la figura 20, los cuales deberán ajustarse al formato y tamaño de las piezas, y a la producción que se deba obtener de ellas.<sup>77</sup>

<sup>77</sup> GARCÍA OLIVA, E. R, op. Cit, p. 27

Figura 20. Distintos diseños de ganchos para suspender piezas.



Fuente: Metal Fishing, guidebook and directory 08/09, 259p.

Es importante tener en cuenta en el momento del diseño, que se debe respetar la distancia entre las piezas y los electrodos, además del peso que tiene que soportar de todas las piezas que es aproximadamente 9 kg. El tipo de gancho escogido para este proceso es del tipo A debido a su diseño que permite un buen agarre de las gancheras, además es fácil de manipular a la hora de cambiar las gancheras.

Las piezas como se ve en la figura 21, poseen agujeros en la parte posterior de un diámetro de 0,4 cm, las cuales se sujetaran a presión por estos huecos a las gancheras quedando así las piezas en una posición vertical. El material de la ganchera debe ser de cobre por su alta conductividad en relación con su costo y se deberá recubrir con pintura aislante para evitar deposición de metal sobre esta.

Figura 21. Parte posterior del anillo de plástico ABS.



Fuente: elaboración propia.

En cuanto al diseño de las puntas se escogió un tipo de pinza a presión como se ve en la figura 22, debido a que las piezas son fáciles de montar y desmontar; además permite un buen contacto con la pieza y permite que esta quede en una posición fija sin riesgo de que se caiga durante el proceso.

Figura 22. Gancheras con pinza a presión.



Fuente: INDAXGAL. Artículo: Bastidores, ganchos, gancheras para baños electrolíticos. Valencia, 2016. Disponible en: <http://www.indaxgal.com/bastidores-ganchos-gancheras-para-banos-electroliticos/>

Las medidas de la pieza con las que se va a determinar el diseño de las gancheras son las siguientes: 3 cm de alto y 11 cm de diámetro externo, para un entendimiento adecuado y de mejor manejo se asumirá el área de la pieza como un cuadrado. Para determinar la distancia entre piezas en la misma ganchera se utilizó el radio exterior de la pieza y se le sumó 5 cm para evitar el contacto con otras piezas:

$$d_{entre\ piezas} = d_{exterior\ pieza} + 5\ cm$$

$$d_{entre\ piezas} = 11 + 5\ cm$$

$$d_{entre\ piezas} = 16\ cm$$

Para determinar la distancia entre las gancheras se utilizó el radio exterior de la pieza y se sumó 5 cm:

$$d_{entre\ gancheras} = d_{exterior\ pieza} + 5\ cm$$

$$d_{entre\ gancheras} = 11\ cm + 5\ cm$$

$$d_{entre\ gancheras} = 16\ cm$$

Para determinar la profundidad de la ganchera se utilizó la altura de la pieza que es de 3 cm, se sumó tanto el grosor de la ganchera de 2 cm y 8 cm del largo de las pinzas:

$$d_{profundidad} = 2 * Altura_{pieza} + 2 * largo_{pinzas} + grosor_{ganchera}$$

$$d_{profundidad} = 2 * 3\ cm + 2 * 8\ cm + 2\ cm$$

$$d_{profundidad} = 24\ cm$$

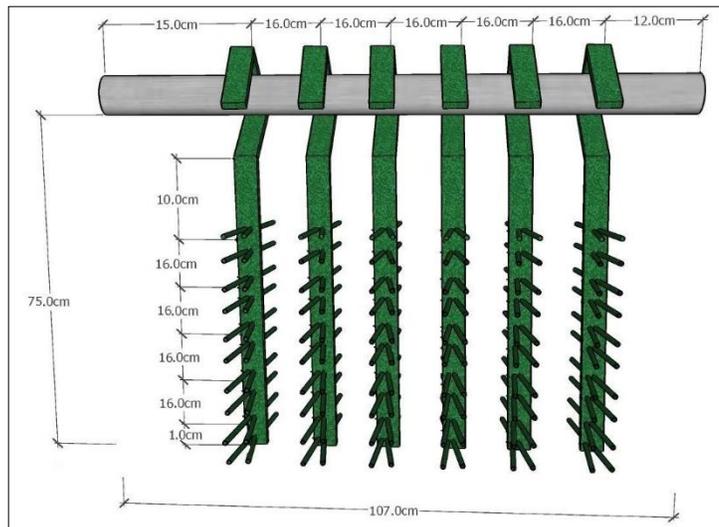
En cuanto al largo de la ganchera se utilizó la distancia entre las piezas, se sumó 10 cm de distancia para que la primera pieza se sumerja completamente y 1 cm de la parte de abajo sobrante de la ganchera:

$$l_{ganchera} = 10\ cm + 16\ cm * 4 + 1\ cm$$

$$l_{ganchera} = 75\ cm$$

En la figura 23 se pueden observar las medidas finales de las gancheras.

Figura 23. Dimensiones de las gancheras.



Fuente: elaboración propia

### 3.8 ÁNODOS

Los ánodos proporcionan contacto eléctrico con la solución y distribuir corriente en la pieza (cátodo). Existen dos tipos de ánodos:

- Ánodos solubles: Al pasar corriente por el ánodo se produce una oxidación y desprende iones del metal que están hechos, estos iones son los que se depositan sobre el cátodo. Los ánodos deben ser de metal puro altamente eficientes, si el metal no es puro se producen impurezas que contaminan el baño y afectan la calidad del depósito.
- Ánodos inertes: Al pasar corriente por el ánodo se produce una oxidación pero no se desprenden iones en cambio se desprende gas oxígeno; los iones metálicos a depositar en el cátodo provienen de las sales de la solución del baño.<sup>78</sup>

Para el proceso de galvanoplastia convencional se usan ánodos solubles para los baños de cobre y níquel, los cuales son respectivamente ánodos de cobre y ánodos de níquel. Para el baño de cromo se usan ánodos inertes como los son los ánodos de plomo.

La superficie del ánodo debe ser proporcional a la superficie del cátodo, para el proceso de galvanoplastia convencional se manejan relaciones de área de ánodo/área de cátodo de 2:1 para los baños de cobre y níquel, mientras que para el baño de cromo se maneja una relación de 1:1.<sup>79</sup>

Los ánodos de cobre y níquel son depositados en cestas generalmente de titanio que se suspenden en la barra del ánodo; se recomienda el uso de bolsas anódicas que generalmente son de polipropileno o de algodón, estas bolsas impiden el paso de partículas del ánodo que puedan contaminar el baño. Por otro lado los ánodos de plomo exigen una frecuente limpieza ya que tienden a cubrirse con una película insoluble de cromato de plomo y dióxido de plomo, se recomienda remover los ánodos del baño de cromo mientras no esté en uso.<sup>80</sup>

---

<sup>78</sup> ANDRADE BARRIOS, Carlos ANDRES. SANDOVAL CAMPIZ, Romir Eduardo. .Diseño de un prototipo para un sistema de cobrizado estandarizado. Cartagena, 2004, 27-28 p. Universidad Tecnológica de Bolívar, Facultad de Ingeniería Mecánica.

<sup>79</sup>SANTILLÁN ESPINOZA, Diego Iván. SANDOVAL SILVA, Oscar Rafael. Construcción, implementación y pruebas de una planta piloto de cobreado, niquelado, cromado, galvanizado, anodizado con sus respectivas guías para el laboratorio de tratamientos superficiales de la facultad de mecánica. Ecuador, 2013, 82p. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Escuela de Ingeniería Industrial.

<sup>80</sup> DALMAU JORDÁ, op. cit, p.248.

### 3.9 MANTENIMIENTO DE LOS BAÑOS

Para realizar un correcto mantenimiento y prolongar la vida de los baños se deben tener en cuenta las siguientes razones que producen contaminaciones:

- Transformaciones químicas en los baños: Altas concentraciones de ciertos compuestos en los baños provocan una disminución del rendimiento de este.
- Los enjuagues: Pueden contener una serie de aniones y cationes que pueden ser problemáticos para ciertas operaciones, por ejemplo cloruro para la operación de cromado.
- Productos químicos: Aunque los productos químicos suelen ser relativamente puros, siempre van acompañados de trazas de contaminantes inorgánicos y orgánicos.
- Los ánodos: Contienen impurezas de otros metales y en ocasiones sustancias inorgánicas u orgánicas.

Para conseguir la prolongación de la vida de los baños es necesario el análisis continuo de los componentes del electrolito y su ajuste a los valores teóricos. El mantenimiento de los baños se realiza por diferentes técnicas que permiten una eliminación de metales pesados contaminados, una precipitación de sales, una retirada de aditivos orgánicos degradados, así como de impurezas insolubles o partículas. En la última década se han puesto en marcha cada vez más instalaciones de recubrimientos electrolíticos con una tecnología más optimizada con menores arrastres, mayores tiempos de vida de los baños y mayor calidad de electrolito y del recubrimiento.<sup>81</sup>

A continuación se presentan las causas de contaminación, técnicas de mantenimiento y de prolongación de vida de baños específicamente para las etapas de mordentado, activación, cobrizado, niquelado y cromado.

**3.9.1 Mantenimiento baño de mordentado.** Como consecuencia del ataque de la superficie del ABS se produce una reacción de reducción y el cromo hexavalente de la disolución inicial se convierte en cromo trivalente, un aumento en la concentración de  $\text{Cr}^{+3}$  por encima de los 40 g/L provoca en el baño una pérdida de la actividad para que trabaje de manera correcta, es decir, comienza a agotarse, el baño llega a un punto en el que no se puede seguir utilizando.

---

<sup>81</sup> BUENAS PRÁCTICAS Y SENCILLAS MEDIDAS TECNOLÓGICAS. Disponible en: <http://www.istas.net/fittema/att/li7.htm>.

Para alargar un poco la vida útil del baño, por lo general se añade más  $\text{Cr}^{+6}$  al baño en forma de óxido de cromo, aunque se prefiere eliminar el exceso de cromo trivalente.

Para eliminar el exceso de cromo trivalente existen en la actualidad dos métodos:

- **Método Físico:** En el cual se decanta una parte del cromo hexavalente y se regenera.
- **Método Electroquímico:** Para regenerar el exceso de cromo trivalente se utilizan recipientes porosos que contienen un electrolito de entre un 10 - 50% en volumen de ácido sulfúrico, son utilizados cátodos de cobre o de acero inoxidable y para los ánodos se utilizan tiras de plomo o el mismo tanque del baño, si este es de plomo. Se puede utilizar un evaporador flash para concentrar la solución resultante y lograr un sistema retroalimentado. El problema de éste método reside en que todas las impurezas del baño de mordentado son recirculados de nuevo al baño; esto causa un aumento de las impurezas que lleva a problemas como el denominado “stardusting”, con el que aparecen ligeras rugosidades en partes de las piezas.<sup>82</sup>

**3.9.2 Mantenimiento baño de cobre.** La composición del baño bajo condiciones normales de operación requiere de ajustes ocasionales. Si la deposición de los baños de sulfato es baja, la concentración de cobre debe aumentarse. El control de la concentración puede darse fácilmente midiendo la gravedad específica y determinando la concentración de ácido. Una manera más exacta de determinar la composición de los constituyentes del baño es mediante su análisis químico.

Los contaminantes orgánicos son los más comunes en los baños de cobre ácido, estos afectan negativamente la apariencia y las propiedades físicas del depósito, una coloración verde del baño indica la presencia significativa de contaminantes orgánicos. Estas impurezas orgánicas se remueven mediante un tratamiento con carbón activado.<sup>83</sup>

**3.9.3 Mantenimiento baño de níquel.** Pequeñas cantidades de contaminantes metálicos como por ejemplo cobre, tienen grandes efectos en la apariencia y amortiguación del depósito. Estos contaminantes se remueven satisfactoriamente por medio de la precipitación como sales insolubles y filtración. Los contaminantes orgánicos también están presentes en este baño y pueden ser removidos por adsorción con carbón activado. El control de la composición de los constituyentes del baño se realiza mediante un análisis químico.

---

<sup>82</sup> REYES PINEDA, Henry, op. cit, p.22.

<sup>83</sup> ARTAVIA VEGA, Nelson, op. Cit, p.21.

También se debe de controlar el pH ya que no debe ser mayor a 5.0, este control se realiza por métodos colorimétricos, el ácido bórico se encarga de actuar como amortiguador de la solución y es esencial para controlar el pH.<sup>84</sup>

**3.9.4 Mantenimiento baño de cromo.** Al ocurrir la reducción del cromo hexavalente a cromo metal ocurre la formación de cromo trivalente en la solución, para que el baño opere correctamente y se produzcan recubrimientos aceptables es importante mantener la concentración de cromo trivalente menor a 20g/L.<sup>85</sup> Una concentración moderada de cromo trivalente, valores entre 1 – 15 g/L, puede aumentar el poder de penetración de la solución. Para reducir el contenido se adiciona hidróxido bórico.<sup>86</sup>

El análisis del baño también puede mostrar un exceso en el contenido de ácido sulfúrico, se puede eliminar añadiendo carbonato de bario o incluso hidróxido bórico, son necesarios 3,2 gramos del compuesto para eliminar 1 gramo de ácido sulfúrico.<sup>87</sup> La composición de este baño es fácilmente mantenida por análisis físicos o químicos. El mantenimiento del baño no requiere de filtración.<sup>88</sup>

De acuerdo con la bibliografía, se recomienda el mantenimiento para los baños del presente proyecto se muestra en la tabla 19:

---

<sup>84</sup>ARTAVIA VEGA, Nelson, op. Cit, p.22.

<sup>85</sup>JULVE, Enrique. Perspectiva general del cromado industrial: Características físicas del recubrimiento y tipos de cromado. Barcelona, 2001, 5p. Universidad Autónoma de Barcelona. Departamento de Química. Facultad de ciencias.

<sup>86</sup>PADILLA BONILLA, Egidio Alejandro. SALVATIERRA RODRIGUEZ, Miguel Ángel. Planta de cromado. Guayaquil, Ecuador, 2001, 53p. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química.

<sup>87</sup>DALMAU JORDÁ, Daniel, op. cit, p.242.

<sup>88</sup> ARTAVIA VEGA, Nelson, op. Cit, p.31.

Tabla 19. Mantenimiento de los baños.

<b>Baño</b>	<b>Característica</b>	<b>Mantenimiento</b>
Mordentado	Exceso de cromo trivalente, concentración mayor a 40 g/L, según análisis químico.	Método físico para eliminar el exceso de cromo trivalente.
Cobrizado ácido	Deposición del baño de sulfato baja, según análisis químico.	Aumentar concentración de cobre según la composición de los constituyentes del baño.
	Contaminantes orgánicos (coloración verde del baño).	Remover impurezas mediante adsorción con carbón activado.
Niquelado	Contaminantes metálicos según análisis químico.	Filtración del baño.
	Contaminantes orgánicos según análisis químico.	Remover impurezas mediante adsorción con carbón activado.
	pH del baño mayor a 5.0 según método colorimétrico.	Adición de ácido bórico.
Cromado	Concentración de cromo trivalente mayor a 20 g/L según análisis químico.	Adición de hidróxido bórico.
	Exceso de ácido sulfúrico.	Adición de hidróxido bórico.

Fuente: elaboración propia.

#### 4. DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DE LA PROPUESTA PARA LA LÍNEA DE GALVANOPLASTIA EN LA EMPRESA NACIONAL DE LICUADORAS NALIET S.A.S

En el presente capítulo se determinaron los costos de la propuesta de la línea de galvanoplastia (cromado decorativo) teniendo en cuenta los costos directos como lo son los costos de los equipos, costos de insumos, costos de personal; también se tuvieron en cuenta los costos indirectos para poder determinar los costos totales del proyecto.

##### 4.1 COSTOS DIRECTOS

Los costos directos de la línea de galvanoplastia se presentan a continuación:

**4.1.1 Costos de equipos.** Los costos de los equipos requeridos para el proceso se establecieron por medio de cotizaciones realizadas por vía telefónica con los proveedores Industrias plásticas JOARGOBE y Tecnologías SION S.A.S; la cotización del rectificador de corriente se encuentra en el anexo E. Los costos se muestran en la tabla 20.

Tabla 20. Costos de equipos.

Equipo	Valor (IVA incluido) (\$COP)	Cantidad necesaria	Total (\$COP)
Rectificador de corriente 500A	\$5.500.000	1	\$5.500.000
Sistema de agitación por aire	\$30.000	8	\$240.000
calentadores eléctricos	\$250.000	4	\$1.000.000
filtro de discos	\$270.000	1	\$270.000
Gancheras	\$100.000	6	\$600.000
Cubas para enjuague 450 L	\$200.000	21	\$4.200.000
Cubas de PVC 450 L	\$320.000	5	\$1.600.000
Cubas de polipropileno 450 L	\$300.000	3	\$900.000
Costos equipos			<b>\$14.310.000</b>

Fuente: elaboración propia.

**4.1.2 Costos de insumos.** Los costos de los insumos requeridos para el proceso se establecieron por medio de cotizaciones realizadas por vía telefónica con el proveedor BYCSA S.A. El costo de los insumos requeridos para el proceso corresponde a los costos indicados en la tabla 21.

Para determinar la cantidad necesaria de insumos se tuvo en cuenta que el volumen de las cubas de cada baño es de 450 L, se debe llenar hasta un 70% volumen de la cuba para evitar el desbordamiento de la solución esto equivale a 315 L de solución para cada baño; conociendo el volumen de cada baño y la concentración de cada compuesto se calculó la cantidad necesaria en kg.

Tabla 21. Costos de insumos.

Reactivo	Valor unitario (IVA incluido) (\$COP)	Cantidad necesaria (Kg)	Total (\$COP)
Ácido crómico	\$29.750	126	\$3.748.500
Ácido sulfúrico	\$2.618	68	\$178.024
Agente reductor (neutralizado)	\$30.821	4	\$123.284
Coloide de Paladio	\$1.309.000	5	\$6.545.000
Agente acelerador	\$18.921	15	\$283.815
Sulfato de cobre	\$15.232	33	\$502.656
Cloruro de níquel	\$29.333	30	\$880.005
Sulfato de níquel	\$23.800	80	\$1.904.000
Ácido bórico	\$2.380	12	\$28.560
Agente reductor (níquel químico)	\$26.537	30	\$796.110
Ánodo de plomo	\$38.080	4	\$128.000
Ánodo de níquel	\$65.450	3	\$165.000
Ánodo de cobre	\$39.270	3	\$99.000
Costos insumos			<b>\$14.989.954</b>

Fuente: elaboración propia.

El agua utilizada como insumo para las etapas de enjuague se calculó de la siguiente manera: teniendo en cuenta que se debe llenar hasta un 70% el volumen de la cuba para evitar el desbordamiento de la solución; además debido a que no se calculó el arrastre de impurezas resultante en las etapas de enjuague y por tanto el recambio de agua, dado que las etapas de enjuague debe contar con una

filtración que permite mantenerlas libres de residuos por mayor tiempo<sup>89</sup>, se estimará 3 recambios de las cubas de enjuague por año. Para el año 2018 el costo de m<sup>3</sup> de agua en Bogotá es de \$12.792 COP:

$$V_{cuba} = l * a * a$$

$$V_{cuba} = 1m * 0,5 m * 0,9m$$

$$V_{cuba} = 0,45m^3 * 0.7$$

$$V_{cuba} = 0,315 m^3$$

$$V_{cuba} = 0,315 m^3 * 21 cubas$$

$$V_{cuba} = 6,615 m^3$$

El costo de agua para las etapas de enjuagues es:

$$costo_{agua,año} = 6,615 m^3 * 3 * 12792 \$/m^3$$

$$costo_{agua,año} = \$253.857$$

Los costos totales de insumos son:

$$Costos_{insumos} = \$14.989.954 + \$253.857 = \$ 15.243.811$$

**4.1.3 Costos de personal.** Teniendo en cuenta que para la producción de cinco lotes diarios se necesita únicamente de un operario y tomando valores establecidos para el año 2018; se determinaron los costos de personal para el proceso como se muestra en la tabla 22.

---

<sup>89</sup>José Carlos, D. (2012). El agua de enjuague en la galvanoplastia. TRATAMIENTO DE SUPERFÍCIE, 7(edición de noviembre).

Tabla 22. Costos de personal.

Rubro	Mensual (\$COP)	Anual (\$COP)
Salario mensual operario	\$781.242	\$9.374.904
Auxilio de transporte mensual	\$88.211	\$1.058.532
Aporte pensión mensual	\$93.749	\$1.124.988
Aporte salud mensual	\$66.406	\$796.867
ARL riesgo IV mensual	\$33.984	\$407.808
Caja de compensación mensual	\$31.250	\$374.996
Dotación	-	\$290.000
Vacaciones	-	\$434.727
Prima	-	\$869.453
Cesantías	-	\$869.453
Intereses cesantías	-	\$104.334
Costos de personal	\$1.094.841	\$15.706.063

Fuente: elaboración propia.

Los costos totales directos son:

$$Costos\ directos = Costos\ equipos + Costos\ insumos + Costos\ personal$$

$$Costos\ directos = \$ 45.939.828$$

## 4.2 COSTOS INDIRECTOS

Para calcular la energía a utilizar en la línea de galvanoplastia, se sumaron las potencias de los calentadores de los baños y la corriente del rectificador, convirtiendo los valores primero en kilovatio-hora para poder calcular el costo según la empresa de energía CODENSA, donde 1 kilovatio-hora equivale a \$530,83 COP para el sector no residencial industrial con contribución.

$$E_{[kWh]} = P_{kW} * t_{hr}$$

- Consumo de corriente del rectificador para la etapa de cobrizado ácido, niquelado y cromado:

$$E_{[kWh]} = 6,17kW * (1,25h + 0,835h + 0,0833h) = 13,38kWh$$

El costo mensual de consumo de corriente del rectificador para todo el proceso:

$$costo = 267,6 kWh * 530,38 \frac{\$}{kWh} = \$141.929$$

- Consumo de corriente para los calentadores en cada etapa:

Para la etapa de mordentado:

$$E_{[kWh]} = 6,32kW * 1,25h = 7,9kWh$$

Para la etapa de acelerado:

$$E_{[kWh]} = 1,8306kW * 0,166h = 0,3049kWh$$

Para la etapa de niquelado:

$$E_{[kWh]} = 2,128kW * 0,833h = 1,7732 kWh$$

Para la etapa de cromado:

$$E_{[kWh]} = 2,285kW * 0,0833h = 0,1904kWh$$

El costo mensual del consumo de corriente de los calentadores para todo el proceso:

$$costo = 203,37kWh * 498,37 \frac{\$}{kWh} = \$101.353$$

- El costo total de consumo de energía es:

$$costo_{energía} = \$22.356 + \$101.353 = \$123.710$$

Los costos indirectos para el proceso corresponden a los costos indicados en la tabla 23.

Tabla 23. Costos indirectos.

Rubro	Costo mensual (\$COP)	Costo anual (\$COP)
Energía	\$249.884	\$2.998.615
Agua	\$50.000	\$600.000
Costos indirectos	\$299.884	<b>\$3.598.615</b>

Fuente: elaboración propia.

### 4.3 COSTO TOTAL DE LA PROPUESTA

Los costos totales del proyecto se encuentran consignados en la tabla 24.

Tabla 24. Costos totales de la propuesta.

<b>Costos</b>	<b>Total (\$COP)</b>
Costos directos	\$45.939.828
Costos indirectos	\$3.598.615
<b>Costo total del proyecto</b>	<b>\$49.538.443</b>

Fuente: elaboración propia.

Se estimaron que los costos totales de la propuesta de la línea de galvanoplastia para la empresa Nacional de Licuadoras NALIET S.A.S son de \$49.538.443 COP, siendo la inversión más costosa el rectificador de corriente, el coloide de paladio y las cubas de enjuague; además las etapas de enjuague pueden generar costos elevados de agua por lo que se recomienda disminuir el volumen y cantidades de estas. Según el criterio de la empresa la presente propuesta para la línea de galvanoplastia será implementado o no.

## 5. CONCLUSIONES

- El proceso de cromado decorativo convencional es el proceso más adecuado para la pieza.
- De acuerdo al desarrollo experimental las condiciones para la etapa de cromado son: concentración de ácido crómico de 216 g/L y tiempo de trabajo de 1 min.
- Para la línea de cromado decorativo se deben contar con 21 enjuagues de tipo estanco a temperatura ambiente, también debe contar con sistema de agitación por aire en cada etapa, así como sistema de filtración por platos para el mantenimiento de los baños. Las dimensiones de las cubas para cada etapa son 90 cm de alto, 100 cm de largo y 50 cm de ancho, para un volumen total de 450 L. El área necesaria para la línea de galvanoplastia es de 47.63 m<sup>2</sup>.
- La potencia total de la corriente del rectificador es de 315 kW. La fuente de calor de las etapas de acelerado, niquelado y cromado deben ser calentadores de 3000 watts y para el calentador de la etapa de mordentado debe ser de 7000 watts. Las relaciones de área de ánodo/área de cátodo deben ser de 2:1 para los baños de cobre y níquel, para el baño de cromo debe ser una relación de 1:1.
- Los costos totales de la propuesta de la línea de galvanoplastia para la empresa Nacional de Licuadoras Naliet S.A.S son de \$49.538.443 COP, los costos de inversión más altos para la propuesta son los costos del rectificador de corriente y coloide de paladio.

## 6. RECOMENDACIONES

- Determinar el balance de materia para el proceso teniendo en cuenta la generación de cromo trivalente en las etapas de mordentado y cromado, así como la generación y arrastre de impurezas en los baños y etapas de enjuague.
- Realizar diseño de experimentos para concentraciones de ácido crómico menores a 216 g/L y mayores a 396 g/L con respecto al acabado final de la pieza.
- Realizar diseño de experimentos para identificar el efecto de los factores perturbadores en el acabado final de la pieza.
- Determinar la masa depositada real de paladio, níquel químico, cobre, níquel y cromado para una mejor comprensión del balance de materia del proceso.
- En las etapas de enjuagues realizar estudios de caracterización de aguas para determinar los minerales que contienen el agua utilizada ya que puede llegar a afectar el recubrimiento de las piezas.
- Reducir el volumen de las cubas de enjuague lo máximo posible para evitar el consumo elevado de agua, así como de productos químicos y tratamientos residuales.
- Rectificar los moldes de la inyección de la pieza de plástico ABS para evitar imperfecciones en la superficie ya que el colorante no permite identificarlos a simple vista.
- Rectificar las condiciones en el moldeo de la pieza para evitar que imperfecciones afecten el acabado superficial metálico de la pieza.
- Caracterizar el plástico ABS usado para fabricar la pieza ya que las piezas con plástico reciclado pueden causar interferencias en las etapas de recubrimiento y afectar en el acabado superficial final.
- Realizar las especificaciones del mantenimiento de los baños determinando la vida útil de estos.

- Caracterizar la composición de los enjuagues para determinar la vida útil de estos y poder especificar adecuadamente el mantenimiento que requieren.
- Los baños deben tener una atención constante, ya que al ser un ciclo secuencial cualquier equivocación en alguna etapa provoca que el acabado de la pieza sea de mala calidad por lo que habrá que observar estrictamente el pH del medio, regulación de agitación y concentraciones mediante el análisis cuantitativo.
- Determinar nuevas fuentes de corriente diferentes al rectificador, cambiar el amperaje para un nuevo proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

ANDRADE BARRIOS, Carlos y SANDOVAL CAMPIZ, Romir Eduardo. Diseño de un prototipo para un sistema de cobrizado estandarizado. Cartagena: Universidad Tecnológica de Bolívar. Facultad de Ingeniería Mecánica, 2004. 27-28 p.

ARTAVIA VEGA, Nelson. Diseño. Construcción y puesta en marcha de un equipo de electrodeposición de cromo para el laboratorio de Ingeniería Química. Proyecto de Grado para licenciatura en Ingeniería Química, San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Química, 2008. 29 p.

BACHS, L., CUESTA, J. y CARLES, N. Aplicaciones industriales de láser. Barcelona: Boixareu editores, 1988. 69 p.

BENNETT, L. S., LIPPERT, T., FURUTANI, H., FUKUMURA, H., & MASUHARA, H. Laser induced micro explosions of a photosensitive polymer. Applied Physics A: Materials Science and Processing, 1996. 63 p.

BUENAS PRÁCTICAS Y SENCILLAS MEDIDAS TECNOLÓGICAS. En: <http://www.istas.net/fitema/att/li7.htm>. Abril 20 2018.

BUSTOS CEDEÑO, Andrea Lizbeth y ROSERO ESPÍN, Marco Vinicio. Método electroquímico para la reducción de cromo hexavalente de aguas residuales de la industria galvanoplástica. Trabajo de Titulación (Ingeniera Química). Quito: Universidad Central de Ecuador. Facultad de Ingeniería Química, 2016. 11 p.

C. Mayacela y O. Nelson. Diseño, construcción e implementación de un sistema de pulido electrolítico de materiales ferrosos para el proceso de cromado en la empresa "Ingenieros Lara Nuñez CIA LTDA", Latacunga: Escuela Politécnica del Ejército, 2013.

CACHO, L. M. Desarrollo de procesos verdes para modificar la superficie del ABS previo a su metalización. Centro de investigación y desarrollo tecnológico en electroquímica. Ecole centrale de lyon, 2009.

CARBAJO VALLEJO, Carlos. Línea de recubrimiento electroquímico para plateado de piezas a granel. Valladolid: Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales, 2017. 45 p.

City electric supply. Electrical Formulas for Calculating Ampere, horsepower, kilowatts, and kva. En: <https://cityelectricssupply.com/downloads/Electrical%20Formulas%20FOR%20Calculating%20Ampere.pdf>. Mayo, 2018.

DALMAU JORDÁ, Daniel. Métodos galvánicos en la industria química. Trabajo de grado Especialización en Química Industrial. Barcelona: Escola d'Enginyeria de Barcelona Est, 2005. 208 p.

DE LA HOZ DIAZ, Wilfrido Armando y TORRES SOLER, Jonatan. Estudio de mejora de los procesos administrativos, productivos y comerciales de la empresa NALIET S.A.S. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero industrial. Bogotá: Fundación Universidad de América., 2013. 88 p.

DEL CASTILLO RODRÍGUEZ, F. D. Principios de electrodeposición. Cuautitlán, 2008.

DÍAZ, N; MARRERO, M.D; MONZÓN, M.D; HERNÁNDEZ, P.M y BENÍTEZ, A.N. Estudio del proceso electroless para el metalizado de modelos plásticos usados en electroconformado. En: Anuales de ingeniería mecánica. 2010. p.3.

FIORUCCI, M. P. Aplicación de la ablación mediante láser pulsado de nanosegundo a la limpieza y texturizado de materiales. Programa de doctorado en Fotónica y Tecnologías del Láser. Universidad Da Coruña, 2015. 45 p.

GARCÉS GIRALDO, L., MEJÍA FRANCO, E., & SANTAMARÍA ARANGO, J. La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. En: Revista Lasallista de Investigación. 2017. vol 1. no.1. p. 83.

GARCÍA OLIVA, E. R. Guía para la implementación del proceso de galvanoplastia, en el laboratorio de metalurgia y metalografía de la facultad de ingeniería, USAC. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009. 18 p.

HURTADO MELO, Sergio. Manual Acabado de transformados Poliméricos. ic Editorial, 2014. 59 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá D.C. El instituto, 2008. 33p.c.

\_\_\_\_\_. Documentación Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Bogotá D.C. El instituto, 2008. 36p.2008.

\_\_\_\_\_. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 4490. Bogotá D.C. El instituto, 1998. 23p.

José Carlos, D. El agua de enjuague en la galvanoplastia. Tratamiento de superficies. En: El agua de enjuague en la galvanoplastia. Boletín electrónico. Noviembre, 2012.

JULVE, Enrique. Perspectiva general del cromado industrial: Características físicas del recubrimiento y tipos de cromado. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona. Departamento de Química. Facultad de ciencias, 2001. 50 p.

LARA NÚÑEZ, Mario Alcides. Estudio del cromado metálico en superficies de aros para buses bajo normas INEN y su incidencia en la adherencia superficial. Trabajo de Investigación previo a la obtención del Grado Académico de Magister en Diseño Mecánico. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, 2017. 29 p.

Mac Dermid Española S.A. La metalización galvánica de los plásticos. España, 12 p.

MARTÍN MARTÍNEZ, José Miguel. Adhesión de Polímeros y Elastómeros mediante Adhesivos de Contacto, Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Alicante, 1992.

MARTÍNEZ GARCÍA, A. Tratamiento de copolímeros EVA mediante descarga corona. Influencia de la naturaleza y contenido de diferentes cargas. Tesis doctoral. Alicante: Universidad de Alicante, 1999. 51 p.

MEAS V.Y, CACHO, L. M., ORTEGA B.R, PÉREZ B.J, 2005. Proceso de tratamiento de piezas de ABS para generarles una superficie rugosa. México.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE DE COLOMBIA, FUNDES. Guía de Buenas Prácticas para el Sector Galvanotecnia. Colombia, 45, 84 p.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO. Guía de Mejores Técnicas disponibles en España del Sector de Tratamiento de Superficies Metálicas y Plásticas. España. 2009.

MORENO DIAZ, Esteban Camilo. Propuesta para una planta de cromado plástico en la empresa NALIET S.A.S. Bogotá D.C: Fundación Universidad de América. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Química, 2015. 42 p.

Observatorio de Yebes. Deposición electrolítica de Níquel. Guadalajara. 2015. p 15-27.

OZDEMIR, M., y SADIKOGLU, H. A new and emerging technology: Laser-induced surface modification of polymers. En: Trends in Food Science & Technology. 1998. p. 159 –167.

PADILLA BONILLA, Egidio Alejandro. Y SALVATIERRA RODRIGUEZ, Miguel Ángel. Planta de cromado. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química, 2001, 53 p.

PAREDES VALENCIA, Jorge David. Proceso de galvanización en polímeros utilizando los equipos de metalurgia de la FIME. Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército. Carrera de Ingeniería Mecánica. 2007, 204 p.

POULIS, J. A., COOL, J. C., & LOGTENBERG, E. H. P. UV/ozone cleaning, a convenient alternative for high quality bonding preparation. En: International Journal of Adhesion and Adhesives. 1993. p. 89–96.

REYES MAZARIEGOS, Menphis Sofonias. Aplicación del diseño experimental en el desarrollo de las prácticas internas, en el área de operaciones unitarias. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química, 2009. 48 p.

REYES PINEDA, Henry. Estudio de la recuperación de cromo hexavalente mediante un reactor electroquímico de compartimentos separados por separadores cerámicos. Tesis doctoral (Ingeniería Química). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Química y Nuclear, 2007, 19 p.

RODRÍGUEZ, G. F. (2016). Funcionalización de superficies metálicas mediante procesos láser. Escuela técnica superior de ingenieros industriales de Madrid.

ROMERO SÁNCHEZ, M. D. (2002, June 11). Un nuevo tratamiento superficial con radiación ultravioleta para mejorar la adhesión de cauchos SBS. Universidad de Alicante. Disponible en: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/3949>

SANVICENTE VELASCO, I. El pintado de los elementos plásticos. En: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/4222-El-pintado-de-los-elementos-plasticos.html>. Noviembre. 1996.

SUAREZ GARCIA, Oscar Javier. Obtención y caracterización electroquímica y estructural de recubrimientos de cromo decorativo a partir de soluciones de cromo trivalente. Trabajo de grado (Maestría en Materiales y Procesos). Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, 2010. 26 p.

VALVERDE HERRERA, Roberto Vicente. Cromado en plástico ABS. Tesis de grado (ingeniero mecánico). Guayaquil: Escuela Superior Politécnica de Litoral. Facultad de Ingeniería Mecánica, 1991. 42 p.

YOVCHEVA, T.A., AVRAMOVA, I.A., MEKISHEV, G.A., MARINOVA, T.S. Corona-charged polypropylene electrets analyzed by XPS. En: Journal of Electrostatics, 2007.p. 667–671.

**ANEXO A**  
**RESISTENCIA QUÍMICA DEL POLIETILENO**

TABLA DE RESISTENCIAS QUÍMICAS PARA EL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD									
QUÍMICO O DISOLVENTE	%	RESISTENCIA AL ATAQUE QUÍMICO		TIPO DE EMPAQUE SUGERIDO		CONEXIÓN SUGERIDA		REFUERZO (%)	
		20°C	60°C	v viton	e EPDM	pp polipropileno	Otra	20°C	60°C
Acetato de amilo	100%	NS	NS	—	—	—	—	NS	NS
Acetato		S	S	—	e	pp	—	0	0
Acetato de sodio	Saturado	S	S	—	e	pp	—	0	0
Acetato de etilo	100%	NS	NS	—	—	—	—	NS	NS
Acetato de plomo	Saturado	S	S	—	e	pp	—	40	40
Aceites y ácidos grasos		NS	NS	—	—	—	—	0	0
Aceite de alcanfor		ND	ND	—	—	—	—	ND	ND
Aceite de castor		ND	ND	—	—	—	—	ND	ND
Aceite combustible		NS	NS	—	—	—	—	NS	NS
Aceite de linaza		NS	NS	—	—	—	—	NS	NS
Aceite de semilla de algodón		S	S	v	—	pp	—	0	0
Aceite lubricante		NS	NS	—	—	—	—	NS	NS
Aceites minerales		S	NS	v	—	pp	—	0	NS
Aceite para transformador		NS	NS	—	—	—	—	NS	NS
Ácido arsénico	100%	ND	ND	—	—	—	—	ND	ND
Ácido benzoico	Todas	ND	ND	—	—	—	—	ND	ND
Ácido bórico	Concentrado	S	S	v	e	pp	—	20	20
Ácido brómico	Todas	NS	NS	—	—	—	—	NS	NS
Ácido butírico	Concentrado	ND	ND	—	—	—	—	ND	ND
Ácido carbónico		S	S	—	—	—	—	0	0
Ácido cítrico	Saturado	S	S	v	e	pp	—	20	20
Ácido clorosulfónico	Cualquiera	NS	NS	—	—	—	—	NS	NS
Ácido crómico	Cualquiera	NS	NS	—	—	—	—	NS	NS
Ácido esteárico	100%	S	S	v	e	pp	—	20	20
Ácido fórmico	100%	S	S	—	e	pp	—	40	40
Ácido fosfórico	Hasta el 30%	S	S	v	e	pp	—	40	40
Ácido glicólico	30%	S	S	v	e	pp	—	40	40
Ácido hidrobromico	50%	S	S	v	e	—	—	40	40
Ácido hidrocórico	Hasta el 35%	S	S	v	—	—	—	40	40
Ácido hidrofórico	Hasta el 75%	S	S	v	—	—	—	40	40
Ácido láctico	10-90%	S	S	v	e	pp	—	20	20
Ácido málico	Saturada	S	S	v	—	pp	—	40	40
Ácido maleico		ND	ND	—	—	—	—	ND	ND
Ácido nítrico	Hasta el 30%	S	S	v	—	pp	—	20	20
Ácido sulfurico fumante		NS	NS	—	—	—	—	NS	NS
Ácido oxálico	Saturada	S	S	v	e	pp	—	40	40
Ácido perclórico	10%	ND	ND	—	—	—	—	ND	ND
Ácido picrico	Cualquiera	NS	NS	—	—	—	—	NS	NS
Ácido sulfúrico	Hasta el 50%	S	S	v	e	pp	—	40	40
Ácido sulfuroso		S	S	v	e	pp	—	40	40
Ácido tánico	10%	S	S	v	e	pp	—	40	40
Ácido tartárico	10%	ND	ND	—	—	—	—	ND	ND
Agentes blanqueadores		S	S	v	—	pp	—	20	20
Agua clorada	2%	NS	NS	v	—	pp	—	NS	NS
Agua de mar		S	S	v	e	pp	—	0	0

NOMENCLATURA      S = Satisfactorio, si se recomienda emplear PEAD para esta aplicación      NS = No satisfactorio, no se recomienda emplear PEAD para esta aplicación      ND = No se tienen datos disponibles

TABLA DE RESISTENCIAS QUÍMICAS PARA EL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD										
QUÍMICO O DISOLVENTE	%	RESISTENCIA AL ATAQUE QUÍMICO		TIPO DE EMPAQUE SUGERIDO		CONEXIÓN SUGERIDA		REFUERZO (%)		
		20°C	60°C	v viton	e EPDM	pp polipropileno	Otra	20°C	60°C	
Cloro	Líquido	NS	NS	—	—	—	—	NS	NS	
Cloro benceno	Cualquiera	NS	NS	—	—	—	—	NS	NS	
Clorato de calcio	Saturada	S	S	—	e	pp	—	40	40	
Cloruro de potasio	Saturada	S	S	v	e	pp	—	40	40	
Cloruro de sodio	Saturada	S	S	v	e	pp	—	0	0	
Clorato de potasio	Saturada	S	S	v	e	pp	—	40	40	
Cloroformo	100%	NS	NS	—	—	—	—	NS	NS	
Cloruro de bario	Saturada	S	S	v	e	pp	—	40	40	
Cloruro de aluminio	Diluido	S	S	v	e	pp	—	40	40	
Cloruro de aluminio	Concentrado	S	S	v	e	pp	—	40	40	
Cloruro de amilo	100%	ND	ND	—	—	—	—	ND	ND	
Cloruro de amonio	Saturada	S	S	v	e	pp	—	20	20	
Cloruro de antimonio	Todas	NS	NS	—	—	—	—	NS	NS	
Cloruro de calcio	Saturada	S	S	v	e	pp	—	20	20	
Cloruro de cobre	Saturada	S	S	v	e	pp	—	40	40	
Cloruro cuproso	Saturada	S	S	v	e	pp	—	40	40	
Cloruro de etilo	Cualquiera	NS	NS	—	—	—	—	NS	NS	
Cloruro estañoso	Saturada	S	S	v	—	pp	—	40	40	
Cloruro hierroso	Saturada	S	S	v	—	pp	—	40	40	
Cloruro de hierro	Saturada	S	S	v	e	pp	—	40	40	
Cloruro de magnesio	Saturada	S	S	v	e	pp	—	40	40	
Cloruro de metilo		NS	NS	—	—	—	—	NS	NS	
Cloruro de metileno	100%	NS	NS	—	—	—	—	NS	NS	
Cloruro de níquel	Saturada	S	S	v	e	pp	—	40	40	
Cloruro de zinc	Saturada	S	S	v	e	pp	—	40	40	
Concentrados de cola		ND	ND	—	—	—	—	ND	ND	
Cresol	100%	NS	NS	—	—	—	—	NS	NS	
Cromato de potasio	40%	S	S	v	e	pp	—	20	20	
Detergentes sintéticos		S	S	v	e	pp	—	0	0	
Dextrina	Saturada	S	S	—	—	pp	—	0	0	
Dextrosa	Saturada	S	S	v	—	pp	—	40	40	
Dibutil ftalato		NS	NS	—	—	—	—	NS	NS	
Dicloro etileno	Cualquiera	NS	NS	—	—	—	—	NS	NS	
Dicloro propileno	100%	NS	NS	—	—	—	—	NS	NS	
Dicromato de potasio	40%	S	S	v	e	pp	—	40	40	
Dicromato de sodio	Saturada	S	S	v	e	pp	—	40	40	
Dietilen glicol	100%	NS	NS	—	—	—	—	NS	NS	
Dietilen glicol	Diluida	S	S	v	e	pp	—	0	0	
Dimetil amina	Cualquiera	NS	NS	—	—	—	—	NS	NS	
Diocil ftalato		NS	NS	—	—	—	—	NS	NS	
Dióxido de azufre		ND	ND	—	—	—	—	ND	ND	
Dióxido de carbono	Solución Saturada	S	S	v	e	—	—	0	0	
Dióxido de carbono	Solución acuosa	S	S	v	e	pp	—	0	0	
Disulfuro de carbono		ND	ND	—	—	—	—	ND	ND	

NOMENCLATURA

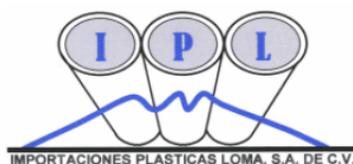
S = Satisfactorio, si se recomienda emplear PEAD para esta aplicación

NS = No satisfactorio, no se recomienda emplear PEAD para esta aplicación

ND = No se tienen datos disponibles

**ANEXO B**  
**RESISTENCIA QUÍMICA DEL PVC**

## Guía Resistencia Química



[Guía Resistencia Química Chemtrol](#)

### Resistencia del PVC a Elementos Químicos ( Parte 1 )

DESCRIPCION	23°C	60°C	DESCRIPCION	23°C	60°C
Aceite de Algodón	E	E	Acido Brómico	E	E
Aceite de Castor	E	E	Acido Butírico	R	NR
Aceite de Linaza	E	E	Acido Carbónico	E	E
Aceite de Lubricante	E	E	Acido Cianhídrico	E	E
Aceites Minerales	E	B	Acido Cítrico	E	E
Aceites y Grasas	E	B	Acido Clorhídrico 20%	I	I
Acetaldehido	NR	NR	Acido Clorhídrico 50%	E	E
Acetato de Amilo	NR	NR	Acido Clorhídrico 80%	E	E
Acetato de Butilo	NR	NR	Acido Cloracético 10%	B	R
Acetato de Etilo	NR	NR	Acido Crómico 30%	E	NR
Acetato de Plomo	E	E	Acido Crómico 50%	B	NR
Acetato de Sodio	E	E	Acido Diclocoico	E	E
Acetato de Vinilo	NR	NR	Acido Esteárico	B	B
Acetileno	I	I	Acido Fluorhídrico 10%	E	NR
Acetona	NR	NR	Acido Fluorhídrico 50%	E	NR
Acido Acético 80%	B	NR	Acido Fórmico	E	NR
Acido Acético 20%	E	NR	Acido Fosfórico 25-85%	E	E
Acido Adípico	E	E	Acido Gálico	E	E
Acido Antraquinonsulfónico	I	I	Acido Glicólico	E	E
Acido Arisulfónico	R	NR	Acido Hipocloroso	E	E
Acido Arsénico	E	B	Acido Clorosulfónico	E	I
Acido Bencesulfónico 10%	E	E	Acido Crecílico 59%	B	NR
Acido Benzoico	E	E	Acido Crómico 10%	E	E
Acido Bórico	E	E	Acido Láctico	E	E
Acido Bromhídrico 20%	E	E	Acido Laúrico	E	E

E = Excelente B = Buena R = Regular  
I = Información No Comprobada

NR = No Recomendable

### Resistencia del PVC a Elementos Químicos ( Parte 2 )

DESCRIPCION	23°C	60°C	DESCRIPCION	23°C	60°C
Acido Linoleico	E	E	Acrilato de Etilo	NR	NR
Acido maleico	E	E	Agua de Bromo	R	NR
Acido Málico	E	E	Agua de Mar	E	E
Acido Metilsulfónico	E	E	Agua Potable	E	E
Acido Nitonínico	E	E	Agua Regia	R	NR
Acido Nítrico 10%	E	NR	Alcohol Alílico 96%	NR	NR
Acido Nítrico 68%	NR	NR	Alcohol Amílico	R	NR
Acido oléico	E	E	Alcohol Butílico	B	NR
Acido Oxálico	E	E	Alcohol Etilico	E	E

Acido Pálmico 10%	E	E
Acido Pálmico 70%	NR	NR
Acido Peracético 40%	NR	NR
Acido Perclórico 10%	E	E
Acido Perclórico 70%	NR	NR
Acido Pírico	NR	NR
Acido Selénico	I	I
Acido Silícico	E	E
Acido Sulfuroso	E	E
Acido Sulfúrico 10%	E	E
Acido Sulfúrico 75%	E	E
Acido Sulfúrico 90%	NR	NR
Acido Sulfúrico 98%	NR	NR
Acido Tánico	E	E
Acido Tartárico	E	E
Acido Grasos	E	E

Alcohol Metílico	E	E
Alcohol Propargílico	I	I
Alcohol Propílico	B	NR
Amoniaco (Gas Seco)	E	E
Amoniaco (Cloruro de Amonio)	E	NR
Anhídrico Acético	NR	NR
Anilina	NR	NR
Antraquinona	E	I
Benceno	NR	NR
Benzonato de Sodio	B	R
Bicarbonato de Potasio	E	E
Bicarbonato de Sodio	E	E
Bicromato de Potasio	E	E
Bifloruro de Amonio	E	E
Bisulfato de Sodio	I	I
Bisulfito de Calcio	E	E

E = Excelente B = Buena R = Regular  
I = Información No Comprobada

NR = No Recomendable

### Resistencia del PVC a Elementos Químicos ( Parte 3 )

DESCRIPCION	23°C	60°C
Blanqueador (12.5% Cl2 Art.)	B	B
Borato de Calcio	E	E
Borax	E	B
Bromato de Potasio	E	E
Bromo (liq.)	NR	NR
Bromuro de Etileno	NR	NR
Bromuro de Potasio	E	B
Bromuro de Sodio	I	I
Butadieno	R	NR
Butano	I	I
Butanodiol	I	I
Butil Fenol	B	NR
Butileno	E	I
Carbonato de Amonio	R	R
Carbonato de Bario	E	E
Carbonato de Calcio	E	E
Carbonato de Magnesio	E	E
Carbonato de Potasio	B	B
Carbonato de Sodio (S Ash.)	E	E
Celulosa	R	NR
Cianuro de Cobre	E	E
Cianuro de Plata	E	E
Cianuro de Potasio	E	E
Cianuro de Sodio	E	E
Cianuro de Mercurio	B	B

DESCRIPCION	23°C	60°C
Ciclohexano	NR	NR
Ciclohexanol	NR	NR
Clorato de Calcio	E	E
Clorato de Sodio	I	I
Cloro (Acuoso) z	E	NR
Cloro (húmedo)	E	R
Cloro (seco)	E	NR
Clorobenceno	NR	NR
Cloroformo	NR	NR
Cloruro de Alilo	NR	NR
Cloruro de Aluminio	E	E
Cloruro de Amonio	E	E
Cloruro de Amilo	NR	NR
Cloruro de Bario	E	E
Cloruro de Calcio	E	E
Cloruro de Cobre	E	E
Cloruro de Etilo	NR	NR
Cloruro de Fenilhidrazina	R	NR
Cloruro de Magnesio	E	E
Cloruro de Metileno	NR	NR
Cloruro de Metilo	NR	NR
Cloruro de Niquel	E	E
Cloruro de Potasio	E	E
Cloruro de Sodio	E	E
Cloruro de Tionilo	NR	NR

E = Excelente B = Buena R = Regular  
I = Información No Comprobada

NR = No Recomendable

### Resistencia del PVC a Elementos Químicos ( Parte 4 )

DESCRIPCION	23°C	60°C
Cloruro de Zinc	E	E
Cloruro Estánico	E	E
Cloruro Estanoso	E	E
Cloruro Férrico	E	E
Cloruro Ferroso	E	E
Cloruro Láurico	I	I

DESCRIPCION	23°C	60°C
Fluor (Gas Húmedo)	E	E
Fluoruro de Aluminio	E	E
Fluoruro de Amino 25%	NR	NR
Fluoruro de Cobre	E	E
Fluoruro de Potasio	E	E
Fluoruro de Sodio	I	I

**ANEXO C**  
**PROPIEDADES TÉRMICAS DEL PVC**



C/ DELS PINS, 2  
 POLIG. SALELLES  
 08253 SANT SALVADOR  
 DE GUARDIOLA  
 Tel. 93 868 20 72  
 Fax 93 869 63 62

- ▬ POLIETILENO
- ▬ POLIPROPILENO
- ▬ ACETAL
- ▬ NYLON
- ▬ PVC

## FABRICACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE PLÁSTICOS TÉCNICOS

### PVC

◀ Volver a [características generales del pvc](#)

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PVC

Para conocer las **características técnicas** del **PVC**, elasticidad, alargamiento a la rotura, densidades, fricción, resistencia a la rotura al impacto, a la tracción, y temperatura máxima y mínima de trabajo, así como para consultar las tablas de las medidas de barras y placas de **PVC** que suministra plasticbages, y los pesos de los distintos formatos a su disposición, tanto en **barras** como en **placas**, consulte las tablas referentes al **PVC** que aparecen a continuación:

#### CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

<i>Propiedades Térmicas</i>	
Calor Específico ( J K <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )	1000-1500
Coefficiente de Expansión Térmica ( x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	75-100
Conductividad Térmica a 23C ( W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	0,12-0,25
Temperatura Máxima de Utilización ( C )	50-75
Temperatura Mínima de Utilización ( C )	-30
Temperatura de Deflación en Caliente - 0.45MPa ( C )	70
Temperatura de Deflación en Caliente - 1.8MPa ( C )	67

**ANEXO D**  
**PROPIEDADES TÉRMICAS DEL POLIPROPILENO**

Seleccione producto ▼

- ABS
- PA6
- PA66
- PC
- PMMA
- Poliuretano
- POM
- PP**
- Descripción
- PPC
- PPH
- Grados y Autoextinguibles
- PPE
- PBT
- Blends
- TPE
- Conductivos
- PVC
- Concentrados / Masterbatch
- Especiales
- PS

# PP

## POLIPROPILENO

### Descripción:

El polipropileno (PP) es el polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno (o propeno). Pertenece al grupo de las poliolefinas y es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes. Tiene gran resistencia contra diversos solventes químicos, así como contra álcalis y ácidos.

### Propiedades mecánicas:

	PP Homopolímero	PP Copolímero	Comentarios
Módulo elástico en tracción (GPa)	1,1 a 1,6	0,7 a 1,4	
Alargamiento de rotura en tracción (%)	100 a 600	450 a 900	Junto al polietileno, una de las más altas de todos los termoplásticos
Carga de rotura en tracción (MPa)	31 a 42	28 a 38	
Módulo de flexión (GPa)	1,19 a 1,75	0,42 a 1,40	
Resistencia al impacto Charpy (kJ/m2)	4 a 20	9 a 40	El PP copolímero posee la mayor resistencia al impacto de todos los termoplásticos
Dureza Shore D	72 a 74	67 a 73	Más duro que el polietileno pero menos que el poliestireno o el PET

Presenta muy buena resistencia a la fatiga, por ello la mayoría de las piezas que incluyen bisagras utilizan este material.

### Propiedades térmicas:

	PP Homopolímero	PP Copolímero	Comentarios
Temperatura de fusión (°C)	160 a 170	130 a 168	Superior a la del polietileno
Temperatura máxima de uso continuo (°C)	100	100	Superior al poliestireno, al LDPE y al PVC pero inferior al HDPE, al PET y a los "plásticos de ingeniería"
Temperatura de transición vítrea (°C)	-10	-20	

A baja temperatura el PP homopolímero se vuelve frágil (típicamente en torno a los 0°C); no tanto el PP copolímero, que conserva su ductilidad hasta los -40°C.



**ANEXO E**  
**COTIZACIÓN RECTIFICADOR DE CORRIENTE**



## División Rectificadores de corriente

Señores:

Cotización: 1049

Nacional de Lluadoras Nallet s.a.s  
At, Daniela Barreto  
Bogotá, Colombia.

Atendiendo a su amable solicitud presentamos la siguiente cotización referente al suministro de un rectificador de corriente para procesos electrolíticos.

### I. Especificaciones técnicas:

- Corriente máxima de salida: 500 Amperios.
- Tensión de salida: 0 a 12 VDC
- Eficiencia:  $\pm 90\%$
- Ripple máximo de salida:  $\geq 5\%$
- Refrigeración: Por aire.
- Ciclo de trabajo continuo: 100%.
- Tensión de entrada: 220 VAC tres fases, 60Hz.
- Potencia: 6,2 KVA.
- Corriente de entrada: 18 Amperios.
- Tipo de rectificación: Onda completa.
- Regulación: Electrónica.
- Temperatura ambiente de trabajo: De 2 a 40° Celsius.
- Humedad relativa máximo: 90%.
- Control remoto: No.

### II. Descripción general

#### 1. Instrumentación.

- Voltímetro digital.
- Amperímetro digital
- Piloto.
- Muestreo de corriente desde resistencia Shunt 500A/50Mv.

#### 2. Maniobra

- Suiche de encendido: Off – On.
- Potenciómetro de 10 Vueltas.
- Pulsador Off – ON.

#### 3. Sistemas de protección.

- Interruptor automático general. (Breaker general).
- Sensor de sobre – corriente de salida.
- Sensor de temperatura en los disipadores de calor.



## División Rectificadores de corriente

- Arrancador magnético.

#### 4. Tipo constructivo.

- Rectificador de corriente tipo inversor **SMPS** suichado a 18Khz. Con puente H. IGBTs conmutando sobre transformadores con núcleo de ferrita.
  - Rectificación de onda completa con diodos ultra-rápidos.
  - Filtros de salida LC.
- a. Refrigeración:
- Por tiro de aire forzado.
- b. Gabinete: Metálico fabricado en lámina de acero CR calibre 18. protegido con pintura electrostática horneada.

#### 6. Garantía.

Nuestra garantía cubre cualquier defecto de construcción, funcionamiento y presentación por periodo de un año a partir de la fecha de entrega.

#### III. Condiciones comerciales.

- Moneda: COP. Pesos Colombianos.
  - Forma de pago: Anticipado: 50%. Para hacer el envío: 50% restante.
  - Tiempo de fabricación: 20 días calendario.
  - Gastos de manejo y envío: Por cuenta del comprador.
- **Rectificador de corriente 500 Amperios, 12 VDC .....\$5.500.000**
  - **El precio no incluye IVA.**

Att,

José Fernando Duque Mesa  
Asesor técnico y comercial