

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA**  
**RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS**  
**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**  
**MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIATURA EN**  
**QUÍMICA INDUSTRIAL**



**TITULO: ESTUDIO DE LA NIQUELACIÓN COMO PROTECCIÓN  
CONTRA LA CORROSIÓN, RESALTE DEL BRILLO Y ADHERENCIA  
EN EL ACERO AL CARBONO, LABORATORIO DE QUÍMICA 110  
UNAN-MANAGUA, ABRIL - DICIEMBRE 2014.**

**Autores:**

Br. Allan Fabricio Hurtado Gutiérrez

Br. Jhony Alberto Cabrera Velásquez

**Tutor:**

*PhD.* Danilo López Valerio.

**Managua, 17 de Diciembre del 2014**

## ***Dedicatoria***

*Dedicamos este trabajo a nuestro Padre Celestial por darnos el gozo de la vida, el entendimiento y la fortaleza en cada una de las etapas en la realización de este trabajo.*

*A nuestros padres:*

**Alejandro Hurtado y Martha Gutiérrez**

**Carlos Cabrera y Marlene Velásquez**

*Por ser los pilares fundamentales de nuestras vidas, con sus sabios consejos y el amor dedicado para lograr nuestras metas. Gracias por creer en nosotros, ya que este trabajo no hubiese sido posible sin su apoyo e igual a cada uno de nuestros hermanos por su apoyo incondicional.*

## *Agradecimiento*

*En primer lugar a Dios nuestro señor, quien ha permitido contribuir con el desarrollo y culminación de este trabajo y sobre todo por sus bendiciones en todo nuestros estudios.*

*Tutor PhD. Danilo López Valerio por haber brindado su apoyo incondicional, guiarnos en el procedimiento de este trabajo y llegar a la culminación del mismo e igualmente al propietario del taller el "Progreso" Ing. Gabriel Pérez por facilitar los equipos y reactivos para la fase experimental de esta monografía.*

*Maestros del Departamento de Química de la UNAN-Managua, por su tiempo, apoyo, así como la sabiduría y excelentes valores que transmitieron en nuestra formación personal, en especial a la Directora del Departamento de Química Msc. Rosa María González Tapia por su mano amiga y apoyo incondicional.*

*Lic. Dania Labori encargada de los laboratorios de Química que con su ayuda y buena disposición facilitó los medios requeridos para realizar las pruebas experimentales.*

## OPINION DEL TUTOR

Managua 05 de mayo del 2015

Dirección del departamento de Química UNAN-MANAGUA, Nicaragua presentó ante ustedes el trabajo de monografía estudio de niquelación en el acero al carbono presentado en defensa el día miércoles 17 de diciembre del 2014.

Basado en el tema **“ESTUDIO DE LA NIQUELACIÓN COMO PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN, RESALTE DEL BRILLO Y ADHERENCIA EN EL ACERO AL CARBONO, LABORATORIO DE QUIMICA 110 UNAN-MANAGUA, ABRIL - DICIEMBRE 2014”**.

El presente trabajo incorpora todas y cada una de las recomendaciones orientadas por el jurado calificador dando fe del trabajo realizado.

Atte:

---

V.B Tutor de la investigación  
PhD. Danilo López Valerio

## RESUMEN

Este trabajo consistió en la niquelación de láminas de acero al carbono con el propósito de aumentar el grosor, proteger contra la corrosión y el desgaste de las mismas, para evitar accidentes que provoquen pérdidas humanas y económicas.

Para la realización de este estudio se utilizaron como muestra 12 láminas de acero al carbono, fueron seleccionadas por su vulnerabilidad al ambiente corrosivo y sufrir mayor desgaste. Se aplicó el método Taguchi con el propósito de obtener un producto robusto, de buena calidad y bajo costo. El brillo, adherencia y grosor dependieron de la concentración de los reactivos, pH, intensidad de corriente eléctrica y temperatura, las que fueron fundamentales al momento del revestimiento con níquel aplicado sobre el acero al carbono.

Se optimizaron las condiciones operacionales, tales como: temperatura a 75°C, pH 4.6, intensidad de corriente eléctrica de 5A, sulfato de níquel 200g/l, cloruro de níquel 60g/l, ácido bórico 35g/l, sacarina 10g/l, humectante 1ml, distancia entre los electrodos de níquel y lámina de 4cm y tiempo de 10 minutos, como consecuencia de esto, el grosor antes de someterlo al proceso de niquelación era de (2,946.4  $\mu\text{m}$ ) y después del niquelado fue de (3,060  $\mu\text{m}$ ), cuya diferencia es de 113.6 micrómetros, una adherencia y brillo adecuado, evaluado cualitativamente en la lámina de acero al carbono.

## **ABSTRACT**

This work consisted of niquelación of carbon steel sheets in order to increase the thickness, protect against corrosion and wear them to avoid accidents causing human and economic losses.

For realization of this study were used to sample 12 carbon steel that were selected because they are vulnerable to corrosive environment and suffer more wear. Taguchi method in order to obtain a robust product quality and inexpensive, related to gloss, adhesion and thickness during electrochemical nickel was applied. The gloss, adhesion and thickness depended on the concentration of reactants, pH, and electrical current and interceded, temperature, which were critical when the applied nickel coating on carbon steel.

Operational conditions such as were optimized temperature to 75oC, pH 4.6, electric current of 5A, nickel 250g/l sulfata, nickel 60g/l chloride, boric acid 35g/l, saccharin 10g/l, 1ml humectant, distance between the electrodes and nickel foil 4cm and length of 10 minutes, as a result, is able to obtain a thickness of 113.6 micrometers, adhesion and suitable brightness evaluated qualitatively on the carbon steel sheet.

# INDICE

<b>I. CAPITULO</b>	<b>PÁG</b>
<b>1. ASPECTOS GENERALES</b>	
1.1 Introducción.....	2
1.5 Objetivos .....	3
1.5.1 Objetivo general .....	3
1.5.2 Objetivos especificos.....	3
1.3 Planteamiento del problema.....	4
1.4 Justificación.....	5
1.5 Antecedentes .....	6
<b>II. CAPITULO</b>	
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
2.1 Principios de electrodeposición .....	8
2.2 Electroquímica para la niquelación.....	8
2.3 Principios de electricidad.....	9
2.3.1 Corriente eléctrica .....	9
2.3.2 Diferencia de potencial o voltaje.....	9
2.3.3 Resistencia (R).....	9
2.3.4 Aislante.....	9
2.4 Proceso electrolítico .....	10
2.5 Electrodeposición de níquel .....	11
2.6 Reacciones electroquímicas.....	12
2.7 Elección del metal recubridor (ánodo).....	12
2.7.1 Posición y número de ánodos .....	12
2.7.2 Recubrimiento parcial de una pieza .....	12
2.7.3 Recubrimiento total de una pieza.....	13
2.7.4 Recubrimiento de piezas irregulares.....	14
2.7.5 Recubrimiento exterior e interior .....	14

2.8 Material a niquelar.....	15
2.8.1 Acero al carbono .....	15
2.8. 2 Clasificación del acero al carbono.....	16
2.9 Elección del material para el niquelado.....	16
2.9.1 Limpieza del material .....	17
2.10 Resistencia a la corrosión .....	17
2.11 Resistencia al desgaste.....	18
2.12 Tipos de niquelado .....	18
2.12.1 Niquelado mate .....	18
2.12.2 Niquelado brillante .....	19
2.13 Pinzas conductoras (equipo eléctrico).....	20
2.13.1 Fuente de alimentación.....	20
2.13.2 Dispositivo disponible.....	21
2.14 Constituyentes de la solución.....	22
2.15 Aplicaciones del Níquel .....	22

### **III. CAPÍTULO**

<b>3. PREGUNTA DIRECTRIZ.....</b>	<b>25</b>
-----------------------------------	-----------

### **IV. CAPITULO**

<b>4. DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>	<b>26</b>
4.1 Ubicación del área de estudio.....	27
4.2 Tipo de estudio.....	27
4.3 Población y muestra.....	27
4.4 Criterio de selección.....	27
4.5 Diseño de experimento .....	27
4.6 Operacionalización de variable .....	32
4.7 Fuentes y técnicas de información.....	34
4.7.1 Fuentes y técnicas para recolectar información .....	34
4.7.2 Programas para procesar los datos e información.....	34
4.8 Material .....	34
4.9 Método .....	35
4.10 Equipos .....	35

4.11 Reactivos .....	35
<b>V.CAPITULO</b>	
5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	37
VI. CONCLUSIONES .....	46
VII. RECOMENDACIONES.....	48
BIBLIOGRAFIA .....	50
<b>ANEXO.</b>	

<b>ÍNDICE DE FIGURAS, FOTOGRAFÍAS Y ESQUEMAS</b>	<b>PÁG</b>
<b>Figura 2.1</b> Esquema de una celda electroquímica.....	10
<b>Figura 2.2</b> Representación del ánodo y cátodo (a y b) .....	11
<b>Figura 2.3</b> Disposición de los electrodos. ....	13
<b>Figura 2.4</b> Disposición de dos ánodos equidistante .....	13
<b>Figura 2.5</b> Niquelación para piezas redondas .....	14
<b>Figura 2.6</b> Niquelación de pieza tubulares, interior y exterior .....	15
<b>Figura 2.7</b> Recubrimiento de herramientas automotrices y decorativas. ....	23
<b>fotografía 4.1</b> Programa para la elaboración del diseño de experimento .....	28
<b>Esquema 4.2</b> Procedimiento para la creación del diseño de experimento .....	28
<b>Esquema 4.3</b> Procedimiento de niquelación.....	31



<b>INDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS</b>	<b>PÁG</b>
<b>Tabla 4.1</b> Número de experimentos y sus niveles. ....	30
<b>Tabla 5.1</b> Masa depositada de Níquel .....	37
<b>Tabla 5.2</b> Grosor de níquel adherido .....	38
<b>Tabla 5.3</b> Masa del Níquel gastado .....	40
<b>Tabla 5.4</b> Adherencia y brillo adquirido en el acero al carbono .....	41
<b>Gráfica 5.1</b> Efectos principales para las relaciones Señal Ruido.....	42
<b>Gráfica 5.2</b> Efectos principales para la media .....	44



# **CAPÍTULO I:**

# **GENERALIDADES**



## **1.1 INTRODUCCIÓN**

El niquelado electroquímico consiste en la transferencia de iones de Níquel metálico hacia el metal de interés por medio de una solución electrolítica que contiene sulfato de níquel, cloruro de níquel, ácido bórico, sacarina y humectante, formando una capa de Níquel en la superficie del mismo, para aumentar la resistencia del metal a la oxidación y mejorar su aspecto en elementos ornamentales. Como consecuencia de esto, se logran capas gruesas y finas de Níquel en tiempo razonables sobre hierro, acero al carbono entre otros metales.

En el proceso tecnológico de niquelado electroquímico se utilizó un ánodo de Níquel que se disuelve conforme se deposita en el cátodo, en consecuencia los iones viajan a través de la solución electrolítica que se adhieren en la superficie del mismo.

Las piezas electrodepositadas con Níquel fueron láminas de acero al carbono con las siguientes dimensiones: altura de 7.8cm, un ancho de 7.6cm y con grosor de 0.29 cm, las cuales fueron tratadas con lija y pulidora, posteriormente se limpiaron con jabón y alcohol, esto con el propósito de evitar cualquier tipo de grasas y material oxidado adherido en la lámina al momento de niquelar el metal.

En este estudio se determinaron las condiciones operacionales, como: temperatura, intensidad de corriente eléctrica, tiempo, pH, concentración de sales, entre otros factores, esto con el objetivo de mejorar el brillo, la adherencia y grosor con Níquel en las piezas de acero al carbono durante el proceso de niquelado, favoreciendo la resistencia de las mismas contra la oxidación.



## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.5.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la niquelación como protección contra la corrosión, resalte del brillo y adherencia en el acero al carbono, laboratorio de Química 110 UNAN-Managua, Abril-Diciembre 2014.

### **1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Calcular la masa de Níquel depositada en el metal a recubrir mediante el proceso de niquelación.
2. Determinar el grosor de Níquel en la lámina de metal a recubrir mediante el proceso de niquelación.
3. Verificar la adherencia y brillo del acero al carbono obtenido por medio de la niquelación.
4. Describir las condiciones operacionales que mejoren el brillo y la adherencia del acero al carbono.



### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El proceso electroquímico estudia las reacciones de oxidación y reducción efectuada en un circuito eléctrico. Este es utilizado en los problemas de desgaste y corrosión de piezas automotoras y maquinarias debido a su uso, lo cual puede causar pérdidas económicas, por tanto es necesario ajustar el grosor de las piezas mediante el proceso de niquelado electroquímico, además de recuperar el brillo en piezas de decoración con mayor valor agregado.



## **1.4 JUSTIFICACIÓN**

A causa del desgaste de las piezas móviles de equipos, herramientas y maquinarias, entre otros, al terminar su vida útil, se genera la importación de repuestos con altos costos, lo que influye en la disminución de divisas del país, por lo cual, se hace necesario la recuperación del grosor de Níquel en las piezas desgastada, que cumplan con los estándares de calidad.

Por tanto, en este trabajo, se determinaron las condiciones operacionales que mejoraron el brillo, la adherencia y grosor con Níquel en el acero al carbono durante el proceso de niquelado, que actuará como barrera protectora en las piezas móviles contra el ambiente corrosivo, logrando alargar la vida útil de las piezas sometidas al trabajo, presentando una mayor seguridad del metal.



## 1.5 ANTECEDENTES

El estudio de niquelación como protección contra la corrosión, resalte del brillo y adherencia en el acero carbono, a través de investigaciones bibliográficas, se encontró que a nivel nacional no existen trabajos relacionados con el mismo, por lo tanto esta investigación es pionera.

- ✓ A nivel regional en el 2010, Maryory Gómez, y Jorge Calderón de la Universidad de Antioquia, Medellín-Colombia, realizó estudio acerca de *“Evaluación de las propiedades de recubrimientos de Níquel electrodepositados”*, encontrando recubrimientos de Níquel depositados sobre sustratos de acero al carbono mediante polarización lineal en un electrodo de disco rotatorio (EDR) a diferentes velocidades de rotación.
- ✓ También en el 2009, Juan Carlos Troya de la universidad de Guayaquil-Ecuador, realizó la *“Construcción de un Banco Experimental didáctico para prácticas de Laboratorio en Protección de Metales”*, obteniendo probetas con diferente calidad de acabado según las condiciones establecidas, concluyó que obtuvo un banco experimental para operar diferentes tipos de recubrimientos, optimizando procedimientos y materiales.
- ✓ Asimismo en el 2008, Felipe Días del Castillo, de la facultad de estudios superiores Cuautitlán-México, realizó el estudio de *“Principios de electrodeposición de Níquel en metales”*, obteniendo resultados satisfactorios que permitieron lograr mejor adherencia en los diferentes metales en estudio.
- ✓ De este modo en el 2006, J. P. Calderón y Elmer Bustos, realizaron estudios acerca de *“Caracterización de recubrimientos Ni-P depositados por reducción química auto catalítica en superficies internas del acero al carbono”* encontrándose depósito amorfo de Ni-P con un contenido de fósforo entre el 4 y el 12 % en masa.



# **CAPITULO II:**

# **MARCO TEÓRICO**



## **2. MARCO TEÓRICO**

El niquelado es un recubrimiento metálico de Níquel realizado mediante baño electrolítico a los metales para aumentar su resistencia a la corrosión y mejorar su aspecto.

### **2.1 PRINCIPIOS DE ELECTRODEPOSICIÓN**

La electrodeposición consiste en cubrir objetos con una película fina de otro metal, este se conoce como electrólisis, cuyo nombre procede de dos radicales: electro que hace referencia a electricidad y lisis que significa ruptura. La electrodeposición implica la reducción (disminución del estado de oxidación; ganancia de electrones) de un compuesto metálico disuelto en solución y una deposición del metal resultante sobre una superficie conductora. *(Díaz Felipe, 2008).*

Esta técnica se utiliza con el propósito de transferir una capa de metal para aumentar la resistencia a la abrasión, al desgaste, protección contra la corrosión, lubricación y mejorar las propiedades de la superficie del metal de interés, o con efectos decorativos. Este proceso electroquímico, se utiliza para el tratamiento de superficies, depositando una capa metálica, basándose en el paso de la corriente eléctrica entre dos metales diferentes (electrodos) que están inmersos en un líquido conductor (electrolito).

### **2.2 ELECTROQUÍMICA PARA LA NIQUELACIÓN**

La electroquímica se basa en la transformación de la energía eléctrica y la energía química. Las reacciones químicas se dan en la interface de un conductor eléctrico llamado (electrodo), que puede ser un metal o un semiconductor) y un conductor iónico (electrolito) que puede ser una disolución y en algunos casos especiales, un sólido. La reacción química es conducida mediante una diferencia de potencial aplicada externamente. *(Díaz Felipe, 2008).*



El electrodo es el componente de un circuito eléctrico que conecta el cableado del circuito a un medio conductor con electrolito. El electrolito es un compuesto químico disuelto en agua desionizada compuesta de sales y otros factores, esta hace posible el paso de la corriente eléctrica. Las reacciones químicas donde se producen las transferencias de electrones entre moléculas se conocen como reacción redox.

## 2.3 PRINCIPIOS DE ELECTRICIDAD

Los procesos electrolíticos implican variables eléctricas tales como:

**2.3.1 Corriente eléctrica (I):** Es la rapidez del flujo de carga que pasa por un punto dado en un conductor eléctrico, que se origina por el movimiento de los electrones y es una medida de la cantidad de carga que pasa por un punto dado en la unidad de tiempo, se mide en amperios (A).

**2.3.2 Diferencia de potencial o voltaje (V):** Es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. También se define como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverse entre dos posiciones determinadas, se puede medir con un voltímetro y su unidad de medida es el voltio.

**2.3.3 Resistencia (R):** Es la oposición al flujo de carga eléctrica, y está presente en todos los elementos. Además es una propiedad específica del material, que está en función de sus propiedades como es el tamaño, forma y temperatura que es independiente del voltaje y la corriente que pasa a través de ella, su unidad de medida es Ohm ( $\Omega$ ).

**2.3.4 Aislante:** Es un material que se resiste al flujo de carga a través de sí mismo. El conductor eléctrico es el material por el cual puede transferir carga fácilmente, la mayor parte de los metales son buenos conductores.



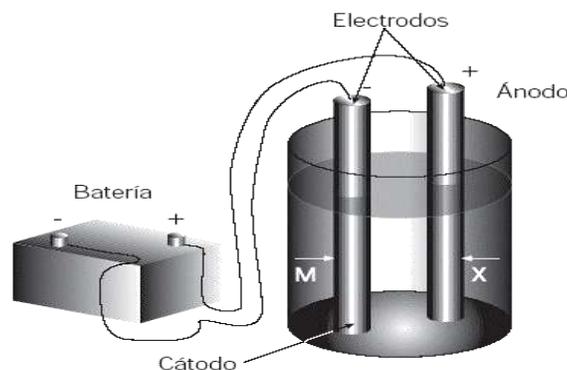
Los conductores se clasifican por su naturaleza de conducción entre ellos están conductores de primer orden, segundo orden y tercer orden:

Los conductores de primer orden poseen conductancia eléctrica, en los cuales los portadores de la carga son los electrones que se caracterizan por tener una conducción sin transferencia substancial de masa. Los conductores de segundo orden que poseen conductancia iónica o electrolítica, y los portadores de la carga son los iones, lográndose de esta manera la transferencia de masa asociada con la conductividad. Los conductores de tercer orden, llamados comúnmente semiconductores, poseen tanto conductancia iónica como eléctrica. Por lo general predomina el carácter eléctrico. *(Díaz Felipe, 2008).*

#### 2.4 PROCESO ELECTROLÍTICO

El proceso electrolítico consiste en hacer pasar una corriente eléctrica a través de un electrolito, entre dos electrodos conductores denominados ánodo y cátodo, donde los cambios ocurren en los electrodos. Los electrodos se conectan a una fuente de energía (generador de corriente directa), el electrodo unido al polo positivo del generador es el ánodo y el electrodo unido al polo negativo del generador es el cátodo. La reacción de electrólisis se considera como el conjunto de dos medias reacciones, una oxidación anódica y una reducción catódica. *(Fischer A, 2010).*

En la siguiente figura 2.1 se muestra el esquema de una celda electroquímica



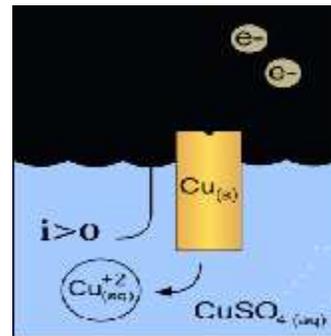
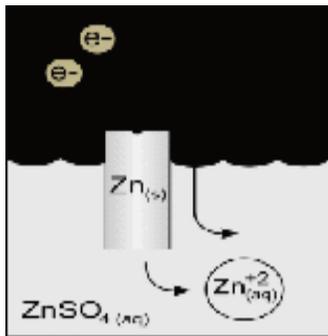
**Figura 2.1** Esquema de una celda electroquímica



**Estudio de la niquelación como protección contra la corrosión, resalte del brillo y adherencia en el acero al carbono.**

El ánodo es el electrodo positivo de una celda electrolítica, donde se dirigen los iones negativos, y en el cual se produce la reacción de oxidación. El cátodo es polo negativo en el cual se produce la reacción de reducción a través de la corriente eléctrica que fluye de un dispositivo eléctrico polarizado

**Figura 2.2**, a y b se muestran las representaciones del ánodo y cátodo respectivamente.



a) Representación de un ánodo

b) Representación de un cátodo

## 2.5 ELECTRODEPOSICIÓN DE NÍQUEL

En el proceso de niquelado una fuente o generador crea una corriente eléctrica que pasa entre los dos electrodos. La migración de los iones del electrolito (solución que contiene iones Níquel,  $\text{Ni}^{+2}$ ) se da en el cátodo (pieza a cubrir). Los iones metálicos en solución ( $\text{Ni}^{+2}$ ) se reducen a  $\text{Ni}^0$  en la superficie del cátodo de la celda, y van depositándose micra a micra hasta producir un depósito continuo. (**Lanzón Marcos, 2012**).

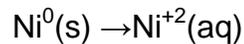
Como cátodos se pueden utilizar láminas de cobre sobre las cuales se realizan la deposición del Níquel. El electrolito se podrá utilizar hasta que la concentración de iones  $\text{Ni}^{+2}$  sea muy baja. Sin embargo, los iones Níquel se pueden reponer al utilizar el ánodo de níquel metálico ( $\text{Ni}^0(\text{s})$ ); en este ánodo se producirán iones níquel  $\text{Ni}^{+2}$  que pasan a la solución. En el sistema formado, el flujo de electrones va en sentido contrario al flujo de corriente.



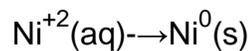
## 2.6 REACCIONES ELECTROQUÍMICAS

Las semireacciones electroquímica que describen el proceso de niquelado son las siguientes:

En el ánodo: Oxidación del Níquel:



En el cátodo: Reducción del Níquel:



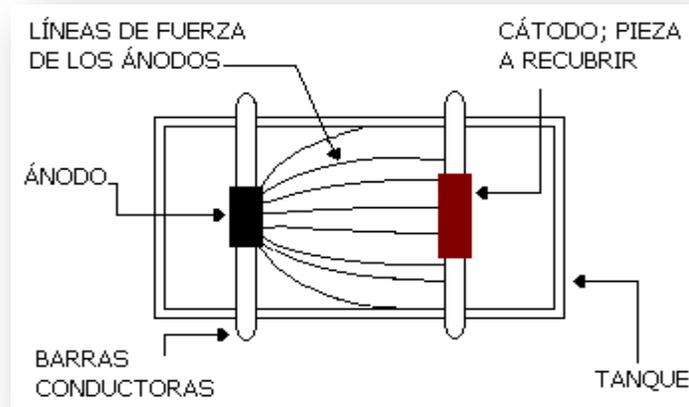
## 2.7 ELECCIÓN DEL METAL RECUBRIDOR (ÁNODO)

### 2.7.1 Posición y número de ánodos

El Níquel es un metal muy importante debido a que se aplica sobre varios metales ferrosos y no ferrosos. El ánodo es el electrodo compuesto del metal recubridor, en este caso, Níquel. Las líneas de fuerza de los ánodos se comportan de la misma forma que las líneas de un campo magnético; es decir, éstas se desplazan de ánodo al cátodo, algunas en línea recta y otras se curvan ligeramente. La posición y la cantidad de los ánodos dependen de la forma del objeto a recubrir, por lo que existen varias alternativas de ubicación. *(Gómez Millán & Simón, 2006)*.

### 2.7.2 Recubrimiento parcial de una pieza

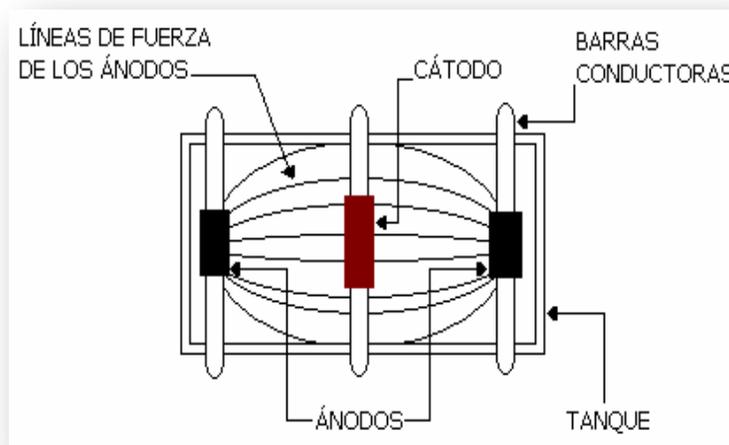
El recubrimiento más sencillo consiste en recubrir sólo una de las caras de la pieza, o cuando ésta tiene una forma regular, esto es, sin cambios drásticos en la superficie, regularmente plana. Este proceso también es utilizado para niquelar piezas pequeñas. En la figura 2.3 se presenta el esquema de disposición de los electrodos. *(Montenegro. R, 20011)*.



**Figura 2.3** Esquema de disposición de los electrodos

### 2.7.3 Recubrimiento total de una pieza

Para recubrir totalmente una pieza, es necesario contar con más de un ánodo, lo que permite un recubrimiento homogéneo, evitando así, que la pieza de trabajo sea sometida a una segunda sesión. Generalmente se emplean dos ánodos equidistantes a la pieza a tratar. En la figura 2.4 se presenta el esquema de disposición de dos ánodos equidistantes.

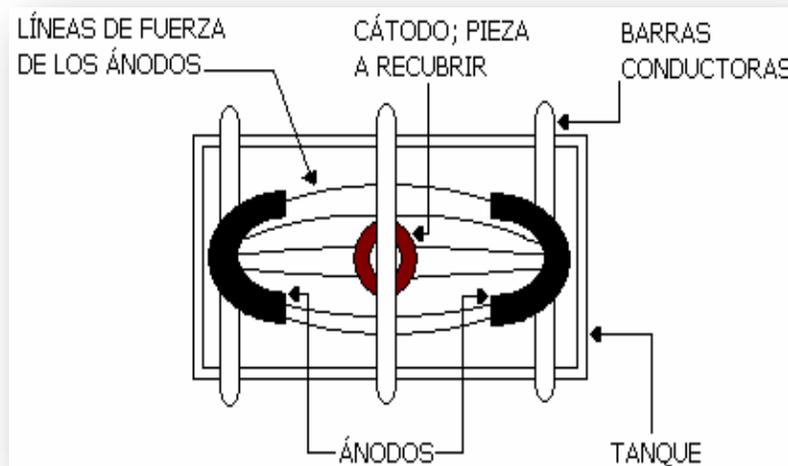


**Figura 2.4** Esquema de dos ánodos equidistantes



#### 2.7.4 Recubrimiento de piezas irregulares

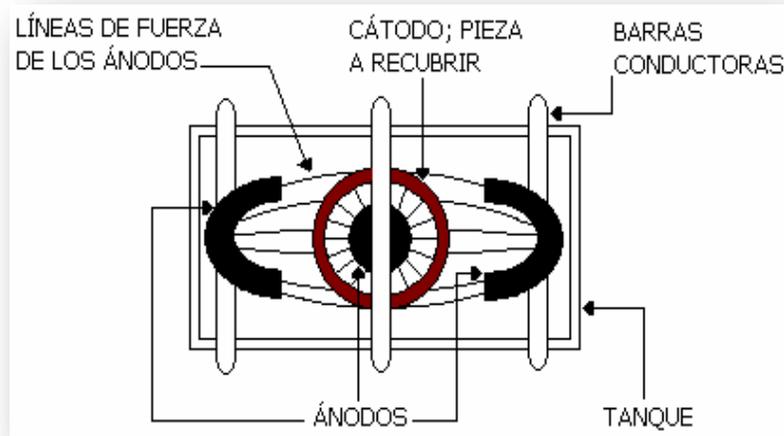
El recubrimiento de piezas con superficie irregulares que no sea plana o con cambios drásticos de forma en la superficie, los ánodos deben tener una forma cercana a la del objeto a recubrir, como ejemplo, el recubrimiento de una pieza (cátodo) redonda, con un área pequeña, tal como se observa en la figura 2.5 esquema de niquelación para piezas redondas.



**Figura 2.5** Esquema de niquelación de piezas redondas

#### 2.7.5 Recubrimiento exterior e interior

En el recubrimiento de una pieza redonda con área grande o con una forma irregular, se emplean más de dos ánodos. El recubrimiento depende del tamaño de la pieza y de la forma de ésta, por ejemplo; si se desea recubrir un tubo, es necesario colocar un ánodo dentro del mismo, para que el interior, además de recubrirse, presente también un buen acabado, tal como se observa en la figura 2.6 esquema de niquelación para recubrir piezas tubulares, interior y exteriormente.



**Figura 2.6** Esquema de niquelación de pieza tubular, interior y exteriormente

## 2.8 MATERIAL A NIQUELAR

### 2.8.1 Acero al carbono

Constituye una proporción importante de los aceros producidos en las plantas siderúrgicas. También se incluye a aquellos aceros en los que su propiedad fundamental es la resistencia a distintas pruebas mecánicas (fuerzas tanto estáticas como dinámicas). Su composición química es compleja, además del hierro, y el carbono que generalmente no supera el 1%, hay en la aleación otros elementos necesarios para su producción, tales como silicio, manganeso, y otros que se consideran impuros por la dificultad de excluirlos totalmente como el azufre, fósforo, oxígeno, hidrógeno. *(G. Eduardo, 2013)*.

El aumento del contenido de carbono en el acero eleva su resistencia a la tracción, incrementa el índice de fragilidad en frío y hace que disminuya la tenacidad y la ductilidad.



## 2.8.2 Clasificación del acero al carbono

1. **Acero dulce:** El porcentaje de carbono es de 0,25%, tiene una resistencia mecánica de 48-55 kg/mm<sup>2</sup> y una dureza de 135-160 HB. Se puede soldar con una técnica adecuada. Se aplica en piezas de resistencia media de buena tenacidad, deformación en frío, embutición, plegado, herrajes, etc.
2. **Acero semidulce:** El porcentaje de carbono es de 0,35%. Tiene una resistencia mecánica de 55-62 kg/mm<sup>2</sup> y una dureza de 150-170 HB. Se temple bien, alcanzando una resistencia de 80 kg/mm<sup>2</sup> y una dureza de 215-245 HB. Esta se aplica en ejes, elementos de maquinaria, piezas resistentes y tenaces, pernos, tornillos, herrajes, etc.
3. **Acero semiduro:** El porcentaje de carbono es de 0,45%. Tiene una resistencia mecánica de 62-70 kg/mm<sup>2</sup> y una dureza de 280 HB. Se asocia bien, alcanzando una resistencia de 90 kg/mm<sup>2</sup>, aunque hay que tener en cuenta las deformaciones. Su aplicación se da en ejes y elementos de máquinas, piezas bastante resistentes, cilindros de motores de explosión, transmisiones, etc.
4. **Acero duro:** El porcentaje de carbono es de 0,55%. Tiene una resistencia mecánica de 70-75 kg/mm<sup>2</sup>, y una dureza de 200-220 HB. Temple bien en agua y en aceite, alcanzando una resistencia de 100 kg/mm<sup>2</sup> y una dureza de 275-300 HB. (M. Xavier, 2010).

## 2.9 ELECCIÓN DEL MATERIAL PARA EL NIQUELADO

El primer procedimiento consiste en seleccionar la pieza a niquelar que no esté corroída para lograr una mejor adherencia de níquel. Así mismo se debe de tomar en cuenta las características tales como: masa de la pieza, resistencia a la deformación, al calor, capacidad de conducir la electricidad, etc. (L. José, 2011).



### **2.9.1 Limpieza del material**

Antes de realizar el niquelado químico, el metal a tratar debe de pulirse para quitar todo el material oxidado y presentar una mejor uniformidad en la superficie del mismo, que es parte del pretratamiento del proceso que debe ser seguido por un lavado con agua y jabón para eliminar los residuos que pueden adherirse a la superficie. El desengrasado con alcohol elimina los aceites de la superficie, mientras que la limpieza con ácido elimina las incrustaciones del metal de interés.

### **2.10 RESISTENCIA A LA CORROSIÓN**

La corrosión es el deterioro de un metal a consecuencia de un ataque electroquímico, por su entorno que tienen los metales de buscar su forma más estable o de menor energía interna. Igualmente la corrosión está originada por una reacción electroquímica (oxidación), la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la temperatura, de la salinidad del fluido en contacto con el metal y de las propiedades de los metales en cuestión. *(C. Juan, 2009)*

Otros materiales no metálicos también sufren corrosión mediante otros mecanismos. El proceso de corrosión es natural y espontáneo. Además es una reacción química (oxido-reducción) en la que intervienen tres factores: la pieza manufacturada, el ambiente y el agua, o por medio de una reacción electroquímica.

Los factores más conocidos son las alteraciones químicas de los metales a causa del aire, como la herrumbre del hierro, el acero, cobre y sus aleaciones, tales como: (bronce, latón, etc.). Sin embargo, es un fenómeno mucho más amplio que afecta a todos los materiales (metales, cerámicas, polímeros, etc.) y todos los ambientes (medios acuosos, atmósfera, alta temperatura, etc.). Además es un problema industrial importante, puesto que puede causar accidentes (ruptura de una pieza) y, por lo tanto, representa un costo importante.



La aplicación más generalizada de la tecnología de Níquel no electrolítico es proporcionar mayor protección contra la corrosión. Los datos del mercado indica claramente que el mayor uso del niquelado químico es sobre sustratos de acero y aluminio que son ánodos o menos noble que el Níquel. El niquelado químico actúa como un revestimiento de barrera que protege los poros del acero contra el ambiente corrosivo. Para optimizar el rendimiento de los recubrimientos de protección contra la corrosión se requiere que el recubrimiento sea continuo y libre de cualquier micro porosidad, rugosidad, nódulos e irregularidades dentro de la microestructura.

## 2.11 RESISTENCIA AL DESGASTE

El revestimiento químico de Níquel y fósforo, empleado en una amplia variedad de aplicaciones de ingeniería relacionadas con la resistencia al desgaste, se debe principalmente al hecho de que los recubrimientos no sólo tienen alta dureza y lubricidad intrínseca, sino también, proporcionan resistencia excelente a la corrosión y a la uniformidad de la película. Las propiedades de desgaste de las películas se pueden mejorar mediante la codeposición de partículas inertes, tales como: carburo de silicio o nitruro de boro, formando un revestimiento compuesto. *(C. Juan, 2009)*

## 2.12 TIPOS DE NIQUELADO

### 2.12.1 Niquelado mate

Este se aplica para dar capas gruesas de Níquel sobre hierro, cobre, latón y otros metales; es un baño muy concentrado que permite trabajar con corrientes de 8 - 20 amperios por decímetro cuadrado, con el cual se consiguen gruesas capas de Níquel en tiempos adecuados. Los componentes que se utilizan: Sulfato de Níquel, cloruro de Níquel, ácido bórico, sacarina y humectante. *(V. Pedro, 2011).*



### **2.12.2 Niquelado brillante**

Este se aplica de igual forma al baño anterior, se le añade un abrillantador que puede ser como por ejemplo la sacarina el que permite dar brillo a la pieza durante el proceso de niquelado. Para obtener la calidad del acero, la base tiene que estar pulida, limpia y lisa. La temperatura óptima de trabajo está entre 70 y 75°C. (V. Pedro, 2011).

A demás con el burbujeo se corre el riesgo de que queden burbujas adheridas en la superficie del metal a niquelar y estas interrumpen el proceso de deposición de Níquel en la pieza de acero carbono, lo que se traduce en la aparición de cráteres y rugosidades, por eso, para conseguir la mejor calidad es necesario agitar el baño para desprender las burbujas.

El ánodo debe estar sujeto al polo positivo con un alambre de Níquel o de titanio para que no contamine el baño, es conveniente añadir un agente humectante para facilitar el mojado de las superficies y evitar la formación de burbujas.

Los baños anteriores son muy concentrados, empleados industrialmente. La alta concentración de sales busca que el rendimiento en energía eléctrica sea muy alto, igual la velocidad de deposición y que puedan trabajar con altas intensidades de corriente para que la producción aumente. A escala doméstica o de laboratorio se puede diluir los baños añadiendo otro tanto de agua destilada. Además observar que el pH esté entre 4 y 5. El rendimiento de este baño es menor y burbujan más porque no toda la corriente eléctrica se destina a la producción de Níquel pero es suficientemente bueno. (V. Pedro, 2011).

El empleo de baños con ánodo inactivo solo es recomendable cuando el baño de Níquel se emplea pocas veces o se desaprovecha mucho baño. Conviene de toda manera y a pesar de su poca eficiencia emplear baños bastante diluidos.

## ***Estudio de la niquelación como protección contra la corrosión, resalte del brillo y adherencia en el acero al carbono.***



Los recubrimientos de Níquel son una base muy apropiada para la mayoría de los recubrimientos decorativos como el acero, la plata, el oro y otros más específicos. A partir de ciertos espesores presenta buenas propiedades anticorrosivas. Estos se utilizan tanto en aplicaciones decorativas, como la cerrajería y grifería, como en aplicaciones de automóviles y herramientas.

El niquelado electroquímico es importante para los metales porque aporta:

- ✓ Resistencia al desgaste.
- ✓ Aumento de la dureza.
- ✓ Resistencia a la corrosión.
- ✓ Mejor aspecto del equipo, placa, etc., (color, brillo).

Después del niquelado es necesario lavar la pieza a temperatura ambiente durante 30 segundos.

### **2.13 PINZAS CONDUCTORAS (EQUIPO ELÉCTRICO)**

Se optó por pinzas de cobre por ser muy usadas para estas aplicaciones debido a que el cobre es un buen conductor, considerando también el tamaño del recipiente que contenía la solución electrolítica, además de que el metal es fácil de manipular y barato. *(Díaz Felipe, 2008)*.

#### **2.13.1 Fuente de alimentación**

En un proceso de depósito electrolítico, es imprescindible una fuente de corriente directa de bajo voltaje. En el caso del niquelado y considerando la composición de del Beaker de 1L y de las piezas a niquelar, el rango de amperaje va de 5 A a 10 A, cuya potencia depende de la temperatura de trabajo, el tipo de ánodos utilizados, el tamaño del cátodo, es decir, de las piezas a recubrir, así como de la distancia entre los electrodos.



### **2.13.2 Dispositivo disponible**

Existen diferentes opciones para alimentar el sistema de electrodeposición, como es el caso de uso de generadores, rectificadores y baterías acumuladoras. Cada una de estas ofrece ventajas y desventajas, dependiendo de factores como: tamaño de la cuba, dimensión de la pieza a recubrir, tipo de electrodepósito, etc. Por lo que se menciona la opción viable que es la baterías acumuladoras, debido al alto costo que representa la instalación de generadores o rectificadores, el uso de baterías acumuladoras resulta muy práctico para experimentos en pequeña escala y electrodeposiciones ocasionales, ya que pueden proveer alto amperaje por periodos no muy prolongados.



## 2.14 CONSTITUYENTES DE LA SOLUCIÓN

Los elementos que componen a una solución, son llamados aditivos. Para un proceso de niquelación, son los siguientes:

- 1. Sulfato de níquel:** Constituye la principal fuente de iones de Níquel, además de controlar los límites admisibles de densidad de corriente.
- 2. Cloruro de níquel:** Suministra los iones cloruros necesarios para asegurar la corrosión de los ánodos de Níquel. También es una fuente secundaria de iones Níquel. Las concentraciones altas de iones de cloruro de Níquel extienden el rango de operación de densidad de corriente e incrementa la conductividad del baño.
- 3. Ácido Bórico:** Actúa como un agente protector para mantener el pH en la solución, también sirve para conservar el brillo, la ductilidad y la adhesión del depósito de Níquel.
- 4. pH:** La mejor nivelación del depósito de Níquel es obteniendo un pH de 4.6 y este puede ajustarse por adición de ácido sulfúrico químicamente puro al 10%, de lo contrario si el pH es menor de 4.6, este se puede regular, adicionándole hidróxido de potasio a una concentración de 0.4M.

## 2.15 APLICACIONES DEL NÍQUEL

Entre las principales aplicaciones de níquel tenemos:

- a. Protección a la corrosión; ya que las capas de Níquel no son porosas, ejemplo: recubrimiento de herramientas. (Cristopher. B, 2013).
- b. Mejoramiento de las propiedades mecánicas con una aplicación muy común en la industria automotriz, son las defensas para automóviles.

*Estudio de la niquelación como protección contra la corrosión, resalte del brillo y adherencia en el acero al carbono.*



**Figura 2.7** a, b y c, muestran ejemplos de representaciones en recubrimientos para herramientas, piezas automotrices y decorativas



a. Recubrimiento de herramientas

b. Recubrimiento de piezas automotrices

c. Recubrimientos decorativos; acabados exclusivamente estéticos, por ejemplo, en accesorios metálicos y muchos otros artículos en el mercado. (En el anexo No. 13, figura 1. Se muestran ejemplos de piezas tratadas con Níquel.)



## **CAPÍTULO III**

# **PREGUNTA DIRECTRIZ**



## **PREGUNTA DIRECTRIZ**

¿El brillo, la adherencia, el grosor y la masa de Níquel depositada dependen de factores como: concentración de reactivos, temperatura, pH, intensidad de corriente eléctrica, distancia de los electrodos y limpieza al momento del revestimiento con Níquel aplicado al acero al carbono?



# **CAPÍTULO IV**

## **DISEÑO METODOLÓGICO**



#### 4.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:

Se realizó en el laboratorio 110 del Departamento de Química de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. (UNAN-Managua).

#### 4.2 TIPO DE ESTUDIO

Este estudio se ubica como experimental-descriptivo porque, se evaluaron e interpretaron datos cuantitativos de masa del Níquel depositado en láminas de acero al carbono, así mismo se evaluó cualitativamente el brillo y adherencia obtenidos en las piezas en el laboratorio.

#### 4.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población son láminas de acero al carbono, se tomaron como muestras 12 para el diseño de experimento, se utilizó el método Taguchi a un arreglo ortogonal de L12.

#### 4.4 CRITERIO DE SELECCIÓN

Se realizó por conveniencia de acuerdo con los siguientes criterios:

El acero al carbono es vulnerable al ambiente corrosivo.

Sufre mayor desgaste por medio de la oxidación.

Es frágil a la lubricación y abrasión.

#### 4.5. DISEÑO DE EXPERIMENTO

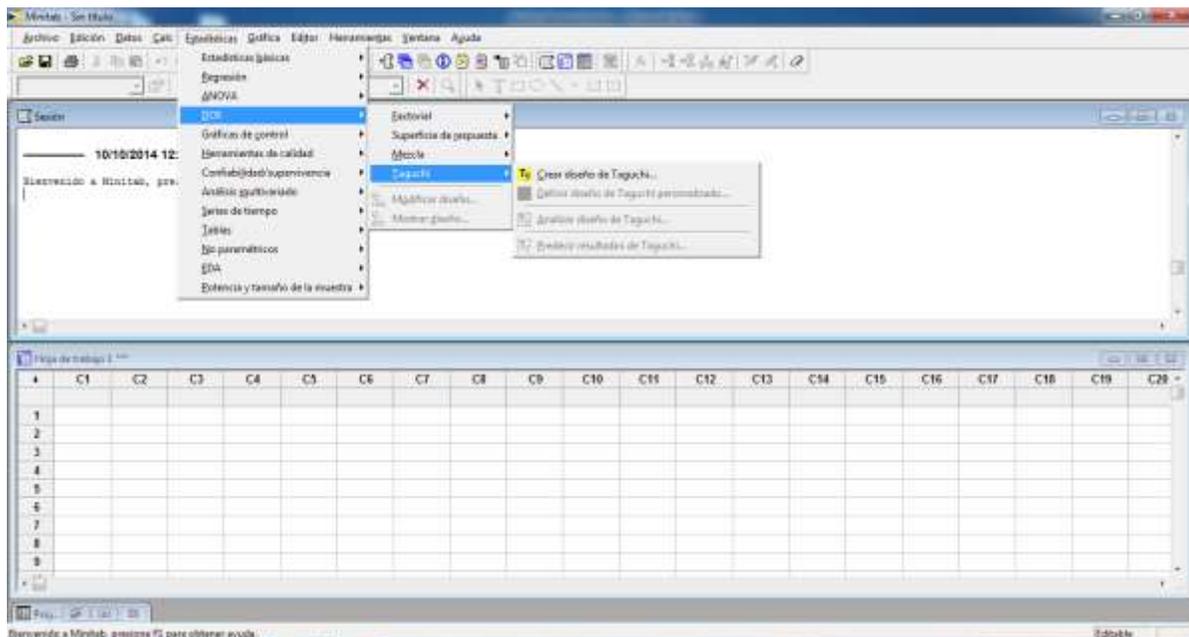
Para el diseño de experimento se utilizó el programa Minitab versión 15, este permite analizar distintos tipos de diseños, por ejemplo: análisis de varianza, efectos principales para medias y relaciones señal ruido, entre otros. En la siguiente fotografía 4.1 se muestra el programa que se utilizó para la elaboración de este diseño.

*Estudio de la niquelación como protección contra la corrosión, resalte del brillo y adherencia en el acero al carbono.*



**Fotografía 4.1** Programa Minitab

En el esquema 4.2 se muestra la opción para el diseño de experimento utilizando el método de Taguchi.



**Esquema 4.2** Procedimiento para la creación del diseño de experimento.

Para este estudio se optó por el método de Taguchi que consiste en la optimización de productos y procesos, con el propósito de asegurar productos robustos, de alta calidad y bajo costo, utilizando una herramienta estadística conocida como arreglo

***Estudio de la niquelación como protección contra la corrosión, resalte del brillo y adherencia en el acero al carbono.***



ortogonal que es la representación de un cuadro asignado con números. Se analizaron 11 factores a dos niveles, nivel bajo representado con el número “1” y nivel alto con el número “2”. En la siguiente tabla 4.1 se muestran las corridas experimentales, y los factores a sus respectivos niveles, obtenidos para el diseño de experimento. En el anexo 4, se muestran los valores de cada nivel para cada factor.

*Estudio de la niquelación como protección contra la corrosión, resalte del brillo y adherencia en el acero al carbono.*



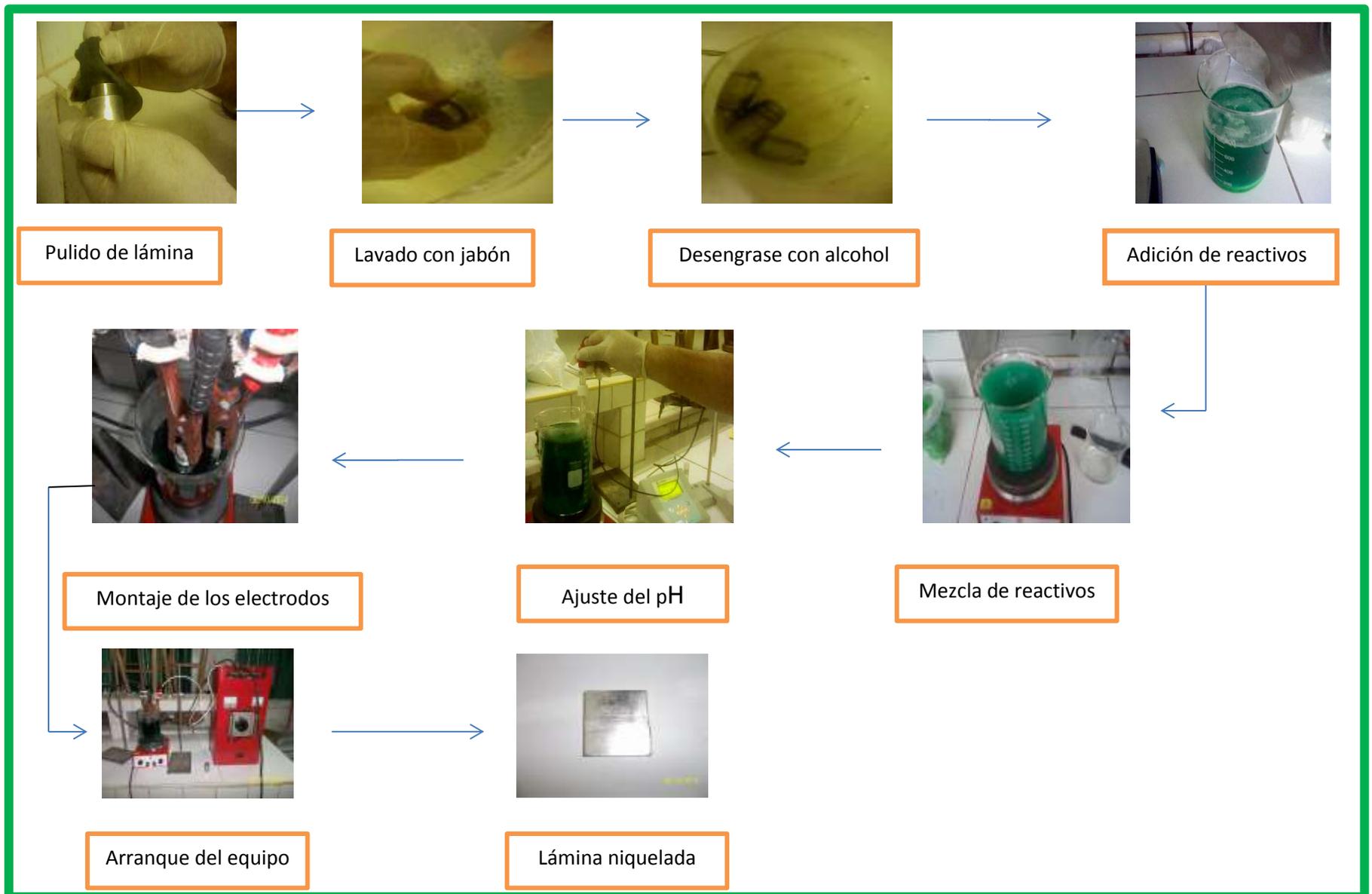
**Tabla 4.1** Número de experimento y sus niveles, aplicado por el método de Taguchi

No. Prueba	Temperatura °C	pH	I (A)	NiSO <sub>4</sub>	NiCl <sub>2</sub>	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	Sacarina	Humectante	Agitación.	Tiempo	Distancia
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1
5	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	1
6	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2
7	2	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	2	1
9	2	1	1	2	2	2	1	2	1	1	2
10	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2
11	2	2	1	2	1	2	2	1	1	2	2
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1

*Estudio de la niquelación como protección contra la corrosión, resalte del brillo y adherencia en el acero al carbono.*



**Esquema 4.3** Procedimiento para la niquelación del metal acero al carbono.



*Fuente: Equipo de investigación*



#### 4.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Valor/categoría</b>	<b>Instrumento</b>
Masa depositada	Es la cantidad de sustancias que se deposita en el proceso de niquelación.	67-71 gramos	Balanza analítica
Grosor	Espesor o anchura de un cuerpo sólido.	60-110 Micrómetro	Medidor de grosor
Adherencia	Resistencia al deslizamiento entre dos cuerpos que se encuentran en contacto.	Buena Regular Mala	Evaluación cualitativa
Brillo	Cantidad de flujo de luz que emite un determinado cuerpo.	Brillante Opaco Sin brillo	Evaluación cualitativa
Temperatura	Magnitud referida a las nociones comunes de caliente, tibio o frío.	70-75°C	Termómetro
pH	Medida de acidez o alcalinidad de una disolución.	3.8-4.6	pH-metro
Amperaje	Fuerza o potencia en una corriente eléctrica circulando entre dos puntos, estos son el negativo y el positivo a través de un conductor o cable eléctrico.	5-10 Amperios	Cargador de batería

*Estudio de la niquelación como protección contra la corrosión, resalte del brillo y adherencia en el acero al carbono.*



Tiempo	Magnitud física de medida de la duración de acontecimientos, sujetos a cambio, de los sistemas sujetos a observación.	5-10 Minutos	Cronómetro
Distancia	Espacio del lugar que media entre dos cosas.	3-4 cm	Regla
Agitación	Movimiento desordenado de los iones libres en un conductor eléctrico.	300-350 Revoluciones por segundos	Agitador magnético



## 4.7 FUENTES Y TÉCNICAS DE INFORMACIÓN

### 4.7.1 Fuentes y técnicas para recolectar la información

Para recopilar y obtener la información se utilizaron los siguientes materiales:

Cuadernos de apuntes, libros, artículos científicos, textos, cámara fotográfica, documentos, internet. También se consultó a los trabajadores y licenciados con experiencias del taller el progreso para conocer el método de niquelado electroquímico.

### 4.7.2. Programas para procesar los datos e información

- 🚦 Minitab version 15
- 🚦 Microsoft Excel 2010
- 🚦 Microsoft Word 2010

## 4.8 MATERIAL

En el desarrollo del trabajo experimental de niquelación como protección contra la corrosión, resalte del brillo y adherencia al acero carbono, se utilizaron los siguientes materiales:

- ❖ 1 Probeta de 100ml,
- ❖ 1 Termómetro con escala de 0 a 100 °C
- ❖ 1 Pipeta de 10ml
- ❖ 3 Beaker pírex de 1L
- ❖ 1 Vidrio reloj
- ❖ 1 Agitador magnético.
- ❖ Níquel metálico
- ❖ 12 Láminas de acero al carbono.
- ❖ 2 Barras conductoras de cobre (pinzas).
- ❖ Pinzas tres dedos.
- ❖ 2 Soportes universal
- ❖ Guantes de plástico



- ❖ Lija gruesa # 200 y fina # 400

#### 4.9 MÉTODO

Para el proceso de niquelado de la lámina de acero al carbono se inició con la limpieza, que consistió en el siguiente procedimiento:

1. Pulido de piezas con lija para eliminar material oxidado.
2. Lavado con agua y jabón utilizando protección en las manos (guantes) para no contaminar las piezas.
3. Enjuague con alcohol durante un periodo de 5 minutos con objetivo de desengrasar la pieza.

Posteriormente se preparó la solución electrolítica de la manera siguiente:

1. Mezcla de reactivos en 800 ml de agua desionizada.
2. Agitación con magnético controlando las revoluciones.
3. Ajuste del pH.

#### 4.10 EQUIPOS

- ❖ Cronómetro para control del tiempo establecido en la electrodeposición.
- ❖ pH-Meter, marca CRISON, modelo BASIC 20+, para controlar la acidez de la solución.
- ❖ Cargador de batería para control de amperajes, modelo CD-320.
- ❖ Balanza electrónica, marca OHAUS, resolución de 0.1g
- ❖ Medidor de grosor (pie rey)

#### 4.11 REACTIVOS

- ❖ Sulfato de níquel ( $\text{Ni SO}_4$ ) a una concentración de 0.8M
- ❖ Cloruro de níquel ( $\text{NiCl}_2$ ) concentración de 0.6M
- ❖ Ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ), concentración de 0.4M
- ❖ Alcohol al 10%
- ❖ Sacarina 10g/l
- ❖ Humectante 1ml



# **CAPITULO V**

## **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**



## 5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El análisis y la discusión de los resultados se fundamentan en los objetivos del estudio de la niquelación.

### 5.1. Masa de Níquel depositada.

En la tabla 5.1 Se muestra el incremento entre la masa de Níquel depositado en el metal acero al carbono y Níquel gastado en la electrodeposición:

No. De prueba	Masa depositada (g)	Níquel gastado (g)	% de níquel depositado
1	0,801	1.40	57.2
2	1,002	1.500	66.8
3	1,305	1.900	68.7
4	1,728	2.150	80.4
5	0,723	1.25	64.3
6	1,205	3.200	37.7
7	0,185	0.300	61.7
8	2,505	2.950	84.9
9	0,732	0.820	89.3
10	2,008	2.200	91.3
11	1,320	1.400	85.7
12	0,609	1.630	96.6

**Tabla 5.1** Comparativo del incremento entre la masa depositada y Níquel gastado en la electrodeposición del acero carbono. (Anexo 1. masa depositada después de la niquelación, cuadro 1).

Se observa en la tabla 5.1 las 12 pruebas realizadas para el diseño de experimento, la masa depositada de Níquel en el metal, el Níquel gastado en la electrodeposición

***Estudio de la niquelación como protección contra la corrosión, resalte del brillo y adherencia en el acero al carbono.***



y el porcentaje de Níquel depositado que se obtuvo al dividir la masa depositada con el Níquel gastado multiplicado por el cien por ciento.

Se aprecia que la prueba N° 6, presenta 37.7% de deposición de Níquel sobre la lámina de acero, no obstante la prueba 12 muestra 96.6% de Níquel depositado, como consecuencia de tener concentración altas de sulfato de Níquel y cloruro de Níquel, lo que permite incrementar la conductividad de los iones en la solución durante el proceso de niquelado, logrando mejor adherencia, brillo y grosor en la lámina de acero al carbono.

### 5.2. Grosor de Níquel.

En la tabla 5.2 se muestra el cuadro comparativo del incremento en grosor adquirido de Níquel en el proceso de niquelación.

<b>N°. De pruebas</b>	<b>Grosor adquirido en <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>% del grosor</b>
1	19	0.65
2	33.6	1.1
3	43.6	1.4
4	68.6	2.3
5	29.6	1.0
6	10.6	0.4
7	23.6	0.8
8	78.6	2.6
9	88.6	3.0
10	98.6	3.3
11	103.6	3.5
12	113.6	3.8



**Tabla 5.2.**Comparativo del incremento del grosor de lámina en el proceso de niquelación. (Anexo número 2, grosor de la lámina después de la niquelación, tabla 2.)

En la tabla 5.2 se muestra el resultado del grosor de Níquel a partir de las 12 pruebas realizadas en el laboratorio, donde el experimento N°. 6 presentó 10.6 micrómetro de grosor adquirido equivalente al 0.4% de grosor que contiene la lámina de acero al carbono, esta representa el menor porcentaje debido a la menor masa depositada.

Sin embargo en el experimento N°. 12, se logró obtener el 113.6 micrómetro de grosor adquirido que equivale al 3.8%, esta prueba obtuvo el mayor porcentaje de grosor, tal como se esperaba al operar con concentraciones altas de sulfato de níquel y cloruro de níquel que guardan relación con los porcentajes de masa depositada. Cabe mencionar que el porcentaje de grosor se obtuvo al dividir el grosor adquirido con el grosor inicial de la lámina antes del proceso de niquelación.



### 5.3 Níquel gastado

En la tabla 5.3 se muestra el cuadro comparativo del incremento en masa del Níquel gastado durante el proceso de electrodeposición.

No. Pruebas	Níquel gastado (g)	% de níquel en la solución
1	1.40	42.8
2	1.500	33.2
3	1.900	31.3
4	2.150	19.6
5	1.25	35.7
6	3.200	62.2
7	0.300	38.3
8	2.950	15.1
9	0.820	10.7
10	0.200	8.7
11	0.390	14.3
12	0.630	3.4

**Tabla.5.3** Comparativo de masa del Níquel gastado durante el proceso de niquelación. (Anexo número 3, masa del Níquel después del niquelado, tabla 3.)

En la tabla 5.3 se muestran los resultados del porcentaje de Níquel en la solución, se observa que la prueba N°. 6 presenta el mayor porcentaje que equivale al 62.2%, esto debido a que se operó con intensidad de corriente alta de 10 amperios y un tiempo menor de 5 minutos. Sin embargo la prueba N°. 12 presentó el menor

***Estudio de la niquelación como protección contra la corrosión, resalte del brillo y adherencia en el acero al carbono.***



porcentaje de Níquel en la solución equivalente al 3.4%, esto a causa de trabajar con corriente eléctrica de 5 amperios y un tiempo mayor de 10 minutos. Este resultado se obtuvo a partir del porcentaje de Níquel depositado obtenido de la tabla 5.1.

**5.4. Adherencia y brillo adquirido en el acero al carbono**

En la tabla 5.4 se muestran los resultados de la adherencia y brillo de las láminas de acero al carbono.

Nº DE PRUEBAS	BRILLO			ADHERENCIA		
	A=1	B=2	C=3	A=1	B=2	C=3
1		2			2	
2	1				2	
3	1				2	
4	1				2	
5	1				2	
6	1			1		
7		2			2	
8		2			2	
9			3		2	
10			3		2	
11			3		2	
12			3			3

**Tabla 5.4** Resultados del brillo y adherencia de las láminas de acero al carbono.

En la tabla 5.4 se muestran las 12 pruebas realizadas para el diseño de experimento, el brillo y adherencia obtenido para cada corrida, para ambos casos se les asignó una letra, un número y un nombre específico.

**Estudio de la niquelación como protección contra la corrosión, resalte del brillo y adherencia en el acero al carbono.**



Para el brillo

A=1 (Sin brillo), B=2 (Opaco), C=3 (Brillante)

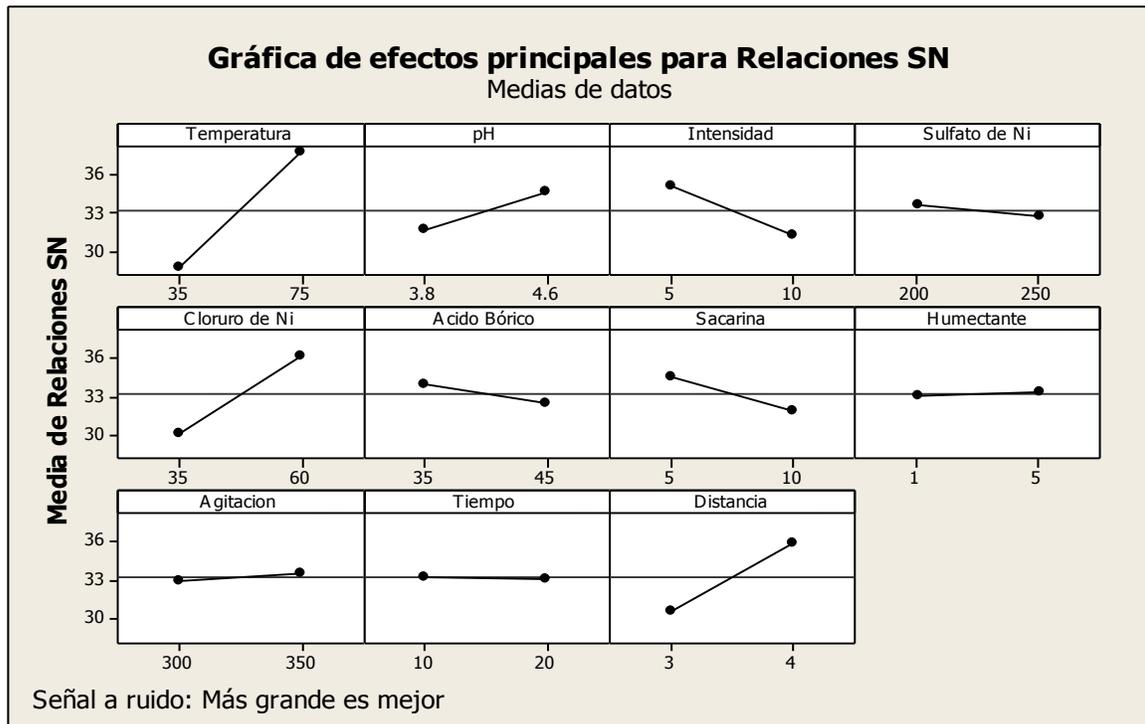
Para el caso de la adherencia

A=1 (Mala), B=2 (Regular), C=3 (Bueno)

De acuerdo a una evaluación cualitativa que se realizó para cada prueba se observa que la N<sup>o</sup>.6 presentó el menor brillo y adherencia, no obstante la prueba N<sup>o</sup>. 12 obtuvo el mejor resultado, esto como consecuencia de las variaciones en porcentajes de cada factor en base a los niveles para el arreglo ortogonal propuesto, coincide con los datos analizados en las tablas anteriores.

**5.5. Condiciones Operacionales**

En la siguiente gráfica 5.1 se muestran los resultados de efectos principales para relaciones señal ruido, que optimizaron las condiciones operacionales para obtener mayor grosor, brillo y adherencia del acero al carbono





**Gráfica 5.1** Efectos principales para las relaciones señal ruido

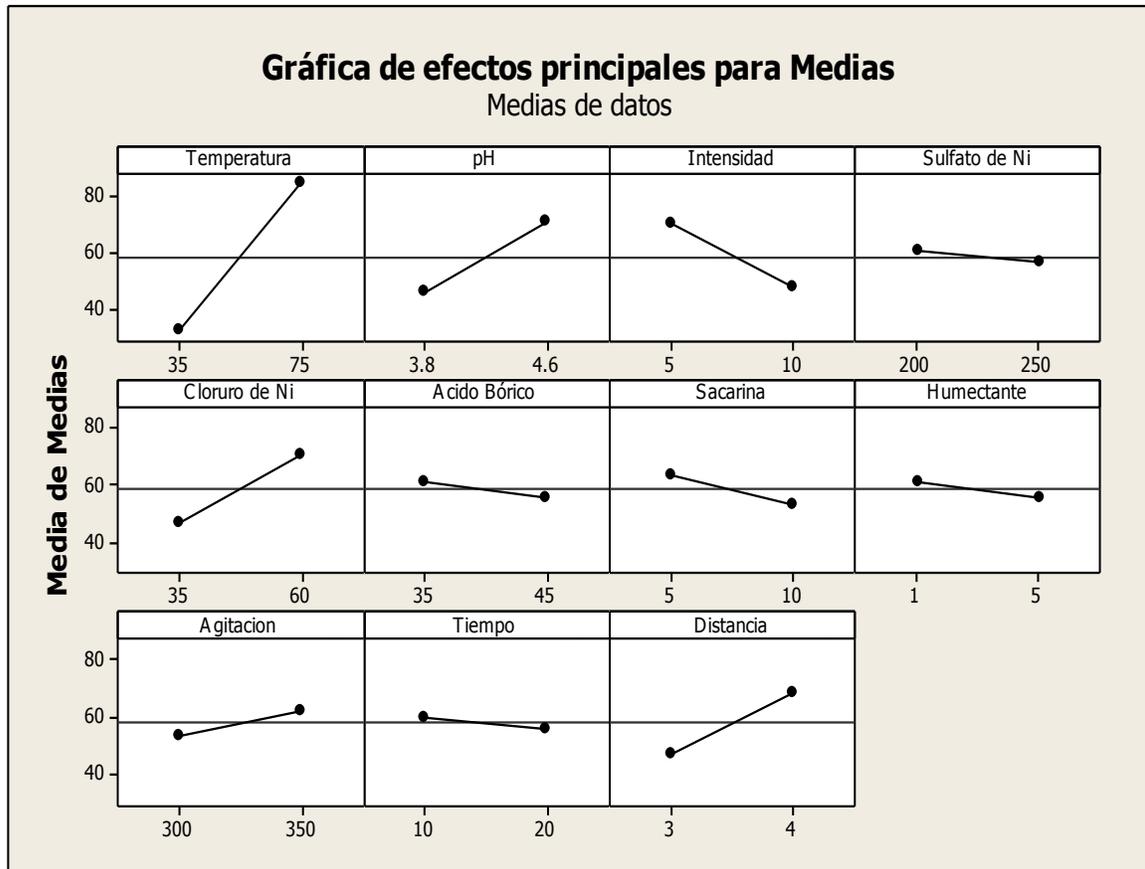
En la gráfica 5.1 se analiza la relación señal ruido(S/R), y se obtiene que los efectos tales como: temperatura, pH, cloruro de níquel y distancia, afectan de manera significativa a la S/R. Por lo tanto, los factores antes mencionados influyen bastante sobre la variación del grosor durante el proceso de niquelación, ya que al operar con temperaturas altas como se observa en la gráfica un aumento de 35 a 75°C, pH de 4.6, cloruro de níquel 60g/l y una distancia de los electrodos de 4 cm respectivamente.

Por lo tanto, este ajuste será menos sensible a los efectos de los factores de ruido, obteniendo mejores resultados en el grosor, brillo y adherencia de la lámina de acero al carbono durante el proceso de niquelación.

Por otro lado los factores como: sulfato de níquel, humectante, agitación y tiempo, no ejercieron influencia sobre la variación del grosor al momento de la electrodeposición.



En la siguiente gráfica 5.2 se muestran los resultados de efectos principales para medias, que se utilizaron como factor de ajuste para llevar la media a su valor nominal las que mejoraron el brillo, adherencia y grosor del acero al carbono.



**Gráfica 5.2** Resultados de efectos principales para medias

En la gráfica 5.2 se observa que el factor temperatura ejerce mayor efecto significativo para las medias respectivamente al operar con un nivel alto de 75<sup>o</sup>c, esto permite que los tamaños de cristales de cada reactivo en la solución se disocien totalmente aumentando la movilidad de los iones metálicos y disminuyendo la viscosidad de la misma.

De igual modo, se aprecia que el factor pH y cloruro de níquel, también tiene efecto significativo sobre la media, al operar con concentraciones altas logrando una mayor

***Estudio de la niquelación como protección contra la corrosión, resalte del brillo y adherencia en el acero al carbono.***



conductividad, densidad de corriente más elevada y una mayor eficiencia del baño. De igual manera, se observa que los factores como distancia e intensidad de corriente eléctrica también ejercen efecto significativo sobre la media, son factores que permiten una mejor disociación y distribución de iones de Níquel en la lámina de acero al carbono para lograr mejor electrodeposición.

En cambio los factores como el ácido bórico, sacarina, humectante, agitación y tiempo ejercieron menor efecto significativo sobre la media en el proceso de niquelado.



# **CONCLUSIONES**

***Estudio de la niquelación como protección contra la corrosión, resalte del brillo y adherencia en el acero al carbono.***



Después de haber realizado el análisis, la discusión de los resultados y la verificación de los objetivos se concluye que:

1. La mayor adherencia de masa de Níquel en el metal, depende de las altas concentraciones de cloruro y sulfato de níquel, lo que permite una mayor conductividad y mayor eficiencia del baño en la electrodeposición.
2. El aumento del grosor se debe a las altas concentraciones de sales en la solución que permitirá recuperar el grosor desgastado.
3. Se cumple satisfactoriamente con las características del brillo y adherencia del recubrimiento con Níquel en la lámina acero al carbono.
4. Las condiciones operacionales óptimas son: temperatura 75°C, sulfato de níquel 250g/l, cloruro de níquel 60g/l y agitación 300 revoluciones por segundo, pH de 4.6 y distancia de 4 cm, las que fueron fundamentales para obtener mejor adherencia y brillo en el proceso de niquelación.



# **RECOMENDACIONES**

***Estudio de la niquelación como protección contra la corrosión, resalte del brillo y adherencia en el acero al carbono.***



Con base a los resultados obtenidos durante la realización de este estudio se recomienda que:

1. El recubrimiento de Níquel debe ser realizado inmediatamente después del lavado con agua para evitar la oxidación del metal a recubrir, en caso contrario proteger con un antioxidante.
2. Lavar inmediatamente con agua destilada las piezas niqueladas, para evitar incrustaciones de partículas ajenas al proceso.
3. Evitar el contacto de los electrodos con la solución electrolítica para no contaminar de cobre el líquido conductor.
4. Estudiar en condiciones de voltaje más alto y mayor amperaje para determinar el efecto sobre el grosor, adherencia y brillo.



# **BIBLIOGRAFÍA**



## BIBLIOGRAFIA

1. A. Fischer, (2010). Recuperación de Níquel de Procesos Galvánicos en línea (5ta ed.). Madrid, España.
2. B. Cristopher, (2013). Aplicaciones de níquel en materiales decorativos. Recuperado de <http://www.docstoc.com/docs/70035207/Electroless-Plating-Fundamentals-and-Applications>
3. C. Juan, (2009). Estudio de la corrosión. Recuperado de <http://corrosion-doctors.org/MetalCoatings/Electroless.htm>
4. Díaz Felipe. (2008). Principios de electrodeposición (9na ed.). Cuautitlán, México
5. G. Eduardo, (2013). Estudios de la corrosión en acero al carbono. Recuperado de <http://corrosion-doctors.org/MetalCoatings/Electroless.htm>
6. Gómez Millán, & Simón (2006). Procedimientos de Mecanizado. Madrid, España: Editorial Paraninfo.
7. L. José, (2011). Niquelación en materiales de construcción. Recuperado de <http://www.arqhys.com/construccion/tipos-niquel.html>
8. lanzón Marcos, (2012). Recubrimientos electrolíticos. cobreado y galvanizado (4ta ed.). Cartagena, Colombia.
9. Montenegro. R, (20011). Mejoramiento y programación de actividades de calidad en una planta de niquelado y cromado (3ra ed.). Universidad de San Carlos de Guatemala.
10. M. Xavier, (2010). Estudio del acero al carbono. Recuperado de <http://www.aceroalcarbono.com/historia.htm>
11. V. Pedro, (2011). Estudio de los recubrimientos de níquel. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos85/tipos-recubrimientos/tipos-recubrimientos-niquel.shtml#ixzz2wtmoxEyH>.



# ANEXOS



**Anexo 1.**

Nº. De pruebas	Masa en gramos (g)		Diferencia de masa depositada (g)
	Antes	Después	
1	68.515	69.316	0.801
2	68.343	69.345	1.002
3	67.267	68.572	1.305
4	68.219	69.947	1.728
5	70.735	71.458	0.723
6	67.360	68.565	1.205
7	68.450	68.625	0.185
8	68.125	70.630	2.505
9	66.618	67.350	0.732
10	69.465	71.473	2.008
11	67.000	68.320	1.320
12	67.762	68.371	0.609

**Tabla 1.** Cuadro comparativo del incremento de masa depositada después de ser sometidas al proceso de niquelación.



**Anexo 2.**

<b>Grosor del metal en Micrómetro (<math>\mu\text{m}</math>)</b>			
<b>N<sup>o</sup>. De pruebas</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Grosor adquirido</b>
1	2,921	2,940	19
2	2,946.4	2,980	33.6
3	2,946.4	2,990	43.6
4	2,946.4	3,015	68.6
5	2,946.4	2,976	29.6
6	2,946.4	2,957	10.6
7	2,946.4	2,970	23.6
8	2,946.4	3,025	78.6
9	2,946.4	3,035	88.6
10	2,946.4	3,045	98.6
11	2,946.4	3,050	103.6
12	2,946.4	3,060	113.6

**Tabla 2.** Cuadro comparativo del incremento de grosor en las láminas antes y después del proceso de niquelación



<b>Masa del níquel gastado en gramos (g)</b>			
<b>No. de pruebas</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Níquel gastado</b>
1	35,215	34,175	1.40
2	46,951	45,451	1.500
3	41,983	40.083	1.900
4	34,124	31.974	2.150
5	39,525	38,500	1.25
6	31,645	28.445	3.200
7	43,000	42.700	0.300
8	38,550	35.600	2.950
9	40,925	40.105	0.820
10	36,652	36.452	0.200
11	30,450	30.060	0.390
12	41,635	41.005	0.630

**Tabla 3.** Cuadro comparativo del incremento de masa del níquel antes y después de la electrodeposición



**Anexo 4**

La tabla 4. Presenta los 11 factores que se analizaron a sus respectivos niveles bajos y altos, en base a las 12 pruebas realizadas para el diseño de experimento.

FACTORES	NIVELES	
	BAJOS	ALTOS
Temperatura	35°C	75°C
pH	3,8	4,6
Intensidad de corriente	5A	10A
Sulfato de níquel	200g/l	250g/l
Cloruro de níquel	35g/l	60g/l
Ácido bórico	35g/l	45g/l
Sacarina	5g/l	10g/l
Humectante	1 ml	5 ml
Distancia	3cm	4cm
Agitación	300 Revoluciones/ segundo	350
Tiempo	10min	20min

**Tabla 4.** Valores de niveles altos y bajos de los factores a analizar.



**Anexo 5**



**Fotografía 1.** Pulido de piezas de acero al carbono

**Fuente:** Tomada por equipo de trabajo



**Fotografía 2.** Lavado con jabón

**Fuente:** Tomada por equipo de trabajo

**Anexo 6**



**Fotografía 3.** Desengrase con alcohol

**Fuente:** Tomada por equipo de trabajo



**Fotografía 4.** Cloruro de níquel.

**Fuente:** Tomada por equipo de trabajo



**Fotografía 5.** Ácido bórico

**Fuente:** Tomada por equipo de trabajo



**Fotografía 6.** Sacarina

**Fuente:** Tomada por equipo de trabajo



**Anexo 8**



**Fotografía 7.** Sulfato de níquel

**Fuente:** Tomada por equipo de trabajo



**Fotografía 8.** Humectante

**Fuente:** Tomada por equipo de trabajo



**Anexo 9**



**Fotografía 9.** Pesaje de los reactivos

**Fuente:** Tomada por equipo de trabajo



**Fotografía 10.** Agregando los reactivos

**Fuente:** Tomada por equipo de trabajo



**Fotografía 11.** Agitación de la solución

**Fuente:** Tomada por equipo de trabajo



**Fotografía 12.** Agitación de la solución con agitador magnético

**Fuente:** Tomada por equipo de trabajo



**Anexo 11**



**Fotografía 13.** Ajuste del pH

**Fuente:** Tomada por equipo de trabajo



**Fotografía 14.** Montaje de los electrodos

**Fuente:** Tomada por equipo de trabajo

**Anexo 12**

*Estudio de la niquelación como protección contra la corrosión, resalte del brillo y adherencia en el acero al carbono.*



**Fotografía 15.** Montaje de equipo.

**Fuente:** Tomada por equipo de trabajo



**Fotografía 16.** pH- Metro

**Fuente:** Tomada por equipo de trabajo



**Fotografía 17.** Láminas niqueladas

**Fuente:** Tomada por equipo de trabajo



**Figura 1.** Ejemplos de piezas tratadas con níquel.

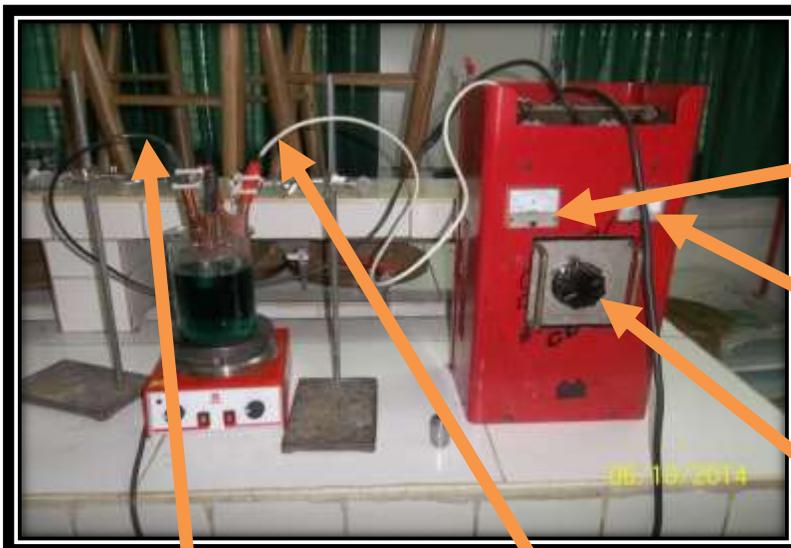
**Fuente:** <http://www.arqhys.com/piezasdecorativas/tipos-niquel.html>

**Anexo 14**



**Fotografía 18.** Pieza de forma cilíndrica niquelada

**Fuente:** Tomada por equipo de trabajo



Control de la intensidad

Control del voltaje

Ajuste del voltaje

Cátodo polo (-)

Ánodo polo (+)

**Fotografía 19.** Descripción del equipo (Batería)

**Fuente:** Tomada por equipo de trabajo



## ABREVIATURA

**A:** Amperaje.

**°C:** Grados centígrados.

**cm:** Unidad de centímetros.

**g:** Unidad de gramos.

**HB:** Escala de medición de la dureza de un material (dureza Brinell).

**I:** Intensidad de corriente eléctrica.

**Kg/mm<sup>2</sup>:** Kilogramos por milímetro cuadrados.

**L:** Unidad de litros.

**2M:** Dos molar

**4M:** Cuatro molar

**6M:** Seis molar

**8M:** Ocho molar

**ml:** Unidad de mililitros.

**Ni-P:** Aleación níquel con fosforo.

**R:** Resistencia.

**Rpm:** Revoluciones por minutos.

**V:** Voltaje.

**Ω:** Ohm

**μm:** Micrómetros.

**SN:** Señal Ruido.