



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga  
Departamento de Ingeniería Industrial

## **REPORTE FINAL PARA ACREDITAR LA RESIDENCIA PROFESIONAL DE LA CARRERA DE...**

PRESENTA:  
JAVIER ULISES OLVERA PONCE

CARRERA:  
INGENIERÍA INDUSTRIAL

***PLAN DE MEJORA EN PRODUCTIVIDAD DE LA MAQUINA NÍQUEL ELECTROLESS.***



Trix Industrial de México S.A. de C.V.

Juan Carlos García Martínez  
Nombre del asesor externo

Ariann Andrade Alonso  
Nombre del asesor Interno

Diciembre 2023

## ***CAPÍTULO 1: PRELIMINARES***

### **Agradecimientos**

Principalmente quiero agradecer a dios, por darme valentía y fortaleza en todo momento de mi vida y hacer esto posible.

A mi familia, por darme su amor y cariño cuando más lo eh necesitado y siempre creer en mí y siempre apoyarme en todas y cada una de mis decisiones, a mi madre Yolanda Ponce López por ser mi motivación de cada día y nunca dejara caer en este largo camino junto con mi segundo padre Ramiro Moreno Moreno que a lo largo de la vida me ha enseñado muchas cosas de la vida como valores, responsabilidades, tanto personales como laborales, a mi padre Francisco Javier Olvera Macias por siempre brindarme su apoyo y darme los mejores consejos de vida, a mis hermanas Ana rosa y Mónica, quienes siempre me dieron buenos ánimos y sus mejores deseos en la vida.

A † Ana María López Vázquez, mi abuelita por ser la luz que me guía y me da fuerzas para seguir en este camino, quien siempre me dio su amor y cariño desde mi infancia, y siempre estará en mi corazón y pensamientos a donde sea que valla.

Quiero expresar mi gratitud a mis amigos por su constante apoyo y ánimo durante este proceso, por su apoyo en los trabajos que siempre se me dificultaban ellos siempre estuvieron en esos momentos difíciles, sus palabras de aliento fueron mi impulso en los momentos más desafiantes.

A mi querido Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga ya que todo el equipo de docentes que me acompañaron en la carrera pude adquirir el conocimiento necesario para concluir con mi carrera.

Agradezco sinceramente a Trix Industrial de México S.A. de C.V. por brindarme la oportunidad de llevar a cabo este proyecto de residencia. Su apoyo continuo y recursos han sido invaluable para alcanzar mis metas.

## **Resumen**

En el presente documento se presentará el proceso que se llevó a cabo para realizar una mejora para la empresa Trix Industrial de México S.A. de C.V. Ya que presentaba una deficiencia en cuanto a la productividad en la máquina de galvanizado Níquel Electroless.

Presentando, así como las evidencias tanto teóricas como prácticas, comprobando el funcionamiento de la línea (Ni-EI) explicando todo el proceso por el cual pasan las piezas a galvanizar.

Los fundamentos teóricos son de mucha importancia, ya que en base a la investigación realizada se logró entender mucho mejor el funcionamiento en cuanto a las tinajas de galvanizado para saber los resultados que se dejarían obtener en un principio. De la misma forma se presentan y demostrara un par de opciones para lograr concluir con el objetivo de este proyecto, el cual es mejorar la eficiencia y obtener más con menos.

## Índice

CAPÍTULO 1: PRELIMINARES.....	II
Agradecimientos .....	II
Resumen .....	III
Índice .....	IV
Lista de Tablas .....	VI
Lista de Figuras .....	VII
CAPÍTULO 2: GENERALIDADES DEL PROYECTO .....	9
2.1.- Introducción .....	9
2.2.- Descripción de la empresa u organización y del puesto o área del trabajo del residente. ....	10
2.3.- Problemas a resolver, priorizándolos. ....	14
2.4.- Justificación .....	15
2.5.- Objetivos Generales.....	16
2.6.- Objetivos Específicos.....	17
CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO.....	18
3.1.- ¿Qué es el galvanizado Níquel Electroless? .....	18
3.2.- ¿Cómo se logra un galvanizado de Níquel Electroless? .....	18
3.3.- Mecanismos de reacción propuestos .....	19
3.4.- Composición química: Clasificación y propiedades dependientes del contenido de fósforo .....	20
3.4.1.- Contenido de fósforo.....	20
3.4.2.- Resistencia a la corrosión .....	21
3.4.3.- Magnetismo y conductividad eléctrica.....	23
3.4.4.- Punto de fusión .....	24
3.4.5.- Densidad y uniformidad en el espesor del recubrimiento. ....	25
3.5.- Microestructura y metalografía .....	27
3.5.1.- Cristalización .....	27
3.5.2.- Dureza. ....	30
3.5.3.- Desgaste.....	30
3.6.- Otras propiedades.....	31
3.6.1.- Ductilidad.....	31
3.6.2.- Estrés interno.....	32
CAPÍTULO 4: DESARROLLO .....	33

<i>Procedimiento y descripción de las actividades realizadas</i> .....	33
4.1.- Selección y definición del Proyecto.....	33
4.2.- Conocer el proceso de Níquel Electroless.....	34
4.3.- Medición de tiempos en la línea de producción.....	36
4.4.- Investigar sobre la composición química.....	38
4.5.- Hacer pruebas de recubrimiento. ....	39
4.6.- Comprobar factibilidad del recubrimiento. ....	40
4.7.- Aplicar KAIZEN para un aumento de piezas por fuera de los barriles. ....	40
4.8.- Cronograma de actividades.....	42
<b>CAPÍTULO 5: RESULTADOS</b> .....	43
5.1.- Resultados.....	43
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES</b> .....	45
6.1.- Conclusiones del Proyecto .....	45
<b>CAPÍTULO 7: COMPETENCIAS DESARROLLADAS</b> .....	46
7.1.- Competencias desarrolladas y/o aplicadas. ....	46
<b>CAPÍTULO 8: FUENTES DE INFORMACIÓN</b> .....	47
8.1.- Referencias de Libros .....	47
8.2.- Referencias de Revistas.....	48
8.3.- Referencias de internet: .....	49
<b>CAPÍTULO 9: ANEXOS</b> .....	50
9.1.- Anexos .....	50

## **Lista de Tablas**

<i>Tabla 1.- Organigrama de la empresa TRIX Industrial de México S.A. DE C.V. ....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 2.- Clasificación de los recubrimientos ENP en función del contenido de fósforo (P).....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 3.- Tiempos estándares que pasa un barril en cada tina. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 4.- Composición química y térmica de cada tina. Fuente: Elaboración propia. ....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 5.- Cronograma de actividades. Fuente: Elaboración propia. ....</i>	<i>42</i>

## **Lista de Figuras**

<i>Figura 1.- Procesos de recubrimiento metálico más comunes. (a) Electrodeposición, (b) Deposición no electrolítica.</i>	19
<i>Figura 2.- Infografía sobre resumen histórico de las investigaciones más importantes en el mecanismo de reacción del ENP. Fuente: elaboración propia.</i>	20
<i>Figura 3.- (a) Velocidad de corrosión en función del tiempo; (b) Corte transversal esquemático del recubrimiento durante el ataque químico. Fuente: Zeller.</i>	23
<i>Figura 4.- (a) Variación de la propiedad magnética del recubrimiento ENP con respecto al contenido de fósforo. Fuente: ASTM; (b) Variación de la resistividad eléctrica y la magnetización del recubrimiento ENP con respecto al contenido de fósforo. Fuente: Osaka.</i>	24
<i>Figura 5.- (a) Variación del punto de fusión del recubrimiento ENP con respecto al contenido de fósforo. Fuente: ASTM; (b) Diagrama de fases del recubrimiento ENP. Fuente: Hansen.</i>	25
<i>Figura 6.- Variación de la densidad del recubrimiento ENP con respecto al contenido de fósforo. Fuente: ASTM.</i>	26
<i>Figura 7.- Diferencia en la uniformidad entre el níquel electrodepositado y el ENP. Fuente: Nelson Gomes.</i>	27
<i>Figura 8.- a) Patrones de difracción de recubrimientos amorfos (a, b y c) con concentraciones de fósforo entre 4% y 9% y patrón de difracción de recubrimiento de 4,8 % en fósforo tratado a 400 °C por 15 min; b) Patrones de difracción de recubrimiento de 4,3% y 9% en fósforo, tratados térmicamente a 400 °C por una hora. Fuente: Rajagopal.</i>	28
<i>Figura 9. Patrones de difracción de recubrimientos níquel fosforado co-depositado con carburo de silicio, en el intervalo de concentraciones de 2,5% a 10,2% de fósforo. Fuente: Apachitei.</i>	29
<i>Figura 10.- Variación de la dureza en función del contenido de fósforo. Fuente: NACE.</i>	30
<i>Figura 11.- Índice de desgaste Taber para tratamientos térmicos a una hora. Fuente: NACE.</i>	31
<i>Figura 12.- Variación del porcentaje de elongación con respecto a (a) contenido de fósforo. Fuente: Duncan; y (b) temperatura de tratamiento térmico. Fuente: NACE.</i>	32
<i>Figura 13.- Variación del estrés interno con respecto al contenido de fósforo. Fuente: Duncan.</i>	32
<i>Figura 14.- Línea de producción de galvanizado Níquel Electroless. Fuente: Elaboración propia.</i>	33
<i>Figura 15.- (a) Casete, estructura de alambre de acero inoxidable, donde se colocan en forma ordenada las piezas 6MA; y (b) pieza 6MA, pieza que se requiere aumentar su producción. Fuente: Elaboración propia.</i>	34

<i>Figura 16.- (a) Barril, estructura con solera de acero inoxidable con dimensiones específicas donde entra con facilidad los casets; y (b) Grúa mecánica que carga los barriles y los deposita de tina en tina según corresponda. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 17.- Lay-Out de la línea en recubrimiento Níquel Electroless. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 18.- (a) Medidor de Sulfato; y (b) Medidor de Ph. Fuente: Elaboración propia. .</i>	<i>39</i>
<i>Figura 19.- (a) Parte inferior, (b) Parte exterior. Fuente: Elaboración propia. ....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 20.- Caset externo con capacidad de 7 piezas 6MA. Fuente: Elaboración propia. ....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 21.- Tornillo soldado en parte externa del barril con topes de seguridad para caset externo. Fuente: Elaboración propia. ....</i>	<i>41</i>



## ***CAPÍTULO 2: GENERALIDADES DEL PROYECTO***

### **2.1.- Introducción**

En el presente proyecto se propone un plan de Mejora en cuanto a la producción de la maquina en recubrimiento de (Ni-EI) Níquel Electroless, para la planta TRIX Industrial de México S.A. De C.V.

La línea de recubrimiento Zinc Níquel (Zn-Ni), requiere una alta demanda de piezas recubiertas antes por la línea de Níquel Electroless (Ni-EI), a lo cual se tiene un problema de improductividad de piezas recubiertas. Por lo cual se implementará un plan de mejora en beneficio al aumento de la producción de galvanizado.

En este proyecto se llevará a cabo la recaudación de información sobre el proceso, de ahí partir haciendo una investigación teórica tanto práctica, de igual forma implementando e ideando nuevas formas de mejora para satisfacer la demanda de piezas recubiertas por la línea (Ni-EI).

## **2.2.- Descripción de la empresa u organización y del puesto o área del trabajo del residente.**

### **Servicios**

- Pensar y realizar acciones a favor de los clientes (Market-in).
- Predecir las necesidades de los clientes y preparar para satisfacerlas.
- La Sociedad es prioritaria al retorno de los accionistas, los empleados a la Sociedad y los clientes a los empleados.
- Ofrecer productos competitivos (productos únicos).
- En nuestra empresa los procesos posteriores son nuestros clientes.
- Nuestra gestión empresarial se basa en las personas (clientes, empleados, otros interesados, etc.)
- Fabricar productos de buena calidad y bajo precio, de manera oportuna con poco trabajo.

### **Integridad**

- Tomar las cosas con seriedad.
- Pensar de manera responsable.
- Actuar con absoluta honestidad.
- No comprar cosas innecesarias ni gastar más de lo necesario., Gestión transparente (Dar toda la información a los empleados).
- Respetar los “fundamentos”.
- Buscar el mejoramiento continuo (Mantener el status que uno es como dar un paso atrás).
- Fomentar la igualdad y la justicia.
- Actuar con autonomía e independencia.
- Ser una persona confiable.
- Actuar de acuerdo con 3A's (lugar Actual, Actualidad y producto Actual).

### **Objetivo Principal**

Estamos absolutamente comprometidos a maximizar la satisfacción del cliente desde una perspectiva global, esforzándonos por ofrecer a nuestros clientes productos de alta calidad o productos competitivos.

## **Política de función**

- Tener grandes aspiraciones para los desafíos.
- Ser exigente para cumplir los objetivos.
- Mantener una relación de comunicación y respetarse unos a otros.
- Cumplir el tiempo y el trabajo en equipo.
- Proceder a los cambios con ingenio y flexibilidad.

## **Misión**

Estamos absolutamente comprometidos a maximizar la satisfacción del cliente desde una perspectiva global, esforzándonos por ofrecer a nuestros clientes, productos de alta calidad y precios competitivos.

Ser una empresa líder en la galvanoplastia que puede llegar a cualquier lugar para poder extender su mercado.

## **Visión**

Centrándonos en las bases, ayudándonos entre compañeros alrededor del mundo, persiguiendo la alta calidad y apuntando a ser la empresa elegida por todos, POR NUESTRO FUTURO.

## Organigrama

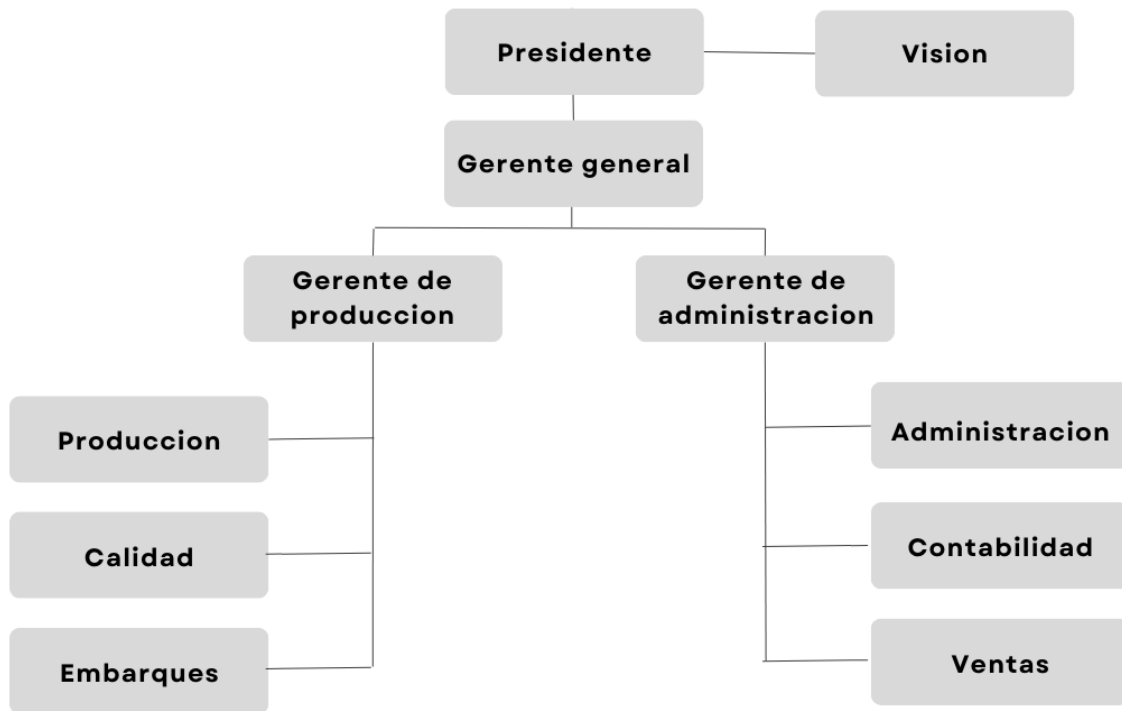


Tabla 1.- Organigrama de la empresa TRIX Industrial de México S.A. DE C.V.

## Principales clientes de la empresa

- Honda
- Sanoh
- Kurota
- Shoshiva
- Horita
- UACJ

## Objetivos

Proporcionar protección a largo plazo de piezas contra la corrosión y el desgaste, el galvanizado es un proceso en el cual se aplica una capa de zinc a las piezas metálicas para crear una barrera protectora que ayuda a prevenir la oxidación y la degradación debido a la exposición al ambiente, la humedad, los productos químicos, entre otros factores.

**Puesto del residente**

Becario en el área de Mantenimiento industrial como auxiliar en áreas de reparación de Jig's, rack's cassette's, aplicando los conocimientos adquiridos en la materia de procesos de fabricación sobre soldadura y metalurgia, así mismo adquiriendo más conocimientos en diferentes áreas de producción.

### **2.3.- Problemas a resolver, priorizándolos.**

En la empresa TRIX Industrial de México en la línea de producción de Galvanizado Níquel Electroless se utilizan unos dispositivos o herramientas llamados cassette's y barriles, los cuales sirven para colocar el material que será galvanizado, una de las líneas de producción con las que cuenta la empresa. En estos dispositivos o herramientas el cual uno de los problemas es que debido al proceso cuenta con un tiempo de producción que no cuenta con la productividad necesaria para pasar al siguiente proceso el cual es Zn-Ni (Zinc Níquel).

Este problema es causado porque no existe una producción adecuada o necesaria, ni tiempos de proceso rápido adecuado para la galvanización, además de que su mantenimiento no es tan seguido o solo se le aplica como se mencionó anteriormente, cuando el dispositivo ya no puede cumplir con su tarea, todo esto provoca en las líneas de producción los siguientes problemas: Piezas con menor galvanización a la requerida con los clientes, piezas que se galvanizan con un espesor mayor a los requerimientos del cliente en el proceso a las tinas de líquidos, atascamiento de piezas en el siguiente proceso de galvanización lo cual causa fallas que resultan en paro de la línea de producción por lo que toma un tiempo alrededor de 3 a 5 horas dependiendo de la cantidad requerida del cliente, todo este tiempo de paro de línea siendo provocado por el mala estandarización en el proceso en galvanizado de la maquina Níquel Electroless.

Los problemas que se mencionan son causa a su vez de una baja productividad de piezas galvanizadas para pasar al siguiente proceso, así mismo, se generan tiempos muertos y pérdidas de material, y aumento de tiempo en la entrega a los clientes, actualmente, cuando se hace un ajuste en los líquidos de recubrimiento , se realiza de manera manual o con herramientas improvisadas, provocando que los métodos de estandarización sean improductivos o ineficientes sean diferentes cada vez que se realizan, dando como resultado en una mala producción de piezas galvanizadas.

#### **2.4.- Justificación**

La aplicación de un proyecto de mejora para la línea de producción Ni-EI, es de mucha importancia para la empresa, ya que un aumento de piezas galvanizadas por turno tiene un valor agregado, reduciendo los tiempos de entrega, todo esto lográndose mediante la optimización de tiempos y movimientos de la máquina, al realizar las pruebas en cuanto al término del galvanizado de las piezas aumentando el tiempo esto afectaría ya que a menor tiempo de procesamiento en las tinas de líquidos, el recubrimiento de galvanizado no cumpliría con los requerimientos de los clientes.

Por lo mismo se requiere de realizar pruebas en la optimización, reducir el tiempo en las tinas se tiene que aumentar la temperatura requerida y así mismo los porcentajes de líquidos requeridos en cada una de las tinas tanto como de líquidos de recubrimientos como las tinas que contienen agua, (agua que es requerida para enjuagar y retirar los excedentes de líquidos, tanto como para enfriar las piezas, y sea rápido de retirar para los operadores de la maquina).

Como residente, desarrollaré habilidades de manufactura tanto como de producción y de calidad, así mismo aprenderé cosas nuevas como la elaboración y preparación de químicos que se usan para la galvanización de piezas en la línea de producción Níquel Electroless, y la elaboración de mantenimiento en la misma para conocer el proceso de todas y cada una de las partes para concluir con el proceso.

### **2.5.- Objetivos Generales.**

El objetivo de este plan de mejora es reducir los tiempos de proceso, y/o aumentar la producción que se encuentran en la empresa, los cuales son los cassette's y barriles. Utilizados en esta línea de producción Ni-El. La cual con el paso del tiempo y por el proceso de galvanizado se ha mantenido en el mismo tiempo de proceso, y dando como resultado que no estén aprovechando al máximo y provoquen una producción reducida de material de la línea en el proceso de galvanizado.

Con esta mejora se podrá tener mayor rendimiento de producción, se creará una nueva optimización en cuanto a los tiempos de galvanizado en las tinas que se tienen actualmente en las proporciones de químicos, así como en la temperatura a la que se trabajan y la cantidad de producto que se coloca dentro de los barriles implementando un KAISEN donde por la parte exterior de cada barril se colocaran una cantidad adicional a la que está actualmente predeterminada.

Actualmente se tiene el tiempo de 10 min por barril desde que entra a la primera tina hasta que sale el barril en el área de descarga, a lo cual en la visión que se tiene para los resultados de este proyecto de mejora sería una reducción en el tiempo, dejando atrás el procesamiento de 10 min y reducirlo con un total de 8 min por barril, aumentando la producción un 12%.



## **2.6.- Objetivos Específicos.**

Para poder lograr la mejora, se debe estudiar el proceso en la línea de producción Ni-EI y el funcionamiento de la máquina. Medir tiempo ciclo por carga de barril, esto con el objetivo de optimizar el tiempo ciclo. Por lo cual el residente tendrá que adquirir diferentes habilidades para concluir con los objetivos.

1. Conocer el proceso de producción de la línea de Galvanizado Ni-EI, mediante la operación de la máquina y observando el trabajo del personal operario.
2. Aprender las habilidades necesarias para reparar los cassette's y barriles de la línea de producción Ni-EI.
3. Reconocer e identificar el tipo de caset a usar (en estos cambia la cantidad dependiendo de la pieza a galvanizar), así como su tipo, y para qué tipo de material es cada uno.
4. Estudiar los estándares de líquidos de las tinas de galvanización.
5. Cotizar con proveedores mecánicos para hacer ajuste de tiempos en cuando a movimientos de los barriles
6. Investigar más métodos para aumentar la cantidad de producción de piezas galvanizadas en la línea Ni-EI.

## ***CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO***

### **3.1.- ¿Qué es el galvanizado Níquel Electroless?**

Los fosfuros de níquel son usados en el campo de la metalurgia, en un tipo de recubrimiento metálico denominado Electroless Nickel Phosphorus (ENP), el cual puede ser aplicado sobre diversos tipos de metales y aleaciones. Este tipo de recubrimiento es obtenido mediante la técnica denominada Deposición Química no Electrolítica, producido una mezcla de níquel y fósforo en diversas proporciones. El contenido de fósforo juega un papel fundamental en las propiedades finales de la capa depositada, entre las cuales se puede mencionar la protección anticorrosiva de piezas metálicas, resistencia al desgaste y dureza. El recubrimiento es aplicado industrialmente a piezas nuevas o usadas para:

- Ofrecer una protección contra la corrosión, el desgaste y la erosión/corrosión de la superficie metálica.
- Reemplazar directamente al Cromo Duro o el termo rociado, cuando exista la posibilidad o haya experiencia previa de que la pieza pueda desconcharse.
- Restauración de medidas (sea por uso o error de mecanizado).
- Corrección de daños ocasionados por golpes o desprendimientos de capa de áreas previamente revestidas.

### **3.2.- ¿Cómo se logra un galvanizado de Níquel Electroless?**

El ENP se puede depositar a partir de baños químicos alcalinos o ácidos. Los baños alcalinos se utilizan para aplicaciones a baja temperatura ( $< 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), pero debido a su baja velocidad de deposición, no son prácticos industrialmente. Los baños ácidos, por el contrario, permiten usar una mayor temperatura, con lo que se puede lograr una mayor velocidad de deposición y con mayor resistencia a la corrosión, al desgaste y a la erosión/corrosión. Es por ello que estos últimos son los que se utilizan para la protección y reconstrucción de componentes críticos (con énfasis en partes de equipos) o para la protección de piezas que estén sometidas a ambientes agresivos. La técnica de

deposición química no electrolítica se define como un método auto catalítico que consiste en la reducción de iones metálicos en solución y la deposición de una película metálica con un espesor específico.

Se diferencia del proceso de electrodeposición convencional en que no se usa corriente eléctrica para reducir los iones metálicos, sino que en su lugar se emplea un agente reductor (ver Figura 1). La capa resultante es un co-depósito formado por el metal y un elemento no metálico proveniente del agente reductor empleado. Como elementos no metálicos se usan únicamente dos: fósforo y boro. Los metales más usados para la deposición son el níquel, cobre, cobalto, molibdeno, tungsteno, rodio, rutenio, platino, paladio e iridio, además de combinaciones de estos para un mismo recubrimiento.

(R. C. Agarwala and V. Agarwala, 2005)

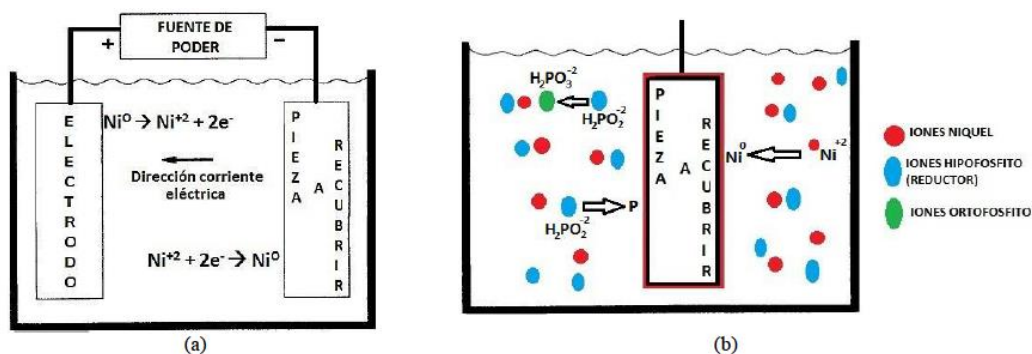


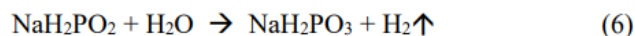
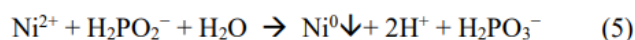
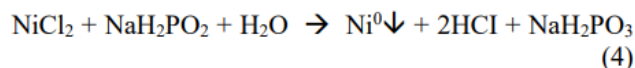
Figura 1.- Procesos de recubrimiento metálico más comunes. (a) Electrodeposición, (b) Deposición no electrolítica.

### **3.3.- Mecanismos de reacción propuestos**

En cuanto al mecanismo de reacción mediante el cual ocurre el proceso de deposición ENP, se han planteado varias teorías, publicándose 6 grandes mecanismos, los cuales se resumen en la Figura 2.

El primer mecanismo fue propuesto por Brenner y Riddell denominado Mecanismo de hidrógeno atómico. Los autores plantearon las siguientes ecuaciones como la base para explicar la formación de níquel metálico y la generación de gas hidrógeno.

(A. Brenner, 1946)



En este mecanismo, se propone que el hidrógeno gaseoso es el responsable de la reducción de los iones níquel a níquel metálico, al absorberse en la superficie catalíticamente activa del sustrato a recubrir y ceder electrones a los iones níquel del baño, completando así la deposición metálica. Este mecanismo no logra explicar la presencia de fósforo en la superficie el recubrimiento.

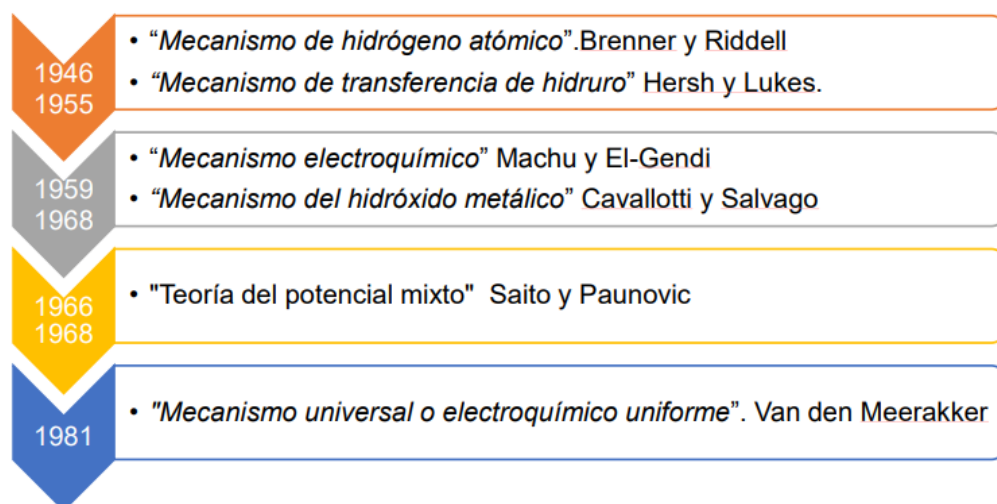


Figura 2.- Infografía sobre resumen histórico de las investigaciones más importantes en el mecanismo de reacción del ENP. Fuente: elaboración propia.

### **3.4.- Composición química: Clasificación y propiedades dependientes del contenido de fósforo**

#### **3.4.1.- Contenido de fósforo**

El contenido de fósforo en el recubrimiento tiene un gran efecto sobre sus propiedades y puede variar en un amplio intervalo, dependiendo de la aplicación y el tipo de sustrato, de entre 3% y 13%. En el ámbito industrial, se clasifican los recubrimientos en función

de los intervalos de variación del contenido de fósforo como se puede apreciar en la Tabla 2.

(T. Osaka, M. Usuda, I. Koiwa, and H. Sawai, 1988)

<b>Clasificación</b>	<b>Contenido de P, %</b>
Fósforo bajo	2 - 5
Fósforo medio	6 - 9
Fósforo alto	10 - 14

*Tabla 2.- Clasificación de los recubrimientos ENP en función del contenido de fósforo (P).*

Esta clasificación permite poder ubicar el recubrimiento adecuado según el tipo de aplicación que se requiera. Por ejemplo, los recubrimientos de fósforo bajo poseen una mayor dureza y una enorme resistencia al desgaste, mayor resistencia a la temperatura y mayor resistencia a la corrosión en ambientes alcalinos. Entre tanto, los de fósforo medio resaltan más su acabado brillante, con una buena dureza y resistencia al desgaste, además de una resistencia moderada a la corrosión. Por último, los recubrimientos de fósforo alto destacan por su alta resistencia a la corrosión en diversos ambientes químicos, gran flexibilidad, además de una alta adherencia y difusión en el sustrato.

### **3.4.2.- Resistencia a la corrosión**

La resistencia a la corrosión en el ENP es sinónimo de resistencia química o resistencia al ataque del sustrato metálico. Esta propiedad es una de las más importantes y por la cual es más usado el recubrimiento. La protección anticorrosiva permite, entre otros aspectos, poder disminuir costos al utilizar metales de menor valor como los aceros al carbono en la sustitución de metales como el titanio en aplicaciones químicas industriales como por ejemplo en la industria petroquímica.

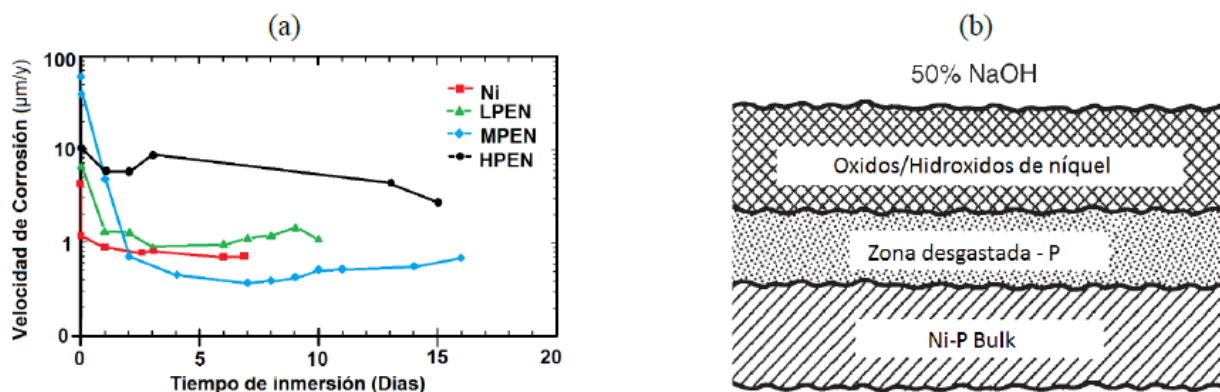
El ENP no actúa como un recubrimiento de sacrificio como lo hace el zinc o el cadmio en sustratos de acero, por el contrario, funciona como una barrera entre el sustrato y el medio ambiente. Las aplicaciones probadas, en las cuales se ha usado el recubrimiento

de fósforo alto sometido a condiciones químicas agresivas son muy variadas, pasando por diferentes familias de productos orgánicos como aldehídos, aminas, cetonas, ácidos carboxílicos, alcoholes, solventes aromáticos y alifáticos, azúcares, otros alimentos y petróleo. Igualmente, en compuestos inorgánicos como hidróxidos, ácidos minerales (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), ácido bórico y boratos, cianuros, carbonatos, gases corrosivos (HCN, Cl<sub>2</sub>), bromo, CO<sub>2</sub>, CO, vapor de agua, entre otros.

Los ENP de fósforo bajo poseen una excelente estabilidad en ambientes alcalinos concentrados (>50% vol) con elevadas temperaturas. Zeller y Salvati, estudiaron el efecto de la corrosión causado por una solución de hidróxido de sodio al 50 % vol, a temperatura ambiente, para los tres tipos de recubrimientos y para el níquel puro. En la Figura 3(a) se puede observar la variación de la velocidad de corrosión para cada uno de los materiales estudiados, siendo el níquel metálico y el ENP de fósforo bajo los que presentaron menor variación de la velocidad de corrosión en el tiempo evaluado.

La Figura 3(b) es un esquema planteado por los autores en el cual se observa como ocurre el proceso de protección anticorrosiva del ENP en ambientes alcalinos, donde se plantea que existe una oxidación parcial de las primeras capas de átomos del recubrimiento convirtiéndose en una capa protectora. Los autores apoyan este planteamiento en medidas de Espectroscopia de Fotoelectrones emitidos por Rayos X (XPS) y de polarización anódica, donde encontraron que la capa de óxido / hidróxido de níquel era más gruesa en la medida en que la superficie es más pura en níquel.

(R. L. Zeller III and L. Salvati Jr., 1994)



*Figura 3.- (a) Velocidad de corrosión en función del tiempo; (b) Corte transversal esquemático del recubrimiento durante el ataque químico. Fuente: Zeller.*

### **3.4.3.- Magnetismo y conductividad eléctrica**

Las propiedades magnéticas del níquel fosforado tienen una fuerte dependencia con respecto al contenido de fósforo. La norma ASTM B733, en su anexo X.4, muestra un gráfico (ver Figura 4) en el cual se representa el porcentaje en peso de fósforo con respecto a la respuesta magnética, para recubrimientos sin tratamiento térmico.

*(D. Tachev, J. Georgieva, and S. Armyanov, 2001)*

Se puede observar claramente una tendencia al ferromagnetismo en recubrimientos con concentración de P inferior a 5 % y a partir de 8 %, se considera al ENP como un material no magnético. De hecho, es tan significativo esta última condición, que uno de los principales usos que se le da al recubrimiento es en la fabricación de discos duros para computadoras, siendo usado como base en los discos de aluminio (12-13 % P) para soportar la fina película magnética empleada en el almacenaje de datos en los discos.

En la Figura 4(a), también se desprende que el ferromagnetismo en el recubrimiento está relacionado directamente con la pureza del níquel en este, mientras menos cantidad de fósforo exista en la capa, más se parecerá al níquel metálico el cual es un material ferromagnético por naturaleza.

Esta propiedad exhibida por los recubrimientos de fósforo alto se debe al carácter amorfo del mismo, que incluso mantiene esta característica bajo calentamientos de 250 °C en cortos períodos de tiempo. Sin embargo, como se hablará más adelante en el apartado sobre microestructura y metalografía, una vez que se forman cristales de fosforo de níquel y de níquel metálico, el material muestra nuevamente propiedades ferromagnéticas debido a la aparición de los cristales de níquel.

Osaka y colaboradores, estudiaron tanto la variación en las propiedades magnéticas del recubrimiento como en la resistividad eléctrica. Realizaron la medida de la resistividad

eléctrica ( $\rho$ ) y del magnetismo por saturación ( $M_s$ ) de recubrimientos con contenidos atómicos de fósforo desde 2 % hasta 24%, obteniendo el gráfico mostrado en la Figura 4(b).

(T. Osaka, M. Usuda, I. Koiwa, and H. Sawai, 1988)

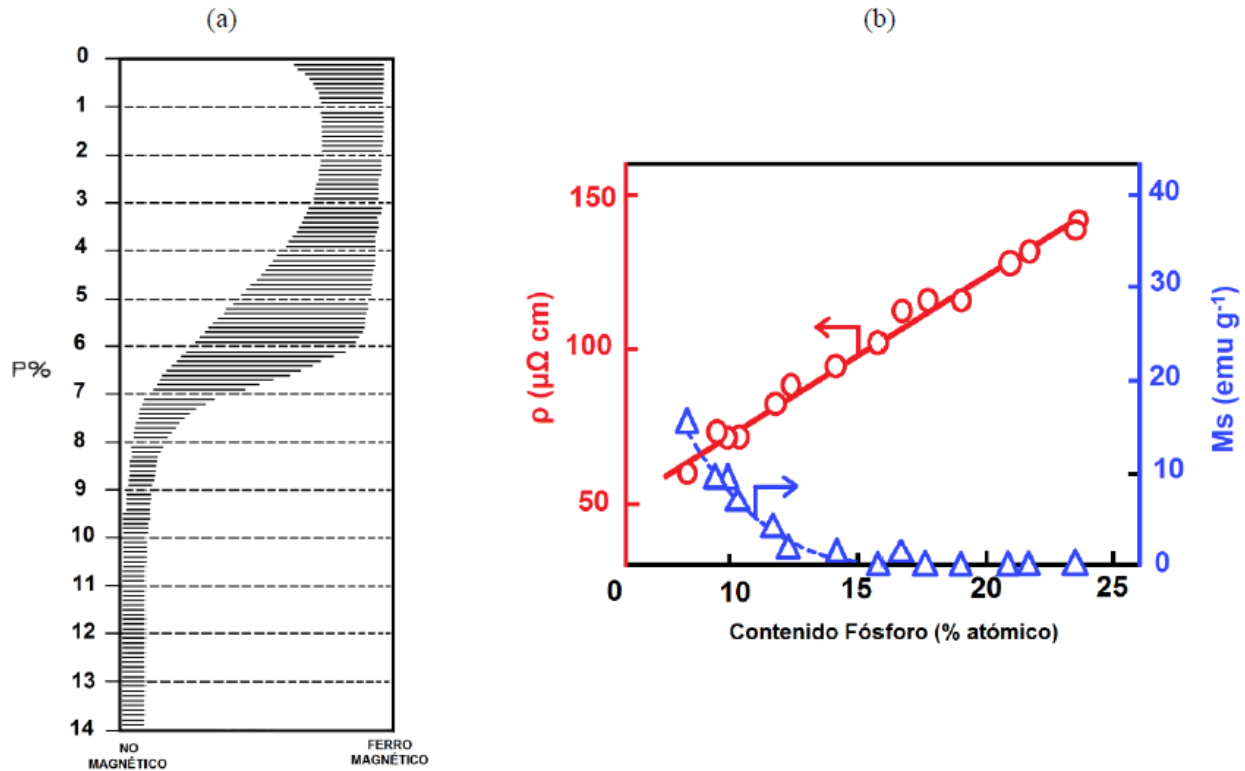


Figura 4.- (a) Variación de la propiedad magnética del recubrimiento ENP con respecto al contenido de fósforo. Fuente: ASTM; (b) Variación de la resistividad eléctrica y la magnetización del recubrimiento ENP con respecto al contenido de fósforo. Fuente: Osaka.

#### **3.4.4.- Punto de fusión**

El punto de fusión es una propiedad que es afectada por el contenido de fósforo. El efecto que se produce es una disminución progresiva con respecto al aumento del porcentaje en peso de P. La Figura 5(a) ilustra dicho proceso en un gráfico de temperatura versus %P. El níquel puro posee un punto de fusión de 1455 °C y la disminución de la



temperatura se da hasta una concentración del 11 %, correspondiente a una temperatura de 880 °C, a partir de este punto ocurre un aumento de la temperatura.

Este comportamiento indica que la temperatura de 880 °C representa el punto eutéctico para el ENP, que no es otra cosa que la temperatura más baja a la cual puede fundir la mezcla de níquel con fósforo. La Figura 5(b), corresponde al diagrama de fases del ENP. *NACE International, Electroless Nickel Coatings, 6A287-HD1997. Houston: NACE International, 1997.*

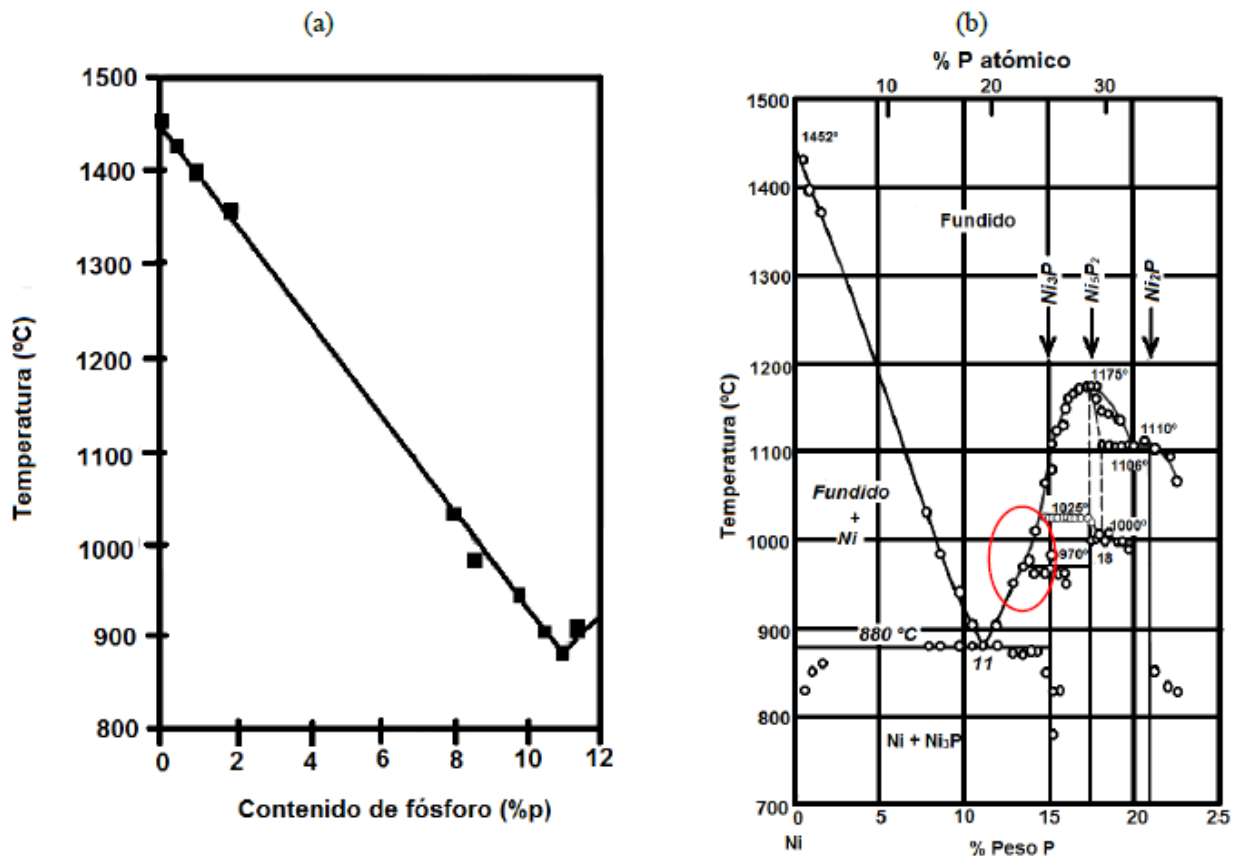


Figura 5.- (a) Variación del punto de fusión del recubrimiento ENP con respecto al contenido de fósforo. Fuente: ASTM; (b) Diagrama de fases del recubrimiento ENP. Fuente: Hansen.

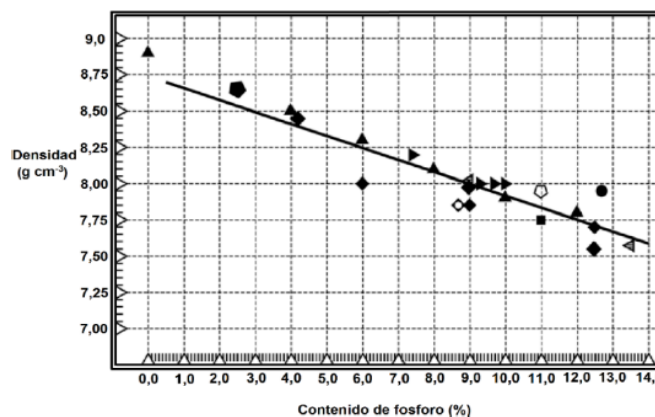
### 3.4.5.- Densidad y uniformidad en el espesor del recubrimiento.

La densidad del recubrimiento ENP disminuye proporcionalmente con el aumento del contenido de fósforo como se puede observar en la Figura 6. La densidad del níquel puro es de 8,9 g cm<sup>-3</sup>. A partir de un 2,5% en P con una densidad de 8,6 g cm<sup>-3</sup>, la misma disminuye a 7,7 g cm<sup>-3</sup> para un 12 % en P. Una característica de gran importancia en las aplicaciones del ENP es la capacidad de poder controlar el espesor de la capa y de producir depósitos con un grado muy alto de uniformidad.

Es especialmente útil para el caso de piezas de forma irregular o con geometrías complejas como por ejemplo roscas o válvulas, siendo una ventaja con respecto a otras técnicas de recubrimiento como el níquel electrolítico o el cromo duro donde se requieren post tratamientos de mecanizado. La uniformidad en el espesor de la capa es obtenida gracias al control de los parámetros de proceso como el pH, la temperatura y la agitación, lo que permite también controlar la velocidad de deposición de la capa.

En la Figura 7 se muestra un esquema sobre las diferencias en piezas tratadas con ENP y con níquel electrodepositado.

*(Nelson Gomes, Octavio Andrés González-Estrada, Alberto Pertuz, 2019)*



*Figura 6.- Variación de la densidad del recubrimiento ENP con respecto al contenido de fósforo. Fuente: ASTM.*



*Figura 7.- Diferencia en la uniformidad entre el níquel electrodepositado y el ENP.*

*Fuente: Nelson Gomes.*

### **3.5.- Microestructura y metalografía**

#### **3.5.1.- Cristalización**

Varios autores han descrito la estructura del ENP desde dos ópticas distintas:

- Una solución sólida super-saturada de fósforo disuelto en níquel microcristalino.
- Un recubrimiento amorfo.

Estas dos ópticas surgen de los múltiples estudios de difracción de rayos X realizados a recubrimientos obtenidos de una gran gama de baños de deposición con composiciones en fósforo en todo el intervalo planteado en la Tabla 2.

*(R. Colin, 1966)*

Rajagopal y colaboradores estudiaron por Difracción de Rayos X (DRX) los recubrimientos de níquel fosforado obtenidos en baños alcalinos de etanolamina. Obtuvieron capas con contenidos de fósforo entre 7,82 % y 15,78 % en peso. Concluyeron que los recubrimientos sin tratamiento térmico presentan una mayor cristalinidad en la medida en que la cantidad de fósforo disminuye (ver Figura 8(a), difractogramas a, b y c).

En los recubrimientos con contenidos por debajo de 8,0 % de P, los DRX mostraron señales características del níquel metálico. Por encima de 8 % observaron un cambio progresivo en los DRX hacia una forma amorfa a 15,82 % de P. Los autores también estudiaron los recubrimientos luego de realizar un tratamiento térmico a una temperatura

de 400 °C por 1 hora. Encontraron en todos los casos la formación de fases combinadas Ni-Ni<sub>3</sub>P (ver Figura 8(b)).

(K. S. Rajam, I. Rajagopal, S. R. Rajagopalan, and B. Viswanathan, 1993)

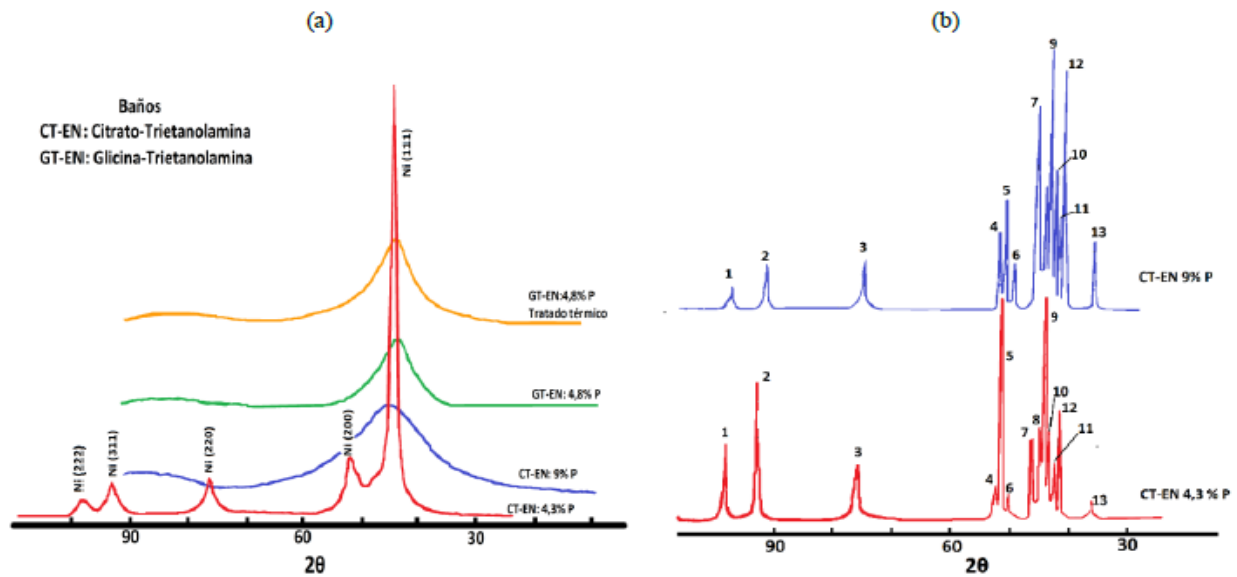


Figura 8.- a) Patrones de difracción de recubrimientos amorfos (a, b y c) con concentraciones de fósforo entre 4% y 9% y patrón de difracción de recubrimiento de 4,8 % en fósforo tratado a 400 °C por 15 min; b) Patrones de difracción de recubrimiento de 4,3% y 9% en fósforo, tratados térmicamente a 400 °C por una hora.

Fuente: Rajagopal.

Esta tendencia fue obtenida también por Apachitei y Duszczyk, quienes estudiaron los recubrimientos ENP realizados con baños ácidos sobre aluminio, en co-deposición con carburo de silicio. Llevaron a cabo la deposición en varias piezas a diferentes relaciones de fósforo en un intervalo de 2,5-10,2 %. Los análisis por DRX de las muestras previamente al tratamiento térmico (ver Figura 9), mostraron una tendencia a obtener

una mayor cristalinidad del níquel en la medida en que disminuye el contenido de fósforo en la capa.

(I. Apachitei and J. Duszczyk, 2000)

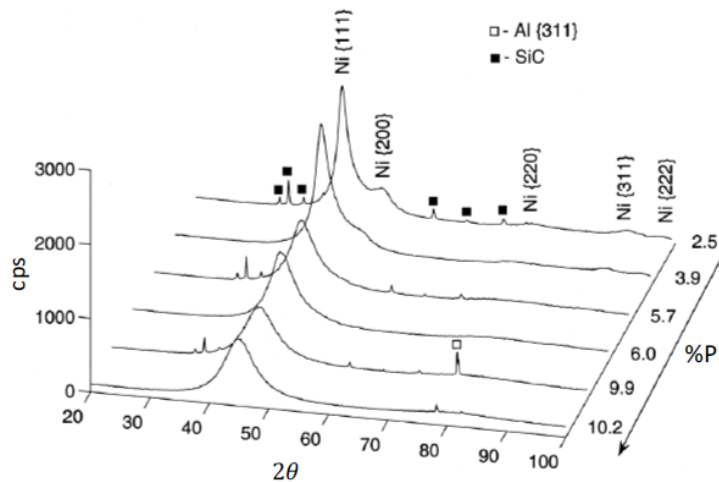


Figura 9. Patrones de difracción de recubrimientos níquel fosforado co-depositado con carburo de silicio, en el intervalo de concentraciones de 2,5% a 10,2% de fósforo.

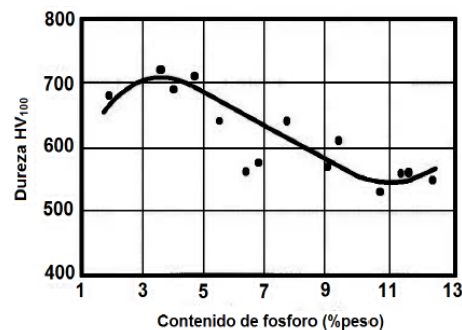
Fuente: Apachitei.

De los resultados obtenidos en estudios de DRX previos al tratamiento térmico se desprende, entre otros aspectos, que aquellos recubrimientos con contenidos de fósforo por encima del 10%, presentan un carácter completamente “amorfo” y por debajo de este valor, la presencia de cristalinidad en el recubrimiento aumenta progresivamente hasta mostrar una fase cristalina fcc de níquel metálico a concentraciones por debajo de 3% en P.

(Sribalaji, Arunkumar, Babu and Keshri, 2015)

### **3.5.2.- Dureza.**

La dureza del ENP es una de las propiedades más buscadas desde el punto de vista industrial para un recubrimiento. Esta propiedad del contenido de fósforo, así como también por la temperatura y tiempo del tratamiento térmico que se lleve a cabo en la pieza recubierta. En la Figura 10 se observa la variación de la dureza del ENP en función del contenido de fósforo. Se puede apreciar que la dureza tiende a disminuir en la medida que aumenta el contenido de fósforo. Sin embargo, en comparación con la dureza del níquel electroquímico que se encuentra entre 200 y 400 HV100, el contenido de fósforo proporciona un aumento significativo en esta propiedad.



*Figura 10.- Variación de la dureza en función del contenido de fósforo. Fuente: NACE.*

### **3.5.3.- Desgaste.**

El desgaste se define como la pérdida de material de una superficie como resultado de una acción mecánica, que puede ser causada por abrasión o erosión. El recubrimiento posee una buena resistencia al desgaste debido a la dureza y su lubricidad intrínseca. Cuando es tratado térmicamente, el aumento en la dureza conlleva a un aumento significativo en la resistencia al desgaste, como se puede apreciar en la Figura 11 donde se grafica el índice Taber en función de la temperatura para un ENP de 11% en P. Se observa un aumento en la resistencia a partir de 150 °C con poca variación hasta llegar a 300 °C cuando ocurre un aumento significativo de 20 a 13 mg/1000 ciclos y luego disminuye hasta 8 mg/1000 ciclos al llegar a 700 °C.

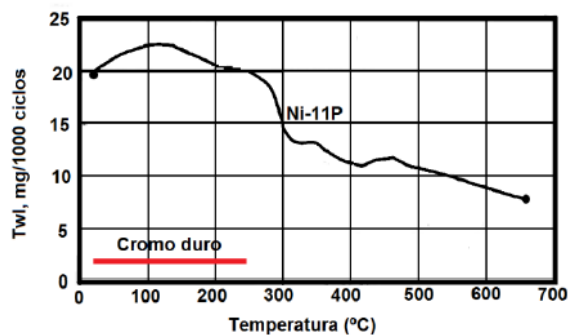


Figura 11.- Índice de desgaste Taber para tratamientos térmicos a una hora. Fuente: NACE.

### **3.6.- Otras propiedades.**

Otras propiedades a ser descritas en el presente texto son la ductilidad y estrés interno. Estas propiedades forman parte del grupo de propiedades mecánicas de los recubrimientos ENP, las cuales poseen una influencia menor derivada del contenido de fósforo o del tratamiento térmico.

#### **3.6.1.- Ductilidad**

La ductilidad o capacidad de deformación elástica (elongación), es una propiedad que se puede encontrar en muchos tipos de aleaciones metálicas y otros materiales no metálicos. El ENP posee una baja ductilidad, la cual no varía significativamente con respecto al contenido de fósforo (ver Figura 12(a)) y el tratamiento térmico disminuye aún más este parámetro, debido al aumento en la dureza, lo que se traduce en un material más quebradizo, como se puede apreciar en el gráfico de la Figura 12(b).

En promedio, la capa puede deformarse entre 1,5 % y 5 %, sin embargo se ha reportado que para recubrimientos con un espesor reducido y sobre superficies metálicas flexibles, la ductilidad aumenta significativamente haciendo posible que el ENP se doble sin quebrarse, debido a la gran adherencia de la capa al sustrato, compensando la baja ductilidad.

(S. S. Tulsí, 1986)

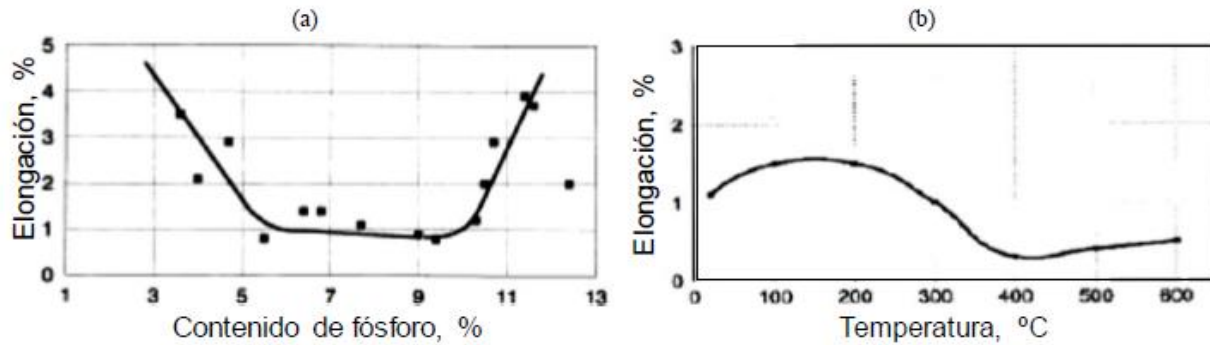


Figura 12.- Variación del porcentaje de elongación con respecto a (a) contenido de fósforo. Fuente: Duncan; y (b) temperatura de tratamiento térmico. Fuente: NACE.

### **3.6.2.- Estrés interno.**

Este parámetro se basa en las fuerzas internas propias del recubrimiento. Existen dos tipos de fuerzas de tensión que se pueden desarrollar en el ENP: extensiva y de compresión. Al ver en detalle la Figura 13, para concentraciones de fósforo menores a 4% o mayores a 10%, la capa experimenta fuerzas compresivas y el recubrimiento tiende a expandirse para aliviar la tensión, mientras que para concentraciones en un intervalo intermedio de 5 % a 9%, la fuerza actuante es extensiva y la tendencia es a contraerse.

La aparición de estas fuerzas internas en el ENP depende de varios factores como la edad del baño de deposición, el acabado del sustrato y la diferencia del coeficiente de expansión térmica entre este y el recubrimiento, así como también la influencia de los aditivos orgánicos e inorgánicos que son agregados para desarrollar una determinada característica. (R. Duncan, 1996)

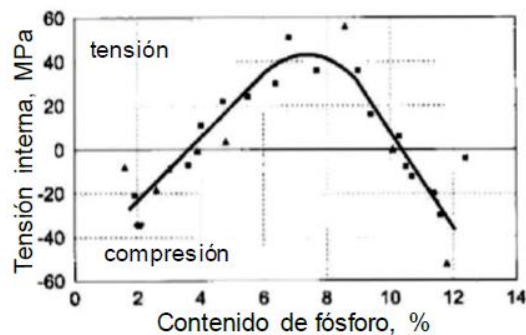


Figura 13.- Variación del estrés interno con respecto al contenido de fósforo. Fuente: Duncan.



## **CAPÍTULO 4: DESARROLLO**

### **Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.**

#### **4.1.- Selección y definición del Proyecto.**

En forma conjunta con los asesores se definirá el problema a solucionar basado en la metodología SMED, atacando el principal problema que se tiene en La línea Níquel Electroless, pretendiendo lograr el incremento de la eficiencia y mejora de tiempo de producción de piezas galvanizadas.

Como primera actividad para comenzar en este proyecto, se dio a conocer las posibles problemáticas a solucionar con el asesor interno y aprobar cual de estos posibles problemas sería apto a tratar y realizar el presente proyecto.

Al ser presentado con el asesor interno el problema aceptado, fue la insuficiencia de partes galvanizadas en la línea (Ni-EL) ver Figura 14. Por lo cual se tendrá que identificar todos y cada uno de los pacos que conlleva este proceso de galvanizado.



*Figura 14.- Línea de producción de galvanizado Níquel Electroless. Fuente:  
Elaboración propia.*

#### **4.2.- Conocer el proceso de Níquel Electroless.**

Visualizar y estudiar el proceso que concluye la galvanización de (Ni-EI) para tener una percepción amplia de lo que se pretende mejorar.

Durante dos semanas estuve estudiando y observando el proceso de galvanizado, hasta estuve apoyando en la línea de (Ni-EI) en el área de descarga así fui conociendo un poco más a fondo sobre como es el funcionamiento mecánico y químico en esta línea.

En esta máquina de recubrimiento (Ni-EI) las piezas son colocadas en unos instrumentos llamados casets (Figura 15 a). Donde se colocan 20 piezas, específicamente llamadas 6MA. (Figura 15 b)

(a)



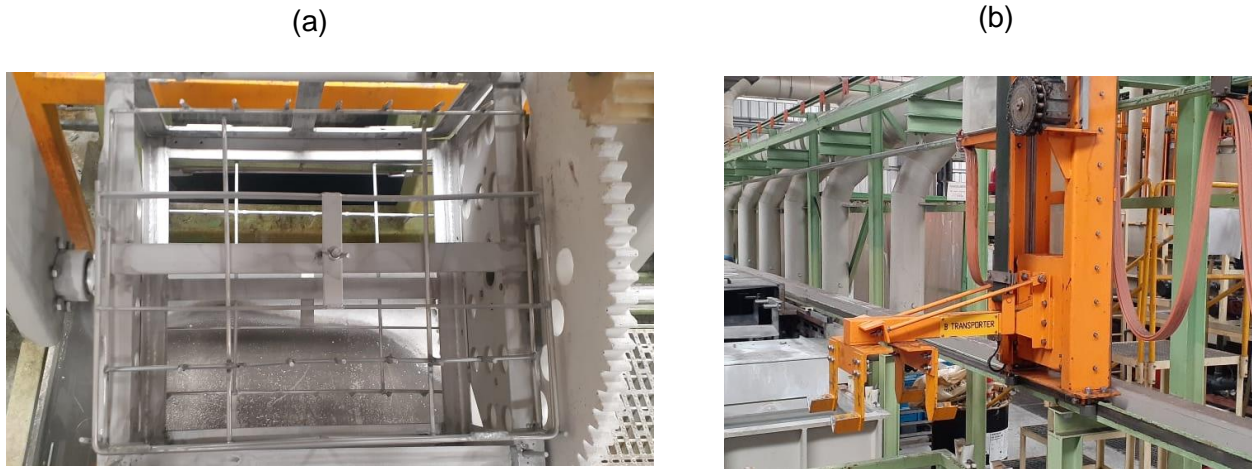
(b)



*Figura 15.- (a) Casete, estructura de alambre de acero inoxidable, donde se colocan en forma ordenada las piezas 6MA; y (b) pieza 6MA, pieza que se requiere aumentar su producción. Fuente: Elaboración propia.*

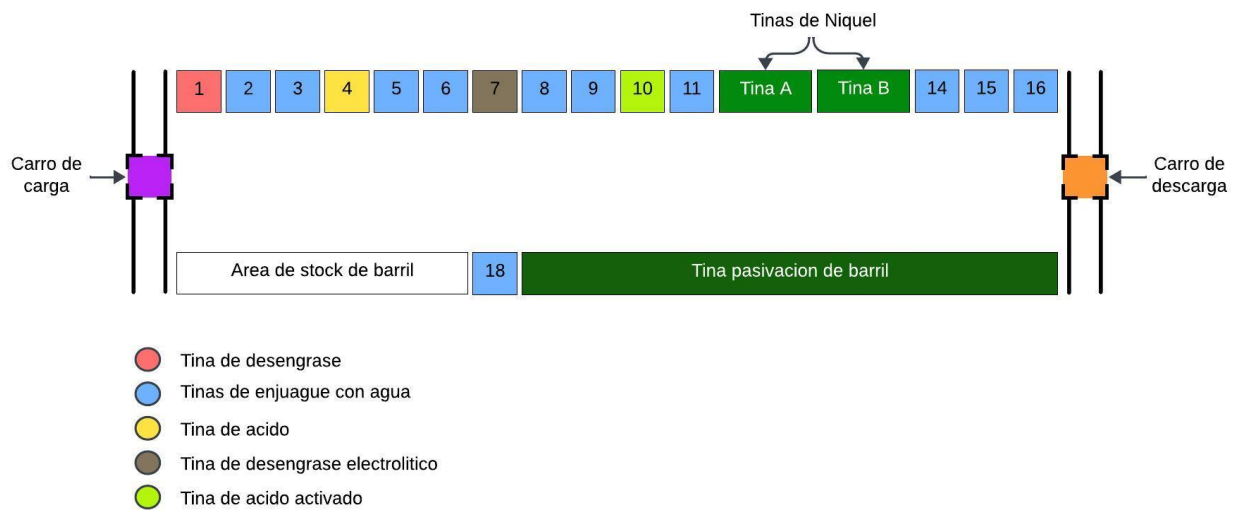
Estos casets son insertados dentro de los Barriles (Figura 16 a). El cual es guiado y controlado automáticamente por elevadores llamados Grúas (Figura 16 b). Este proceso

es automático y controlado por sensores, los cuales hacen que el proceso sea productivamente más eficiente previniendo errores humanos por control.



*Figura 16.- (a) Barril, estructura con solera de acero inoxidable con dimensiones específicas donde entra con facilidad los casets; y (b) Grúa mecánica que carga los barriles y los deposita de tina en tina según corresponda. Fuente: Elaboración propia.*

En esta máquina de galvanizado, solo se necesitan dos personas para concluir con este proceso, un(a) operador(a) en carga y otro(a) operador(a) en descarga. Este proceso cuenta con 18 tinas por donde pasan todos y cada uno de los barriles, teniendo en cuenta que de las 18 tinas que se presentan, 11 son tinas de enjuague que solo contienen agua limpia y así pasar a la tina próxima sin contaminación de las tinas anteriores. En el área de carga y descarga se encuentran separadas de extremo a extremo, como se muestra en el Lay-Out de la Figura 17.



*Figura 17.- Lay-Out de la línea en recubrimiento Níquel Electroless. Fuente: Elaboración propia.*

### **4.3.- Medición de tiempos en la línea de producción.**

Hacer una medición de tiempo ciclo en la línea Ni-EI, es necesario para saber cuánto tiempo duran las piezas en cada una de las tinas, tanto las que contienen químicos como las tinas de enjuague.

Para la recopilación de información tuve la necesidad de acudir con el encargado de la línea (Ni-EI) y pedir toda la información posible, principalmente los tiempos estandarizados por parte del área en Ingeniería. Los cuales se presentan en la Tabla 3.

	Minimo Seg.	Maximo Seg.
Desengrache	180	300
Enjuague 1	30	90
Enjuague 2	30	90
Lavado en acido	120	330
Enjuague 3	10	60
Enjuague 4	60	120
Desengrache electrolitico	270	320
Enjuague 5	40	60
Enjuague 6	20	30
Acido activado	35	45
Enjuague 7	190	210
Galvanizado en Níquel	180	1200
Enjuague 8	45	55
Enjuague 9	15	25
Enjuague 10	60	75
Total Seg.	1285	3010
Total Min.	21.42	50.17
Media Min.	35.79	

*Tabla 3.- Tiempos estándares que pasa un barril en cada tina. Fuente: Elaboración propia.*

Por otra parte, también investigue el tiempo que tarda en salir cada barril completo con (Piezas 6MA), en la información obtenida mediante cuestionarios hechos al operario en turno encargado de la línea (Ni-EI), cada 10 min sale un barril en el área de descarga con 40 piezas del 6MA teniendo en proceso 5 barriles llenos en las tinas. Teniendo en cuenta que cada barril contiene 40pz cada 10min se concluye que la producción de esta pieza es de 240 pizas por hora.

Al tener esta información nos damos cuenta que la cantidad de piezas galvanizadas por hora son mínimas para el requerimiento del siguiente proceso, lo cual nos muestra que este proceso necesita una mejora en cuanto a la producción y así aumentar el número de piezas galvanizadas por hora.

#### **4.4.- Investigar sobre la composición química.**

Realizar una investigación del recubrimiento Ni-El para tener un conocimiento previo a pruebas de nueva composición tanto química como térmica.

Al realizar la investigación en cuanto a la función y como es el proceso de galvanizado presentado anteriormente en el apartado del marco teórico aprendí cual es el funcionamiento de las tinas de recubrimiento de Níquel Electroless a lo cual encontré la información de las tinas y su composición química (Ver Tabla 4).

	Químicos Lit.	Cantidad Litros	Litros de agua	Capacidad de tina	Temperatura de tina	
					Minimo grados	Maximo grados
Desengraxe	32N	25	700	750	60	65
	32L	25				
Enjuague 1			750	750		
Enjuague 2			750	750		
Lavado en acido	Acido	122	628	750		
Enjuague 3			750	750		
Enjuague 4			750	750		
Desengraxe electrolitico	Pacuna A2	15	720	750		
	Sosa de escamas	15				
Enjuague 5			750	750		
Enjuague 6			750	750		
Acido activado	Acido	41	579	750	88	90
	Sulfato SEK0	90				
	Sulfato SEK1	40				
Enjuague 7			750	750		
Galvanizado en Níquel	Acido nitrico	320	430	750	40	42
Enjuague 8			750	750		
Enjuague 9			750	750		
Enjuague 10			750	750		
Tina de limpieza de barriles	Acido	1979	2021	4000	40	42

*Tabla 4.- Composición química y térmica de cada tina. Fuente: Elaboración propia.*

Con la información recabada sobre las temperaturas y soluciones me di una idea de lo que puedo hacer en base a estos estándares, el paso siguiente será hacer pruebas en recubrimiento de piezas, pero tomando en cuenta el porcentaje de la solución estaré haciendo pruebas en soluciones con tinas de menor cantidad, esto para no desperdiciar químicos agua y piezas.

Estas pruebas las hare en conjunto con la persona encargada en el área de laboratorio ya que tiene más y mejores conocimientos en cuanto a la composición química tanto como en las temperaturas y como afecta el reducir y disminuirlas y que efecto tienen en las piezas.

#### **4.5.- Hacer pruebas de recubrimiento.**

En base a la nueva composición química, se capturarán datos sobre los tiempos en cada una de las tinas.

Los cuales se hicieron medidas con un instrumento de calidad para medir el Sulfato (Figura 18 a) y el aparato de medición de Ph (Figura 18 b), Para el sulfato tiene que mostrar un valor de  $24.7 \pm 1$ , esto nos indica que puede ser un valor de entre 23.7 y 25.7 aproximadamente, mientras que los valores de Ph deben ser de  $4.7 \pm 0.05$ , esto significa que no debe ser menor a 4.65 ni mayor a 4.75.

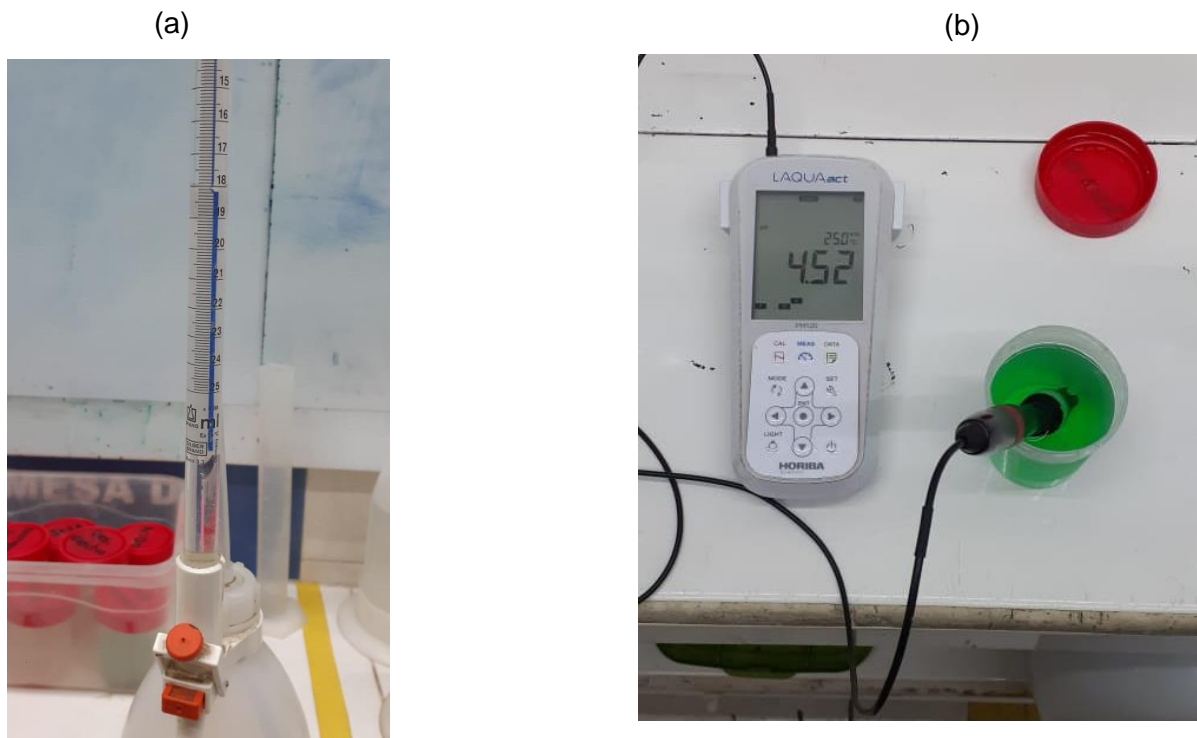


Figura 18.- (a) Medidor de Sulfato; y (b) Medidor de Ph. Fuente: Elaboración propia.

#### **4.6.- Comprobar factibilidad del recubrimiento.**

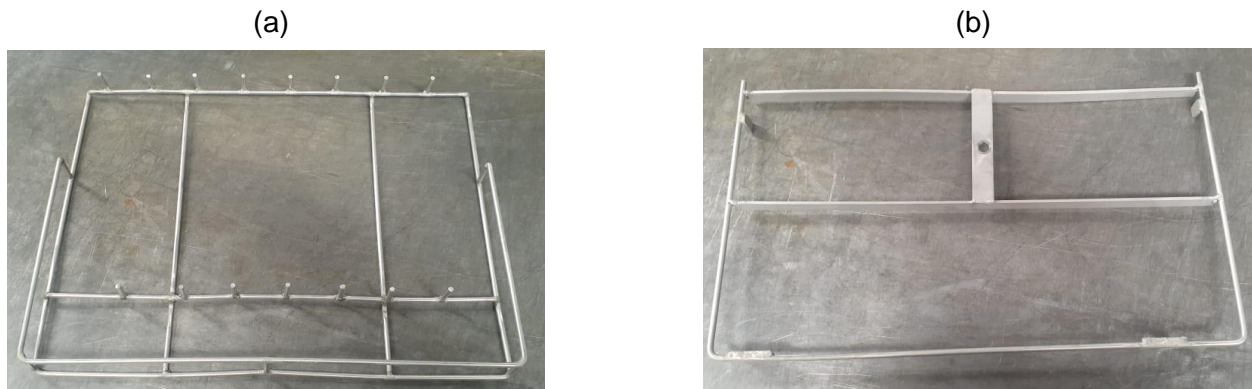
Con los resultados obtenidos mediante las pruebas con nueva composición química y térmica se verificará la aprobación y aplicación de estos resultados.

Todas y cada una de las evidencias apuntaban a que no era una función factible, en primera porque las partes de prueba que se realizaron para la galvanización se necesitaba una cantidad de 3 micras de espesor, las cuales no se lograron por falta de tiempo en líquido, aun así, tomando en cuenta que este tipo de mejora implica una inversión que requiere alto capital para lograrse lo cual por el momento no es factible aplicar.

#### **4.7.- Aplicar KAIZEN para un aumento de piezas por fuera de los barriles.**

Esto para que no afecte el interior de los barriles ni la producción actual, solo aumentar de piezas producidas.

Por ende, se tiene que buscar otra opción de mejora para cumplir con los requerimientos de producción para el siguiente proceso de recubrimiento, se tiene una opción b para aumentar la producción de cada barril, Esta cuenta con una parte inferior (Figura 19 a) y una exterior (Figura 19 b), la cual fija las piezas para evitar que se caigan las piezas.



*Figura 19.- (a) Parte inferior, (b) Parte exterior. Fuente: Elaboración propia.*



La cual durante el tiempo de pruebas en laboratorio se implementó la prueba de un barril el cual se le colocó en la parte externa un tipo de caset al cual se le puede colocar 7 piezas de 6MA ver (Figura 20).



*Figura 20.- Caset externo con capacidad de 7 piezas 6MA. Fuente: Elaboración propia.*

Este caset consiste en soltar un tornillo de 3 pulgadas (Figura 21), y alambrión de acero inoxidable para evitar la rotación, y así en la parte externa del barril para poderlo fijar y que en el transcurso del proceso en las tinas no causen un problema o falla de traslación.



*Figura 21.- Tornillo soldado en parte externa del barril con topes de seguridad para caset externo. Fuente: Elaboración propia.*

Dicho caset cuenta con la capacidad de 7 piezas, así mismo, este puede ser colocado por las dos extremidades del barril, lo cual quiere decir que la capacidad de piezas a galvanizar se puede aumentar de 40 a 54 Piezas.

Las pruebas demostraron que hay un aumento en la producción del 35%. Y se comprobó que en un turno de 8 horas seguidas hubo una producción de 2,592 piezas galvanizadas y antes de la mejora eran 1920 piezas galvanizadas,

**4.8.- Cronograma de actividades**

Actividades por Quincena	Ago-1a	Ago-2a	Sept – 1a	Sept – 2a	Oct – 1a	Oct-2a	Nov – 1a	Nov. – 2a	Dic-1a
Selección y definición del Proyecto									
Conocer el proceso de Níquel Electroless									
Medición de tiempos en la línea de producción									
Investigar sobre la composición química									
Hacer pruebas de recubrimiento									
Comprobar factibilidad del recubrimiento									
Aplicar KAIZEN para un aumento de piezas									

*Tabla 5.- Cronograma de actividades. Fuente: Elaboración propia.*

**CAPÍTULO 5: RESULTADOS**

**5.1.- Resultados**

A continuación, se muestra una tabla donde se evidencian los objetivos que se propusieron en la parte izquierda y por la parte derecha se adjuntan las evidencias de los resultados. Esto es dado a conocer principalmente para evidenciar los resultados adjuntando las evidencias, tanto de la producción como la utilización del caset externo.

En los resultados puedo concluir en que se logró la propuesta principal, la cual en un principio se quería llegar a una mejora en cuanto a la producción, dicho esto, a continuación, se presentan las evidencias en forma de tabla con una breve explicación por la parte izquierda.

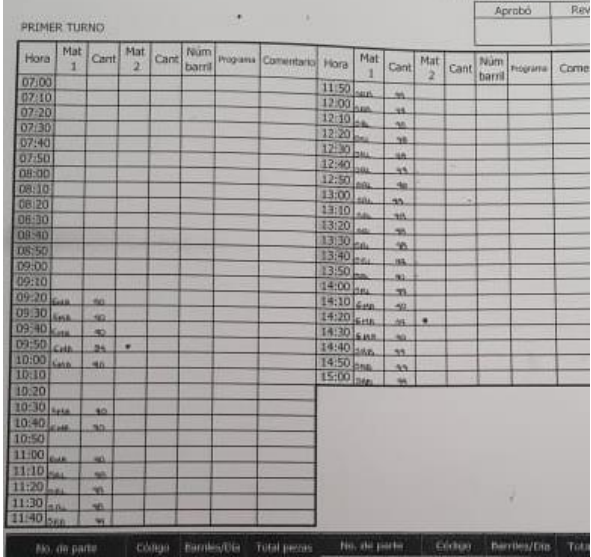
Objetivo Propuesto	Resultado Esperado
<p>Tabla de producción por cada 10 minutos, antes de la mejora.</p> <p>Con una cantidad de 12 barriles sin mejorar, concluyendo con una producción de 440 piezas galvanizadas.</p>	

Tabla de producción por cada 10 minutos, donde se utilizan 11 barriles con el caset externo.

Los 11 barriles modificados, se llenaron de material tanto de la parte interna como de la parte externa, concluyendo así con una producción de 594 piezas galvanizadas.

SEGUNDO TURNO

Hora	Mat 1	Cant	Mat 2	Cant	Núm barril	Programa	Comentario	Hora	Mat 1	Cant	Mat 2
15:10								20:00	594	594	
15:20								20:10	594	594	
15:30								20:20	594	594	
15:40								20:30	594	594	
15:50								20:40	594	594	
16:00								20:50	594	594	
16:10								21:00	594	594	
16:20								21:10	594	594	
16:30	594	594	*					21:20	594	594	
16:40	594	594	*					21:30	594	594	
16:50	594	594	*					21:40	594	594	
17:00	594	594	*					21:50	594	594	
17:10								22:00	594	594	
17:20								22:10	594	594	
17:30	594	594	*					22:20	594	594	
17:40	594	594	*					22:30	594	594	
17:50	594	594	*								
18:00	594	594	*								
18:10	594	594	*								
18:20	594	594	*								
18:30	594	594	*								
18:40	594	594	*								
18:50	594	594	*								
19:00	594	594	*								
19:10	594	594	*								
19:20	594	594	*								
19:30	594	594	*								
19:40	594	594	*								
19:50	594	594	*								

No. de parte    Código    Barriles/Día    Total piezas    No. de parte

Implementar la mejora de tipo KAIZEN para combatir la improductividad de piezas galvanizadas, fue la forma mas optima en cuanto a costos, ya que el costo fue mínimo y los resultados de producción son efectivos, teniendo veneficios con un 35% en cuanto a la producción.



## **CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES**

### **6.1.- Conclusiones del Proyecto**

En conclusión, la implementación de esta mejora usando mis conocimientos básicos de soldadura beneficiando a la maquinaria de recubrimiento en Níquel Electroless ha sido un éxito rotundo. El aumento del rendimiento en un 35% ha llevado a una producción notablemente mejorada, generando un promedio de 54 piezas cada 10 minutos.

Este logro no solo resalta la eficacia de las modificaciones realizadas mediante soldadura, sino también su impacto directo en la eficiencia operativa y la capacidad de producción de la máquina. Estos resultados no solo representan un avance significativo en términos de producción, sino que también demuestran el potencial y la importancia de implementar mejoras simples pero efectivas para optimizar los procesos industriales.

De igual forma no se requirió demasiado gasto en inversión ya que los artefactos exteriores se mandaron hacer con un proveedor que se dedica a hacer los casets de acero inoxidable.

## **CAPÍTULO 7: COMPETENCIAS DESARROLLADAS**

### **7.1.- Competencias desarrolladas y/o aplicadas.**

También fue una buena forma de estar en constante aprendizaje ya que en la elaboración de este proyecto estuve aprendiendo muchas cosas en esta empresa, una de ellas fue el funcionamiento poco dificultoso en el que se realiza este tipo de recubrimiento y para qué son necesarios, y así mismo en que beneficia tener una pieza recubierta en Níquel Electroless.

1.- Apliqué habilidades en soldadura esto gracias a que ya tenía un poco de conocimiento anterior sobre el tema.

2.- Gestioné eficientemente los recursos que se tenían para la elaboración de la mejora ya que no se desperdició material.

3.- Apliqué métodos cuantitativos y cualitativos en el análisis e interpretación de datos y modelado de sistemas en los procesos organizacionales, para la mejora continua, atendiendo estándares de calidad mundial.

4.- Apliqué conocimientos de producción y calidad en la elaboración de pruebas y mejoras constantes.

5.- Utilicé herramientas para la reparación de máquinas y artefactos de calidad e inspección, así como para el área de producción.

6.- Reparé racks, barriles, jigs y casets los cuales sirven para colgar y almacenar piezas metálicas directo a las líneas de recubrimiento.

## **CAPÍTULO 8: FUENTES DE INFORMACIÓN**

### **8.1.- Referencias de Libros**

R. L. Zeller III and L. Salvati Jr., "Effects of phosphorus on corrosion resistance of electroless nickel in 50% sodium hydroxide," *Corrosion*, vol. 50, no. 6, pp. 457–467, 1994.

R. Colin, "Electroless nickel plating, based on catalytic nickel precipitation according to the Kanigen process," *Galvanotech*, vol. 57, no. 3, pp. 158–167, 1966.

A. Brenner, "Nickel plating on steel by chemical reduction," *J. Res. NBS*, vol. 37, pp. 31–34, 1946.

M. Sribalaji, P. Arunkumar, K. S. Babu, and A. K. Keshri, "Crystallization mechanism and corrosion property of electroless nickel phosphorus coating during intermediate temperature oxidation," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 355, pp. 112–120, 2015. doi:10.1016/j.apsusc.2015.07.061.

## **8.2.- Referencias de Revistas**

R. C. Agarwala and V. Agarwala, "Electroless alloy / composite coatings," *Front. Mater. Sci.*, vol. 28, no. August, pp. 475–493, 2005.

S. S. Tulsi, "Properties of electroless nickel," *Trans. IMF*, vol. 64, no. 1, pp. 73–76, 1986.

R. Duncan, "The Metallurgical Structure of Electroless Nickel Deposits: Effect on the Coating Properties," *Plat. Surf. Finish.*, vol. 83, no. 11, pp. 65–69, 1996.



### **8.3.- Referencias de internet:**

*T. Osaka, M. Usuda, I. Koiwa, and H. Sawai, "Effect of phosphorus content of the magnetic and electric properties of electroless Ni-P film after heat treatment," Jpn. J. Appl. Phys., vol. 27, no. 10R, p. 1885, 1988.*

*D. Tachev, J. Georgieva, and S. Armyanov, "Magnetothermal study of nanocrystalline particle formation in amorphous electroless Ni-P and Ni-Me-P alloys," Electrochim. Acta, vol. 47, no. 1, pp. 359–369, 2001. doi:10.1016/S0013-4686(01)00587-4.*

*Nelson Gomes, Octavio Andrés González-Estrada, Alberto Pertuz, Electroless Nickel Phosphorous: a global visión, pp. 182, 2019.*

*K. S. Rajam, I. Rajagopal, S. R. Rajagopalan, and B. Viswanathan, "DSC, X-ray and magnetic studies on electroless Ni-P films grown in alkaline ethanolamine baths," Mater. Chem. Phys., vol. 33, no. 3–4, pp. 289–297, 1993. doi:10.1016/0254-0584(93)90077-Y.*

*I. Apachitei and J. Duszczyk, "Autocatalytic nickel coatings on aluminium with improved abrasive wear resistance," Surf. Coatings Technol., vol. 132, no. 1, pp. 89–98, 2000. doi:10.1016/S0257-8972(00)00864-1.*

## CAPÍTULO 9: ANEXOS

### 9.1.- Anexos



**TRIX INDUSTRIAL DE MEXICO S.A. DE C.V.**  
Municipio de Tepezalá No.106-A Parque Industrial del Valle de Aguascalientes  
San Francisco de los Romo, Aguascalientes, C.P.20329, México.

28 de agosto de 2023  
San Francisco de los Romo, Aguascalientes.

**Dr. JOSÉ ERNESTO OLVERA GONZÁLEZ**  
Director del programa académico  
Instituto Tecnológico de pabellón de Arteaga

**Dra. Julissa Elayne Cosme Castorena**  
Jefa del departamento de Gestión tecnológica y Vinculación

Asunto: Aceptación de Estadías

El motivo de esta carta es informarle de la Aceptación de las prácticas profesionales del Alumno **Javier Ulises Olvera Ponce** de Especialidad Ingeniería Industrial, con número de matrícula **191050261** las cuales estará realizando dentro de nuestra empresa **TRIX INDUSTRIAL DE MEXICO S.A. DE C.V.**

Dentro de nuestra empresa realizará actividades relacionadas con el mantenimiento de las líneas de producción, así como realizar sistemas de mantenimiento de dispositivos de carga. Cubriendo un total de 500 hrs. Durante el periodo de Agosto a Diciembre del 2023. Sin más por el momento reciba un cordial saludo de nuestra parte.

Atentamente,



Cp. Pablo Adame Avila  
Gerente de Administración

Trix Industrial de México S.A. de C.V.

Y-48