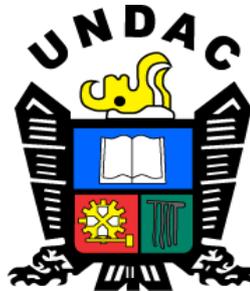


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



T E S I S

**Evaluación de la densidad de corriente en el cincado de los
aceros, Instituto José Pardo - 2021**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Metalurgia

Autora:

Bach. Blanca Rosa BAZÁN HIDALGO

Asesor:

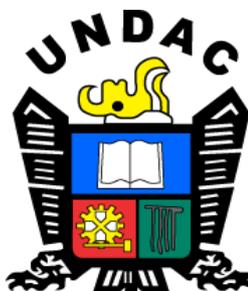
Mg. Eusebio ROQUE HUAMÁN

Cerro de Pasco – Perú – 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



T E S I S

**Evaluación de la densidad de corriente en el cincado de los
aceros, Instituto José Pardo - 2021**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

**Mg. Rebeca Hilda PEREZ BONILLA
PRESIDENTE**

**Dr. Ramiro SIUCE BONIFACIO
MIEMBRO**

**Mg. Manuel Antonio HUAMÁN DE LA CRUZ
MIEMBRO**

DEDICATORIA

A mi padre porque con su ejemplo me ha inspirado llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y perseverancia, de tener presente que Dios está siempre delante de mí.

AGRADECIMIENTO

Expreso mis reconocimientos a los centros de investigación del estado, Universidades y organizaciones dedicadas al cálculo de la determinación de la energía externa para evitar daños en las tuberías de sistemas de conducción para riego, que ayudaron a fundamentar de manera científica la presente investigación.

A mi asesor, por encaminar la investigación al nivel analítico haciendo uso de la estadística inferencial, a mis jurados por su interés de mejorar el proyecto y aportar con sus conocimientos al desarrollo de la presente investigación.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo general la evaluación de la eficiencia de la densidad de corriente con el cincado electrolítico de los aceros, y como objetivos específicos, determinar la concentración de la solución de electrolito que influye en el cincado de los aceros, determinar la variación de amperaje/cm² que afecta el cincado de los aceros y determinar el rendimiento catódico en el cincado de los aceros; la metodología típica como tipo de investigación explicativa, de diseño no experimental, donde la metodología que se emplea es el método analítico; cabe mencionar que se tuvo una muestra de 10 mediciones, una por cada concentración de cianuro de sodio (10g/L, 15g/L, 20g/L, 25g/L), haciendo un total de 40 datos, y estas por cada 0.5 A/dm² de densidad corriente eléctrica (0.5 A/dm²; 1.0 A/dm²; 1.5 A/dm²; 2.0 A/dm²), estos datos fueron recolectados luego de cada medición para su posterior análisis, el resultado que se obtuvo es que la media del espesor de recubrimiento de cinc para la densidad de corriente de 1.0 A/dm², no presenta diferencias significativas al 95% de confianza con los resultados de una densidad de corriente de 2.0 A/dm² y por otro lado si existen diferencias significativas entre las medias de recubrimiento al usar una densidad de corriente de 1.5 A/dm² con la de 0.5 A/dm². Por lo cual podemos indicar que es lo mismo utilizar la densidad de corriente de 1.0 A/dm² y 2.0 A/dm²

Palabra Clave: Recubrimiento, cincado electrolítico, densidad de corriente, cianuro de sodio

ABSTRACT

The present investigation has as general objective the evaluation of the efficiency of the current density with the electrolytic zinc plating of steels, and as specific objectives, to determine the concentration of the electrolyte solution that influences the zinc plating of steels, to determine the variation of amperage/cm² that affects the zinc plating of steels and determine the cathodic yield in the zinc plating of steels; the methodology typifies as explanatory research type, non-experimental design having a sample of 10 measurements in μm for each concentration of sodium cyanide g / L, making a total of 40 data, and these for each 0.5 A/dm² of electric current density, having as a result the thickness measured at density 2 with 0.5 and 1 present significant differences in the coating, however for 1.5 the Pearson correlation shows that there is no difference, which leads to conclude that the evaluation of the current density for 2 with 1 present the same coating thickness.

Keyword: Coating, electrolytic zinc plating, current density, sodium cyanide.

INTRODUCCIÓN

El cincado es uno de los procesos más utilizados en el acabado de metales y también es la técnica más rentable para garantizar una protección uniforme contra la corrosión, esta se utiliza especialmente para la protección del acero contra la corrosión en el caso de las aleaciones de zinc-níquel el recubrimiento protector brindan una buena durabilidad del acero, mejor aún que el cincado sólo (Mahmud et al., 2010), es conocido que el deterioro es cuando está en contacto continuo con el aire y la humedad.

El proceso de cincado puede encontrarse en una multitud de aplicaciones empezando por las puertas, sistemas de rejillas de techo y componentes de construcción, así mismo en la Industria de la automoción se localizan en las partes, componentes del motor, de la transmisión, de los frenos, llantas, tanques de combustible, accesorios, etc. Para protegerlos de la corrosión.

Actualmente existen varios tipos de baños para cincado electrolítico; con bajo, mediano y alto contenido de cianuro de sodio. La presente tiene la finalidad de evaluar la eficiencia de la densidad de corriente en el cincado electrolítico de los aceros, analizando la concentración de cianuro de sodio, la densidad de corriente sobre el óptimo rendimiento catódico además de las propiedades físicas del depósito como el brillo y adherencia.

El principio de la ley de Faraday nos permite controlar el proceso del recubrimiento electrolítico, teniendo en cuenta la primera ley de la termodinámica, hay que tener en cuenta, sin embargo, como en todos los procesos, un factor de gran importancia: el rendimiento. En los procesos de recubrimiento electrolíticos nos encontramos con un problema semejante: se consume un número determinado de amperios-hora, y según la ley de Faraday deben obtenerse depósitos de un peso determinado, sin embargo, si se pesa el depósito se encuentra que su peso, es menor que el calculado teóricamente

La disminución del rendimiento se debe en la mayoría de los casos al desprendimiento de gases o a la formación de otros compuestos que no tenga intervención en la formación del depósito. Los rendimientos anódicos y catódicos se ven afectados por una serie de factores que intervienen en el proceso tales como la densidad de corriente, la temperatura, la agitación y la composición química del electrolito. Es importante optimizar las condiciones mencionadas y así lograr los mayores rendimientos, ya que cuanto mayor sean estos, menor será la cantidad de energía eléctrica desperdiciada y más corto el tiempo de duración del proceso.

ÍNDICE

Pág.

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	
ÍNDICE DE FIGURAS	
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE ANEXOS	

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación.....	3
1.3.	Formulación del problema	4
1.3.1.	Problema principal	4
1.3.2.	Problemas específicos.....	4
1.4.	Formulación de Objetivos.....	5
1.4.1.	Objetivo General.....	5
1.4.2.	Objetivos específicos.....	5
1.5.	Justificación de la investigación.....	5
1.5.1.	Justificación Teórica	5
1.5.2.	Justificación Practica	5
1.5.3.	Justificación Social.....	6
1.5.4.	Justificación institucional.....	6
1.6.	Limitaciones de la investigación	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio	8
2.1.1.	Investigaciones Internacionales	8
2.1.2.	Investigaciones Nacionales.....	11
2.2.	Bases Teóricas – Científicas	12
2.3.	Definición de términos básicos	15
2.4.	Formulación de Hipótesis	17

2.4.1.	Hipótesis General	17
2.4.2.	Hipótesis Específicas.....	17
2.5.	Identificación de Variables.....	17
2.5.1.	Variable Independiente:	17
2.5.2.	Variable dependiente:.....	17
2.6.	Definición Operacional de variables e indicadores	17

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación.....	19
3.2.	Nivel de investigación.....	19
3.3.	Métodos de investigación	20
3.4.	Diseño de investigación.....	20
3.5.	Población y muestra	20
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	20
3.7.	Selección y validación y confiabilidad de los Instrumentos de Investigación... 22	
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	23
3.9.	Tratamiento Estadístico.....	23
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica	23

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo	24
4.1.1.	Instalación del equipo de recubrimiento electrolítico	24
4.1.2.	Preparación de probetas para el cincado.....	25
4.1.3.	Preparación de la solución electrolítica	25
4.1.4.	Condiciones del cincado	26
4.1.5.	Preparación de la superficie del acero	26
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados	26
4.2.1.	Concentración de NaCN en la solución electrolítica.....	26
4.2.2.	Efecto de la variación de la densidad de corriente	27
4.2.3.	Rendimiento catódico del cincado.....	30
4.3.	Prueba de Hipótesis	34
4.4.	Discusión de resultados	36

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación de la investigación	3
Figura 2. Ubicación de la investigación – vista aérea	4
Figura 3. Insumos de laboratorio.....	22
Figura 4. Proceso electrolítico.....	22
Figura 5. Equipo de electrodeposición para el cincado	25
Figura 6. Probetas de láminas de acero.....	25
Figura 7. Resultados de la densidad de corriente a 0.5 Amp/dm ²	28
Figura 8. Resultados de la densidad de corriente a 1	28
Figura 9. Resultados de la densidad de corriente a 1,5	29
Figura 10. Resultados de la densidad de corriente a 2,0 Amp/dm ²	30
Figura 11. Fotografía tomada con el microscopio antes del recubrimiento	33
Figura 12. Fotografía después del recubrimiento	33
Figura 13. Gráfica de distribución normal.....	35

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Coordenadas UTM de ubicación	4
Tabla 2. Matriz de operacionalización de las variables	18
Tabla 3. % Rendimiento Catódico	26
Tabla 4. Efecto de la variación de la densidad de corriente	27
Tabla 5. Rendimiento catódico concentración de CNNa 10g/L.....	31
Tabla 6. Rendimiento catódico concentración de CNNa 15g/L.....	31
Tabla 7. Rendimiento Catódico concentración de CNNa 20g/L.....	32
Tabla 8. Rendimiento catódico concentración de CNNa 25 g/L.....	32
Tabla 9. Prueba de rendimiento catódico en el cincado	34
Tabla 10. Análisis de varianza	34
Tabla 11. Comparaciones múltiples	35

INDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: Matriz de Consistencia.....	41
Anexo 2: Declaración Jurada y la carga horaria.....	42
Anexo 3: Horario de clases del semestre 2020-II especial - Turno día.....	43
Anexo 4: Procedimiento de la calibración de la balanza.....	45
Anexo 5: Guía de clase.....	47
Anexo 7: Materiales de laboratorio.....	52
Anexo 8: Ajuste de la intensidad de corriente	52
Anexo 9: Rectificador de corriente	53

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

Las aleaciones de zinc – níquel tienen fundamental importancia tecnológica para la industria automotriz y electrodomésticos. El primer problema con el que nos encontramos al iniciar el estudio de los recubrimientos de estas aleaciones, fue definir las condiciones del proceso para la obtención de un producto de calidad con un acabado (brillante, nivelado, compacto).

Las estructuras contienen elementos comunes como el acero por su costo económico, sin saber que está se expone a una corrosión prolongada, tanto la humedad, el medio ambiente, temperaturas y el contacto con diversos aditivos activos; que afecta considerablemente a su ciclo de vida.

De ahí la necesidad de emplear tratamientos superficiales a los aceros para darles propiedades especiales como: el recubrimiento que sirve para fortalecer su resistencia y prolongar la vida útil de estos materiales lo que genera una demanda creciente, el empleo de una capa protectora como estañar y otros que son de menor costo, unas placas de acero el plateado cobreado requieren

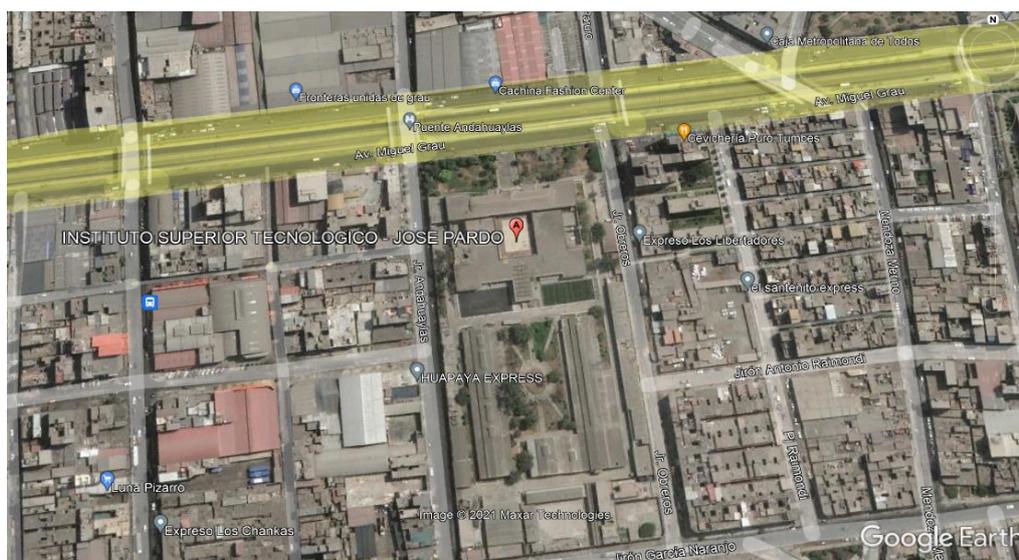
de horno de presión en ellos ocurre aleaciones como el latón que son los elementos que conforman los tratamientos especiales.

A menudo el recubrimiento de piezas desgastadas como las partes mecánicas del parque automotor requiere de la mejora de estas técnicas, el recubrimiento que implica un procedimiento empezando con la preparación de la pieza, electrometalurgia, energía eléctrica, el alcalino cianuro de sodio y el empleo del abrillantador para mejorar el acabado.

Las aleaciones de níquel y zinc como recubrimiento brindan mayor protección lo que implica el mejoramiento del desempeño de los materiales que se recubren, también los aditivos ayudan en gran medida a mejorar el acabado, presentando mayor resistencia a diversos factores ambientales, es de conocimiento que su textura incrementa la comercialización avanzando en gran medida la técnica de la electrodeposición, también en todo este proceso el estudio de la intensidad de corriente es de vital importancia por qué influye en la cobertura y las características morfológicas de la pieza metálica, abriendo camino para el estudio de diversas aleaciones que son productos de la reacción electrolítica con o sin aditivos.

La actividad de la presente investigación es el estudio de la densidad de corriente que es uno de los parámetros del proceso de la electrodeposición, para obtener un buen rendimiento anódico y catódico, así optimizar el proceso, disminuir el tiempo del proceso, disminuir las pérdidas de energía que contribuyen en la contaminación ambiental; es muy importante regular y ajustar los parámetros del proceso; en los laboratorios del Instituto Superior Tecnológico José Pardo, a través de cálculos matemáticos de corriente según la ley de Faraday y el espesor como su aplicación de la cobertura, lo que conlleva a tener como producto el uso de los recubrimientos de objetos metálicos y sus aleaciones, concerniente al servicio esta impacta en

Figura 2. Ubicación de la investigación – vista aérea



Nota: Google Earth

La presente investigación se ubica según tabla 1 en coordenadas UTM para su localización geográfica.

Tabla 1. Coordenadas UTM de ubicación

COORDENADAS DE
UBICACIÓN
UTM X: 279475.6
UTM Y: 8666089.1

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema principal

¿Cómo se comporta la eficiencia de la densidad de corriente en el cincado de los aceros, Instituto José Pardo – 2021?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cómo la concentración de la solución de electrolito influye en el cincado de los aceros?
- ¿Cómo la variación del amperaje/cm² afecta el cincado de los aceros?

- ¿Cómo es el rendimiento catódico en el cincado de los aceros?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia de la densidad de corriente en el cincado de los aceros, Instituto José Pardo -2021.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de la solución de electrolito que influye en el cincado de los aceros.
- Determinar la variación de amperaje/cm² que afecta el cincado de los aceros.
- Determinar el rendimiento catódico en el cincado de los aceros.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación Teórica

La presente investigación se basa en las leyes de Faraday, esta rige el comportamiento de la electrólisis ya que estas son fórmulas que expresan de manera cuantitativa las cantidades depositadas en los electrodos y en la ionización de la transformación de energía eléctrica a química.

1.5.2. Justificación Practica

La factibilidad comerciable el zinc por su bajo costo económico, la creciente demanda del mercado automotriz, estos son procesos en caliente y en frío electrolíticos, y de acuerdo a la necesidad de su empleo también ayudan al medio ambiente al ser resistentes al desgaste, generando pocos residuos metálicos y se mencionó en el planteamiento del problema su composición en gran medida están hechos de zinc, el galvanizado que presenta mayor duración en los usos cotidianos de la humanidad y con la creciente tecnología eléctrica; en los vehículos autónomos el empleo de los minerales como el zinc, cobre y litio se convierten en los estudiados en la actualidad.

1.5.3. Justificación Social

Con este tratamiento superficial o recubrimientos reducimos la contaminación ambiental, al reutilizar piezas desgastadas con el procedimiento electrometalúrgico prolongando la vida útil; su mercado de utilidad se encuentra en los electrodomésticos, generando seguridad por su resistencia al desgaste y corrosión, según su tratamiento y uso específico.

1.5.4. Justificación institucional

La presente investigación indica la eficiencia del proceso del tratamiento superficial de los aceros, se optimiza con la evaluación de la intensidad de corriente que es uno de los parámetros del proceso.

1.6. Limitaciones de la investigación

La presente investigación se limita contextualmente al cincado o recubrimiento de piezas desgastadas en el parque automotor, sin embargo para el uso de las prácticas como resultados de esta investigación, empleamos placas de acero que se recubren con granos de zinc y níquel mediante la electrolisis; otra limitante como es sabido, esta tecnología industrial presenta grandes avances en la fabricación de los Aceros y otros materiales comerciales, también por falta de equipos electrónicos disponibles en el Instituto Tecnológico Superior José Pardo, con la finalidad de medir la calidad a nivel de espesor por medio de rayos X y hornos específicos que prueban medir la resistencia a la humedad temperatura y otras condiciones ambientales, que están inmersas estas piezas con relación metálicas, con relación a la resistencia de estos materiales no se dispone de las pruebas de ensayos destructivos de tal manera que se infiere según tablas mostradas en la bibliografía explorada y adjunta en la presente.

Las limitaciones de la presente investigación en el instituto son referentes al factor económico debido a que no hubo un respaldo con los recursos materiales para la ejecución del proyecto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Investigaciones Internacionales

Mahmud et al. (2010) en su artículo de investigación, titulado “Efecto de los aditivos en el desempeño de los recubrimientos de Zinc- Níquel” se traza como objetivo Evaluar el efecto de los diferentes aditivos en el contenido de níquel en la microestructura de los depósitos de Zinc y níquel, conllevando a identificar la importancia de este estudio radica en las características que tienen material con estas propiedades durabilidad soldabilidad y resistencia contra la corrosión en general dado que la resistencia a la corrosión de las aleaciones de zinc-níquel con un incremento del contenido de níquel con un máximo entre el 8 al 15%, hace que los aditivos en el baño de electrodeposición mejore el aspecto de la superficie generando un abrillantamiento por consiguiente su desempeño a la corrosión, emplea una metodología para probar la resistencia con unas chapas con zinc y sin níquel en las cámaras de humedad a 40°C teniendo como indicador la corrosión blanca y su evaluación es con y sin aditivo, siendo esta es la sacarina para el estudio, como resultado el contenido del níquel es

proporcional a la calidad del recubrimiento en cuánto al desempeño contra la corrosión, concluyendo que las muestras con aditivo duraron por lo menos 100 horas más que las muestras en ausencia de esta.

Mahmud et al. (2009) en una exposición menciona que el objetivo es correlacionar las texturas y la corrosividad de electro depósitos de cincado obtenidos en distintas condiciones de operación influenciadas por la temperatura y el tiempo de deposición, obteniendo un resultado de la respuesta galvanos tática típica sin aditivo entre los 10 y 20 mAcm⁻², y una media de 15 mA cm⁻², también se considera las condiciones de la deposición de zinc para una densidad de corriente de 20 mA cm⁻², lo que implica la obtención de la influencia a la temperatura una muestra sin aditivo a 20 mAcm⁻², llegando a la conclusión que los depósitos de zinc con una alta intensidad en la textura de los planos basales presentan mayor resistencia a la corrosión.

Ávila y Osorio (2016) en su tesis titulada “Propuesta de tratamiento para los residuos sólidos generados durante el proceso de cincado de la Empresa recubrimientos galvánicos de Colombia”, menciona como objetivo el tratamiento de residuos sólidos peligrosos provenientes de la empresa Recubrimientos Galvánicos, emplea un procedimiento por inmersión en caliente a piezas metálicas, en este caso con zinc, el recubrimiento proporciona una excelente protección frente a la corrosión, debido a que reacciona con el hierro o el acero para formar una serie de capas de aleación sobre la superficie, esta es sumergido en un baño de zinc fundido a 450°C, ya que para evitar que se produzcan imperfecciones en el galvanizado, es necesario retirar de la superficie la capa de óxido de zinc que se forma y que también contiene restos de sales (cenizas de zinc). Para eliminar el zinc sobrante tras el galvanizado, las piezas pequeñas se sacuden o centrifugan en tambores o cestos; mientras que para las piezas grandes el zinc sobrante se extrae mediante vibración, concluyendo

que los residuos generados durante el decapado se deben disponer a una empresa autorizada para su correspondiente manejo, debido a que estos residuos contienen altas cantidades de zinc.

Mahmud et al. (2010) en su artículo científico titulado “efecto de la textura de electro depósitos de zinc en acero sobre su resistencia a la corrosión” menciona como objetivo de estudio a los depósitos de zinc se realizaron simulando las condiciones industriales de temperatura, tiempo y densidad de corriente, utilizando soluciones de electrodeposición de $ZnCl_2 + NH_4Cl$ en presencia y ausencia de tiourea, tiempos de electrodeposición bajos, los cincados obtenidos desarrollan una textura (1,0,3) y las densidades de corriente de corrosión son altas también se encontraron que, en depósitos de zinc, el refinamiento de grano mejora la resistencia contra corrosión por la técnica combinada de corriente pulsante más aditivo cumarina. El procedimiento de electro depósitos en una celda con electrodos enfrentados en diferentes condiciones de proceso, consiste en la aplicación de una corriente entre ánodo de cinc y cátodo de acero de modo de fijar un valor de la densidad de corriente de 20 mAcm^{-2} en la chapa para diferentes tiempos de cincado, llegando a la conclusión; mantener tanto la corriente como el potencial estacionario en la muestra durante el tiempo de la experiencia y asegurar que no se aplique una corriente tan alta durante la electrodeposición de manera tal, que la evolución sea a un valor tan alto del potencial.

Mahmud y Gordillo (2017) en un informe técnico titulado “Técnicas de electro analítica de superficie utilizadas para el cincado en medio ácido” menciona como objetivo principal el análisis de la facilidad de los procesos fisicoquímicos que se ocurren en la superficie para el cincado en medio ácido, de este modo se logra una mejor protección del electrodo de trabajo y se evitan medidas incorrectas de la densidad de corriente durante el proceso de

electrodeposición, En cuanto a la conductividad, la misma se incrementa mucho, con el agregado de NH_4Cl o de NaCl a soluciones de ZnCl o ZnSO_4 y según M. R. Thompson “se pueden utilizar altas densidades de corriente, sin que los depósitos sean rugosos o quemados”. Como resultado se aplicó un potencial constante de -0.65 V y se registró la densidad de corriente en función del tiempo. Se tomó registro amplio de tiempos a fin de llegar a tener valores de densidad de corriente estables, en algunos casos, se aplicaron muy altas velocidades de barrido, para conseguir amplificar las densidades de corriente de pico de disolución, en la inversión. Debido a que una alta velocidad de barrido, disminuiría apreciablemente los tiempos en la deposición y en la disolución.

2.1.2. Investigaciones Nacionales

Rivas y Toro (2007) en su tesis “Influencia de la densidad de corriente y concentración de cianuro de sodio sobre el rendimiento catódico y el espesor de capa depositada durante el cincado alcalino del acero ASTM a 36” presenta como objetivo: Evaluar la concentración de cianuro de sodio y densidad de corriente sobre el espesor de capa depositada y el rendimiento catódico; la cual menciona que se trabajó con un rango de concentración de 10, 15, 20, 25 g/l de cianuro de sodio, manteniéndose constantes las concentraciones de NaOH (45 g/l) y ZnO (15 g/l), y densidades de corriente de: 0,5; 1; 1,5; 2 A/dm^2 , resultando en las pruebas experimentales el uso ánodos de cinc electrolítico (99,99%) contenidos en una cuba, a la cual se le suministró corriente continua desde una fuente en el rango de 0 - 3 Amperios y 0 - 6 voltios. Los resultados experimentales nos muestran que para una concentración de cianuro de sodio de 15 g/l y una densidad de corriente de 2 A/dm^2 se logra obtener un rendimiento catódico óptimo de 88.18% y que en las mismas condiciones se logró obtener un espesor de capa depositada óptimo de 15.23 μm . Llegando a la conclusión de ampliar los conocimientos acerca de cincado alcalino, estudiando la

concentración de cianuro de sodio, densidad de corriente sobre el rendimiento catódico; además de las características del depósito (brillo y adherencia), también en el acero ASTM A 36 los rendimientos anódicos y catódicos se ven afectados por una serie de factores tales como la densidad de corriente, la temperatura, la agitación y la composición química del baño, cabe mencionar que el rango de densidad de corriente catódica aplicada para proteger al acero ASTM A-36 es de 36.395 a 53.186 mA/m², llegando a la conclusión que la mejor condición para obtener un rendimiento catódico óptimo es de 15 g/l de concentración de cianuro de sodio y una densidad de corriente de 2 A/dm².

Por las falencias en cuanto a presupuesto económico que tiene El Instituto Tecnológico José Pardo no existen proyectos de investigación con respecto a la optimización de los parámetros del proceso de la electrodeposición debido al bajo presupuesto económico del Instituto José Pardo.

2.2. Bases Teóricas – Científicas

2.2.1. Densidad de Corriente

Definición: La densidad de corriente eléctrica se define como una magnitud vectorial que tiene unidades de corriente eléctrica por unidad de superficie, es decir, intensidad por unidad de área. Su incremento de esta, generalmente aumenta la polarización de concentración (Rivas y Toro, 2007), Su aplicación se da en la solución de electrodeposición, el aditivo o los aditivos en las concentraciones utilizadas, la agitación, la temperatura, su unidad es amperio por metro cuadrado (A/m²), está también modifica el contenido de Ni % para el caso de la solución, sin aditivo, o con aditivo en la concentración utilizada (Mahmud y Alanis, 2009).

Obteniendo rendimientos anódicos y catódicos y es el encargado de lograr un espesor de capa depositada, siendo su influencia directa a parte de la temperatura, la agitación y la composición química del baño, conviene utilizar

densidades de corriente bastante elevadas. Por otra parte, la densidad de corriente influye sobre el grano del metal depositado (Rivas y Toro, 2007).

2.2.2. Dimensiones

Solución de electrodeposición

La deposición galvanostática obtenida a diferentes densidades de corriente en presencia de $5 \cdot 10^{-5}$ M de tiourea agregada a la solución de electrodeposición de: ZnCl_2 0,3M + NH_4Cl 4,2M I = 5,1M. pH 4 (Z. Á. Mahmud et al., 2010). Esta contiene aditivos que influncian en las propiedades físicas y mecánicas de los recubrimientos metálicos (Mahmud y Alanis, 2009). En muchos estudios se utilizaron soluciones concentradas por ejemplo la solución: 0,3 M ZnCl_2 + 4,2 M de NH_4Cl de pH = 4 (Mahmud y Gordillo, 2017).

Concentración de cianuro de sodio

En el estudio de la influencia de la densidad de corriente y concentración de cianuro de sodio sobre el espesor de capa depositada, los resultados experimentales nos muestran que para una concentración de cianuro de sodio de 15 g/l y una densidad de corriente de 2 A/dm^2 se logra obtener un rendimiento catódico óptimo de 88.18% y que en las mismas condiciones se logró obtener un espesor de capa depositada óptimo de $15.23 \mu\text{m}$ (Rivas y Toro, 2007).

Rendimiento catódico

El rendimiento de la transformación de la energía eléctrica en trabajo útil sobre el cátodo (depósito) se denomina rendimiento catódico. La disminución del rendimiento de esta se debe en la mayoría de los casos al desprendimiento de gases o a la formación de otro cualquier compuesto que no tenga intervención en la formación del depósito (Rivas y Toro, 2007).

$$R_c = \frac{\text{Metal depositado efectivamente}}{\text{Metal calculado segun equivalente electroquimico}}$$

2.2.3. Influencia de los diversos factores que controlan el recubrimiento

Influencia del pH

En medios ácidos el galvanizado no es el método adecuado de protección. La razón es que el recubrimiento de zinc es atacado con facilidad por los medios cuyo pH sea inferior a 5,5.

El zinc tolera mucho mejor los álcalis que los ácidos. El acero galvanizado se comporta bien en medios moderadamente alcalinos. El límite máximo de alcalinidad recomendable es el correspondiente a pH 12,5. El problema, muchas veces, es conocer la alcalinidad real del medio en el que vaya a trabajar el material galvanizado.

Influencia de la Temperatura

Un incremento de la temperatura del baño de 450°C a 480°C, afecta la morfología de las capas galvanizadas, las cuales adquieren apariencia de grietas en la estructura de las capas.

Influencia de la agitación

Las dos razones por las que la mezcla es fundamental son: a) la homogeneidad de las concentraciones de los componentes en solución (sales precipitadas, iones, aditivos, tampones, partículas) y b) la uniformidad de la concentración del sedimento.

Influencia de la composición del baño

Se ha encontrado que la composición química del baño de galvanoplastia afecta las propiedades microestructurales de los recubrimientos y su comportamiento corrosivo. La resistencia a la corrosión de los recubrimientos de zinc se mejora agregando al tanque elementos que normalmente son más activos que el zinc, como magnesio o aluminio, lo que permite la formación de capas pasivas que ralentizan el proceso de corrosión (Hernández y Suárez, 2020).

2.2.4. Cincado de los aceros

Definición: Es el recubrimiento de una pieza de metal con un baño de zinc para protegerla de la oxidación y la corrosión, mejorando además su aspecto visual (Ávila y Osorio, 2016), en esta operación son medidas las texturas y corrosividad de electrodepositos de cincado.

Dimensiones

Espesor: Se define como el grosor del recubrimiento, que por lo general esta es medido por fluorescencia de rayos X y su unidad es en micrometros (um), en gran mayoría de estudios el espesor de capa depositada es materia de análisis, también es definido por la capa depositada en el cincado del acero.

2.3. Definición de términos básicos

La electrólisis. Cuando se hace pasar una corriente eléctrica por una solución de un ácido, de una base o de una sal se comprueba que se produce una descomposición química de dicha solución.

Mucha más importancia tiene la polarización catódica, que es tanto mayor cuanto más elevada es la densidad de corriente. en todo proceso electrolítico, la naturaleza de la superficie real, con la que la densidad de corriente real es menor de la calculada. Sobre la base de la superficie geométrica.

La galvanostática. Es una técnica que consiste en la aplicación de una corriente constante entre el electrodo de trabajo y el contraelectrodo, se mide y registra el potencial que adopta el electrodo de trabajo respecto del electrodo de referencia como una función del tiempo.

Galvanizado. Al realizarse una adecuada secuencia de las operaciones unitarias anteriormente mencionadas, permite que el zinc fundido reaccione químicamente con la superficie de acero de una pieza sumergida, produciendo en la interfase capas de Zn-Fe de composición y espesor variable. La parte

externa de la superficie de la pieza tendrá la misma composición que la del baño de zinc, si la reacción ha sido controlada adecuadamente.

El acero quirúrgico. Es una variación del acero que comúnmente se compone de una aleación de cromo (12–20%), molibdeno (0,2–3%) y, en ocasiones, níquel (8–12%). El cromo le da a este metal su resistencia al desgaste y corrosión. El níquel le da un acabado suave y pulido. El molibdeno le da mayor dureza y ayuda a mantener la agudeza del filo (Wikipedia, 2021).

Aceros de medio carbono El acero de medio carbono es tratado de forma térmica, y es más resistente que el acero de bajo carbono, aunque su diferencia principal con este yace en la capacidad de moldearse en alambre e hilos de acero sin que estos se rompan. Es utilizado en la manufactura de piezas que necesitan de una resistencia mecánica superior a la que ofrecen los aceros comunes, además de que también tiene un excelente desempeño sin desgaste, lo que lo lleva a tener aplicaciones en componentes mecánicos de uso constante (Aceropedia, 2022).

Preparación superficial del cátodo Cualquiera sea el tipo de recubrimiento que se seleccione, debe tenerse en cuenta que la acción de la física, la reacción o la difusión y reacción con el metal de base, serán dependientes de la limpieza que ofrezca la superficie del metal base para con el agente de recubrimiento. Es por ello necesario cumplir, previo a la aplicación del recubrimiento.

Limpieza son las etapas de preparación superficial del cátodo pulido, desengrase, decapado.

Pulido crea una superficie similar a un espejo en metales opacos mediante la eliminación selectiva de partículas específicas de la superficie exterior de la pieza (cátodo) de trabajo.

Desengrase Es la eliminación de la grasa que permite más fácil y rápido proceso de decapado, eliminando el ataque más profundo de material de base.

Decapado por este proceso se eliminan los óxidos que pudieran recubrir al metal base. En el caso particular del acero, además, las cascarillas de laminación.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

Al evaluar la eficiencia de la densidad de corriente se produce un buen rendimiento catódico del cincado de los aceros, Instituto José Pardo - 2021.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- Existe una relación directa en la solución de la electrodeposición con el recubrimiento de los aceros.
- Existe una relación directa entre la concentración de cianuro de sodio con el recubrimiento de los aceros.
- Existe una relación directa entre el rendimiento catódico con el recubrimiento de los aceros.

2.5. Identificación de Variables

De acuerdo a nuestra investigación de la evaluación de la densidad de corriente en el cincado de los aceros, Instituto José Pardo -2021, podemos desprender dos variables que son:

2.5.1. Variable Independiente:

Densidad de corriente

2.5.2. Variable dependiente:

Cincado de los aceros

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

La presente tabla se fundamenta en las bases teóricas originando los objetivos específicos de la presente investigación, mencionando los instrumentos requeridos para cada variable de estudio a fin de alcanzar el objetivo principal.

Tabla 2.*Matriz de operacionalización de las variables*

Variable	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
		Solución de electrodeposición	Concentración del electrolito g/l	Vasos de precipitación, balanza
Densidad de corriente	Flujo de la corriente en una superficie	Concentración de cianuro de sodio	Concentración g/l	Vasos de precipitación, balanza
		Rendimiento catódico	Porcentaje de masa depositada en el cátodo	Balanza
Cincado de los aceros		Recubrimiento	Espesor (um)	Microscopio Electrónico de barrido MEB (metalográfico)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación para el presente estudio fue descriptiva y explicativa de relación, por la misma razón que explicará los hechos y fenómenos que se investiga respecto a las variables de estudio, sus características. Es descriptiva porque en un inicio se busca especificar las cualidades de la concentración de cianuro de sodio con la densidad de corriente y su influencia en el recubrimiento de los aceros, o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis (Hernández y Mendoza, 2018).

3.2. Nivel de investigación

Según Valderrama (2017), el nivel de investigación se clasifica según su naturaleza o profundidad, el nivel de una investigación se refiere al grado de conocimiento que posee el investigador en relación con el problema, hecho o fenómeno a estudiar. De igual modo cada nivel de investigación emplea estrategias adecuadas para llevar a cabo el desarrollo de la investigación, en nuestro caso el nivel de nuestra investigación es de un nivel simple

3.3. Métodos de investigación

Por la naturaleza de la investigación se emplea el método analítico, porque consiste en descomponer el problema general de estudio separando en cada una de sus partes para estudiar en forma individual, como se menciona en los objetivos.

Previo a la aplicación del método científico que es la que emplea en la presente, debe ocurrir el proceso de la medición del espesor de la capa de ozono para proceder con la adquisición de datos de los niveles de incidencia de los rayos ultra violeta y esta conlleva a la formulación del problema, hipótesis, verificación, análisis y conclusión de la presente (Áreas, 2006).

3.4. Diseño de investigación

El diseño es experimental, explicativo, ya que se basa en las características que muestra, para nuestro caso son los reportes de los instrumentos de medición generados por las corridas en el laboratorio y de esta manera se infiere el comportamiento de la población.

3.5. Población y muestra

Población: Por su parte Hernández citado en Castro (2003), expresa que "si la población es menor a cincuenta (50) individuos, la población es igual a la muestra" (p. 69). Lo señalado por este autor.

Muestra: Consta de 40 datos correspondiente al rendimiento del cátodo en el proceso de electrodeposición, siendo un muestreo intencional no probabilístico.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica empleada es la observación realizando el siguiente procedimiento.

- Preparación de limpieza de la pieza.

- Pulido: Después de una limpieza superficial se realiza un pulido o desbastado para ayudar a quitar las impurezas del cátodo a recubrir.
- Desengrase: Se utilizó 7g de cianuro de sodio, 5 g de hidróxido de sodio, diluidos en un litro de agua; en esta etapa se elimina los residuos de grasa, aceites u otros productos de la manipulación en la etapa de mecanizado.
- Decapado: Se hizo un decapado electrolítico, utilizó 150 cc de ácido sulfúrico, cianuro de sodio 4 g, diluidos en un litro de agua; sirve para quitar el óxido e impurezas del cátodo.
- Enjuague: Se realizó en agua para eliminar los residuos de la solución ácida del decapado.
- Neutralizado: Se utilizó 40 g de ácido sulfúrico diluidos en un litro de agua, se sumergió el cátodo, para quitar los reactivos químicos que aún quedan en el cátodo.
- Enjuague: Se realizó para eliminar cualquier residuo que podría haber quedado en el cátodo.
- Preparación del electrolito.

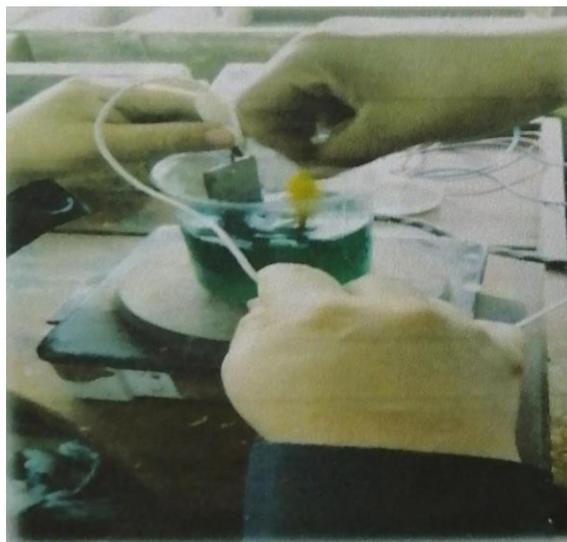
Respecto a los insumos como los materiales para la práctica del cincado se mencionan a continuación:

- Cianuro de sodio en concentraciones (CN Na) de 10g/L, 15g/L, 20g/L, 25g/L.
- Hidróxido de sodio Na(OH) 65g/L
- Óxido de zinc ZnO 15g/L
- CYTRAS NC 5g/L
- Ánodo de zinc 99,99%
- Densidad de corriente 0.5A/dm², 1A/dm², 1,5A/dm², 2A/dm².
- Temperatura ambiente.

Figura 3. Insumos de laboratorio



Figura 4. Proceso electrolítico



3.7. Selección y validación y confiabilidad de los Instrumentos de Investigación

Respecto a la selección de los instrumentos, no fue necesario emplear la estadística inferencial, mucho menos opiniones de expertos, por la naturaleza física de las variables, conllevando a ser uso de los reportes de los instrumentos

plasmados en una ficha de observación, para el rectificador de corriente, la balanza y la celda electrolítica.

Respecto a la validación del instrumento de la presente investigación, se justifica en la sección de anexos el Procedimiento validado de calibración de la balanza, mecanismo que corrobora el desempeño del recubrimiento de los aceros, mayor información ver anexo 3.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Técnica de procesamiento empleo del software SPSS importando los datos del Excel y emplear los estadísticos paramétricos de correlación.

Se va a utilizar la prueba para diferencia de medias de varios grupos en nuestro caso para la concentración de la solución de NaNCN de 10g/l, 15g/l, 20g/l y 25g/l para cada información de la densidad de corriente cada uno con su respectivo recubrimiento del acero.

3.9. Tratamiento Estadístico

El tratamiento estadístico se realizar con la prueba de análisis de varianza Anova con un factor ya que es un estudio transversal con muestras independientes con más de dos grupos.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

Sincero que las pruebas relacionadas al cincado mencionadas en la presente se realizaron en el Laboratorio del Instituto Tecnológico Público José Pardo de la Ciudad de Lima, también menciono que es completamente inédito, y se dio en cumplimiento a la carga horaria designada a mi persona en el año 2020, para mayor evidencia se adjunta carga académica en el anexo 2, con ello una declaración Jurada donde declaro bajo juramento que el trabajo fue realizado por mi persona.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

Antes de realizar las pruebas para el cincado de los aceros, se tuvo que preparar los materiales e instalar el equipo de recubrimiento electrolítico, teniendo en cuenta los objetivos específicos del estudio.

4.1.1. Instalación del equipo de recubrimiento electrolítico

En el instituto José Pardo contamos con este equipo de recubrimiento metálico, siendo principalmente el rectificador de corriente que nos va permitir realizar el control de la densidad de corriente, además se cuenta con celdas de 15cmx10cmx8cm para la adición de la solución electrolítica.

Estos componentes se tuvieron que instalar con fuentes de alimentación a la celda mediante dos caimanes para la línea positiva y negativa respectivamente.

Figura 5. *Equipo de electrodeposición para el cincado*

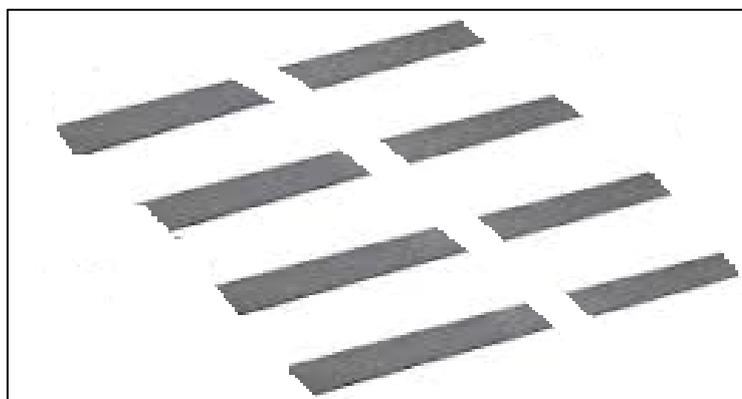


4.1.2. Preparación de probetas para el cincado

Las probetas para la prueba electrolítica se obtuvieron de láminas de acero de 0,18% carbono. Estas probetas se cortaron de 2.5 cm x 8 cm, siendo el espesor de 2mm.

A continuación, presentamos las probetas para las pruebas de cincado en laboratorio.

Figura 6. *Probetas de láminas de acero*



4.1.3. Preparación de la solución electrolítica

Se preparó el NaCN a diferentes concentraciones, siendo de la siguiente manera 10, 15, 20 y 25 g/l. Con estas concentraciones se va realizar las pruebas de cincado, para evaluar la concentración ideal de operación del cincado del acero. En la operación de cincado se mantiene constante las concentraciones de NaOH 45 g/l y ZnO 15 g/l, y densidades de corriente de 0,5; 1; 1,5 y 2 A/dm².

4.1.4. Condiciones del cincado

Respecto a los insumos como los materiales para la práctica del cincado se mencionan a continuación:

- Cianuro de sodio en concentraciones (CNNa) de 10g/L, 15g/L, 20g/L, 25g/L.
- Hidróxido de sodio Na(OH) 65g/L
- Óxido de zinc ZnO 15g/L
- CYTRAS NC 5g/L
- Ánodo de zinc 99,99%
- Densidad de corriente 0.5A/dm², 1A/dm², 1.5A/dm², 2A/dm².
- Temperatura ambiente.

4.1.5. Preparación de la superficie del acero

Este proceso consistió en la limpieza de la superficie de la probeta de acero, que se realizó mediante el decapado con solución electrolítica de soda caustica.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Concentración de NaCN en la solución electrolítica

Realizada las pruebas experimentales a continuación tenemos la tabla .

Tabla 3. % Rendimiento Catódico

N° Pruebas	Conc NaCN g/L	DC Amp/dm ²	% rendimiento Catódico
1	10	0,5	87,45
2	10	1,0	85,47
3	10	1,5	80,50
4	10	2,0	87,32
5	15	0,5	86,31
6	15	1,0	86,84
7	15	1,5	82,49
8	15	2,0	86,52
9	20	0,5	73,73
10	20	1,0	87,89
11	20	1,5	86,49
12	20	2,0	83,71
13	25	0,5	50,04
14	25	1,0	89,86
15	25	1,5	82,13
16	25	2,0	79,81

A una concentración de 25 g/L del CNNa se obtiene un rendimiento catódico de 89,86%

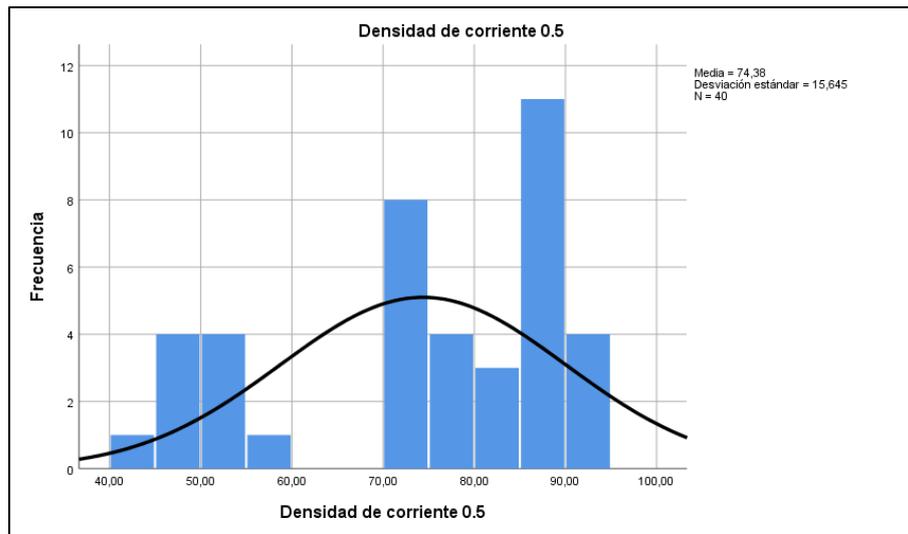
4.2.2. Efecto de la variación de la densidad de corriente

A continuación, se observa el efecto de variación de la densidad de corriente.

Tabla 4. *Efecto de la variación de la densidad de corriente*

N° Prueba	Conc g/l	Amperaje/dm²	%rendimiento catódico
1	10	0,5	87,75
2	10	1	85,47
3	10	1,5	80,50
4	10	2	87,32
5	15	0,5	86,31
6	15	1	86,84
7	15	1,5	82,49
8	15	2	86,52
9	20	0,5	73,73
10	20	1	87,89
11	20	1,5	86,49
12	20	2	83,71
13	25	0,5	50,04
14	25	1	89,86
15	25	1,5	82,13
16	25	2	79,81

Figura 7. Resultados de la densidad de corriente a 0.5 Amp/dm²

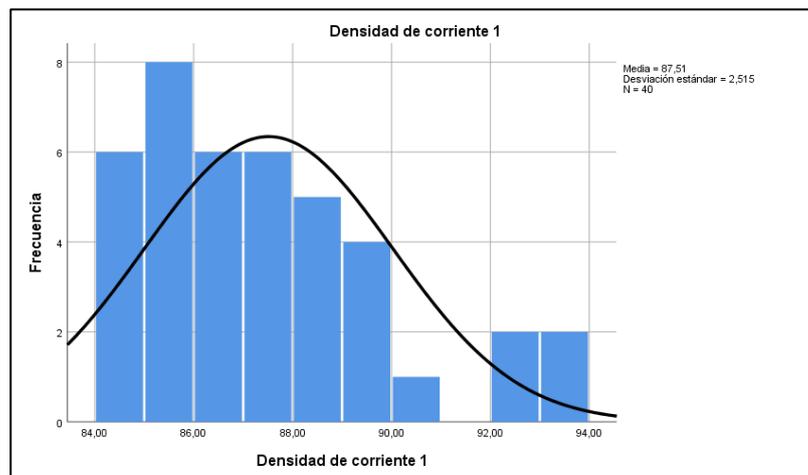


Nota. La figura muestra el comportamiento de la densidad de corriente

Interpretación:

Para el caso de la densidad de corriente a 0.5 A/dm² los datos de la muestra presenta un comportamiento en las condiciones de la concentración de cianuro de sodio, entre (10 – 25) gramos por litro, un recubrimiento promedio de 74,38um, pero con una dispersión del 15,64 um, tambien mencionar que se pudo tener un rendimiento superior a 90 um, y esto se da para valores de (10 a 15) g/L de cianuro.

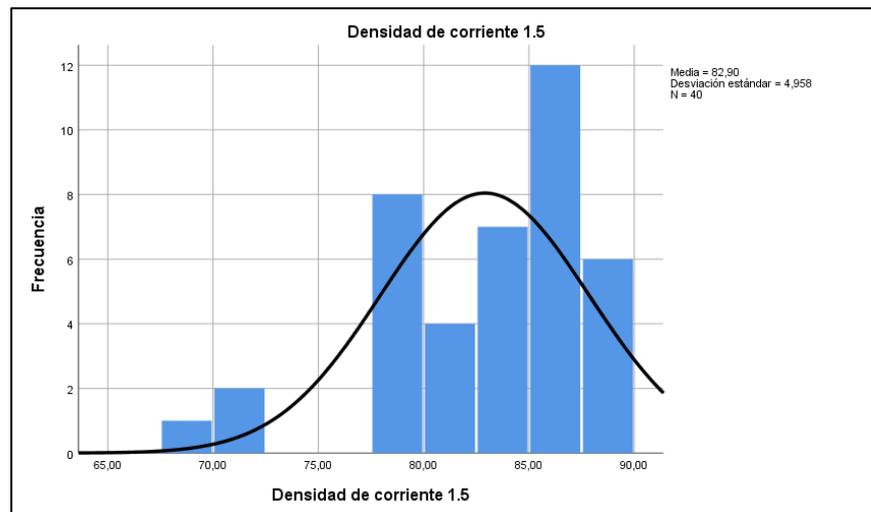
Figura 8. Resultados de la densidad de corriente a 1



Interpretación:

Los resultados muestran que para una densidad de corriente de 1 A/dm² la cobertura del recubrimiento no supera de 88 μ m, la mayor cantidad de resultados en promedio 87,5 con una dispersión de 2,5 como muestra el gráfico, cabe mencionar que estos análisis obedecen a las mismas condiciones ambientales descritos líneas arriba.

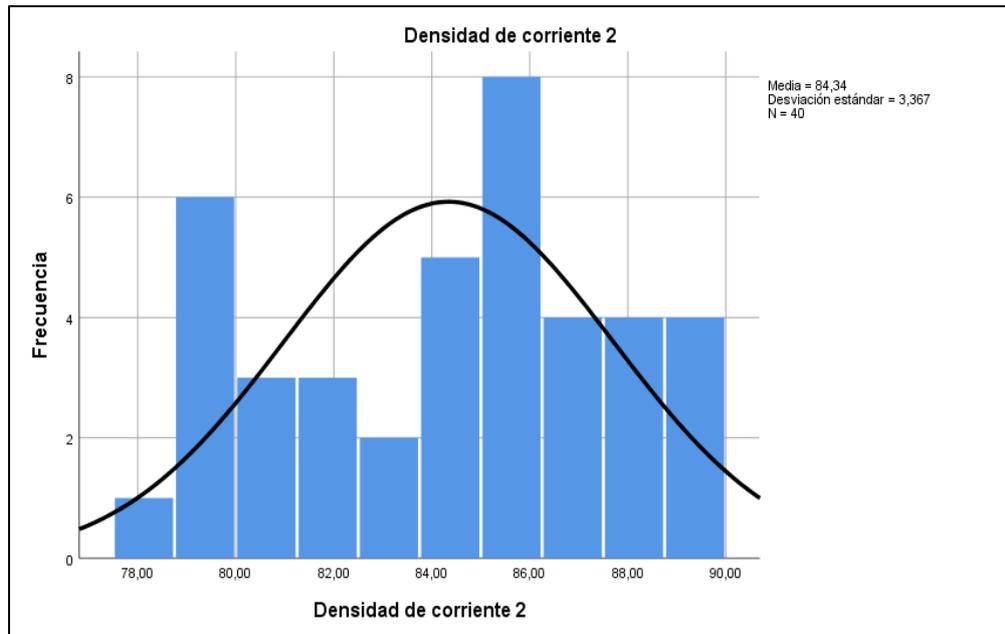
Figura 9. Resultados de la densidad de corriente a 1,5



Interpretación:

Para una densidad de corriente de 1,5 A/dm² la cobertura de las piezas de acero se concentran entre (85 a 90) micrómetros, presentando el gráfico una media de 82,9 con una dispersión de 4,9, por lo que podemos decir que en estas condiciones se eleva el rendimiento del proceso.

Figura 10. Resultados de la densidad de corriente a 2,0 Amp/dm²



Nota: la figura muestra el comportamiento de la densidad de corriente

Interpretación:

Para la densidad de corriente de 2 A/dm² el comportamiento es uniforme, obteniendo valores de recubrimiento de la pieza de acero entre (78 – 90) micrómetros, con un promedio de 84,34 y una dispersión de 3,36, cabe mencionar qué se tiene una frecuencia mayor para el intervalo 86 um, y estas se dan para para las mismas condiciones ambientales y de concentración de cianuro de sodio.

4.2.3. Rendimiento catódico del cincado

De las pruebas realizadas a diferentes amperajes/dm², se presenta las tablas del rendimiento catódico.

Tabla 5. Rendimiento catódico concentración de CNNa 10g/L

RENDIMIENTO CATÓDICO (%)					
N° prueba	CONCENTRACIÓN DE CIANURO DE SODIO g/L	DENSIDAD DE CORRIENTE A/dm²			
		0,5	1	1,5	2
1	10 g/L	89,50	84,23	68,44	84,23
2	10 g/L	78,97	84,23	89,5	89,5
3	10 g/L	94,76	84,23	84,23	89,5
4	10 g/L	92,3	85,2	81,24	86,53
5	10 g/L	91,35	85,42	71,37	87,69
6	10 g/L	82,8	84,99	71,74	85,43
7	10 g/L	89,26	85,95	85,07	88,76
8	10 g/L	90,13	86,97	87,92	87,74
9	10 g/L	85,57	85,59	78,51	88,55
10	10 g/L	79,83	87,92	86,93	85,29

Nota. Datos tomados de las pruebas de cincado (2020).

Como se observa en la tabla 5, trabajando con 10g/l y con 0,5 Amp/dm², se tiene un rendimiento catódico de 94.76% para un tiempo de deposición de 25 min.

Tabla 6. Rendimiento catódico concentración de CNNa 15g/L

RENDIMIENTO CATÓDICO (%)					
	CONCENTRACIÓN DE CIANURO DE SODIO g/L	DENSIDAD DE CORRIENTE A/dm²			
		0,5	1	1,5	2
	15 g/L	86,87	84,23	84,23	84,23
	15 g/L	89,5	89,5	86,87	89,5
	15 g/L	84,23	86,87	78,97	86,87
	15 g/L	84,38	87,03	86,46	88,46
	15 g/L	86,05	85,05	83,13	84,89
	15 g/L	85,3	87,61	80,06	85,18
	15 g/L	88,5	88,66	85,15	87,27
	15 g/L	87,16	85,73	79,41	87,12
	15 g/L	85,62	87,18	79,99	85,82
	15 g/L	85,48	86,56	80,61	85,85

Como se observa en tabla 6, trabajando con densidades de (0,5-1) A/dm² se obtiene un rendimiento catódico sobre los 89%, para un tiempo de deposición de 25 minutos.

Tabla 7. Rendimiento Catódico concentración de CNNa 20g/L

RENDIMIENTO CATÓDICO (%)				
CONCENTRACIÓN DE CIANURO DE SODIO g/L	DENSIDAD DE CORRIENTE A/dm²			
	0,5	1	1,5	2
20 g/L	71,95	89,5	87,74	84,23
20 g/L	71,95	85,99	88,46	80,72
20 g/L	77,22	87,74	84,23	85,99
20 g/L	72,58	86,44	85,11	85,7
20 g/L	72,85	88,5	86,01	84,88
20 g/L	73,84	87,7	87,39	83,2
20 g/L	76,18	88,76	84,42	81,83
20 g/L	74,08	86,85	87,92	85,44
20 g/L	73,1	88,84	87,51	82,89
20 g/L	73,56	88,54	86,06	82,21

Como podemos ver en la tabla 7 trabajando con una densidad de 1 A/dm² se obtiene un rendimiento catódico sobre los 89% para un tiempo de deposición de 25 minutos.

Tabla 8. Rendimiento catódico concentración de CNNa 25 g/L

RENDIMIENTO CATÓDICO (%)				
CONCENTRACIÓN DE CIANURO DE SODIO g/L	DENSIDAD DE CORRIENTE A/dm²			
	0,5	1	1,5	2
25 g/L	44,75	86,87	86,87	77,65
25 g/L	46,07	84,23	82,92	78,97
25 g/L	55,28	93,45	77,65	81,6
25 g/L	48,34	89,83	86,16	79,62
25 g/L	53,03	92,18	82,33	79,8
25 g/L	45,21	85,88	78,46	79,13
25 g/L	54,83	93,37	77,72	80,93
25 g/L	54,96	92,66	77,76	80,99
25 g/L	51,93	89,2	86,53	79,66
25 g/L	46,04	90,91	84,89	79,79

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede ver en tabla 8 trabajando con una densidad de 1 A/dm² Obtenemos un rendimiento catódico sobre los 93.45%.

Las figuras 11 y 12 muestran la textura de la pieza antes y después respectivamente del recubrimiento.

Figura 11. *Fotografía tomada con el microscopio antes del recubrimiento*

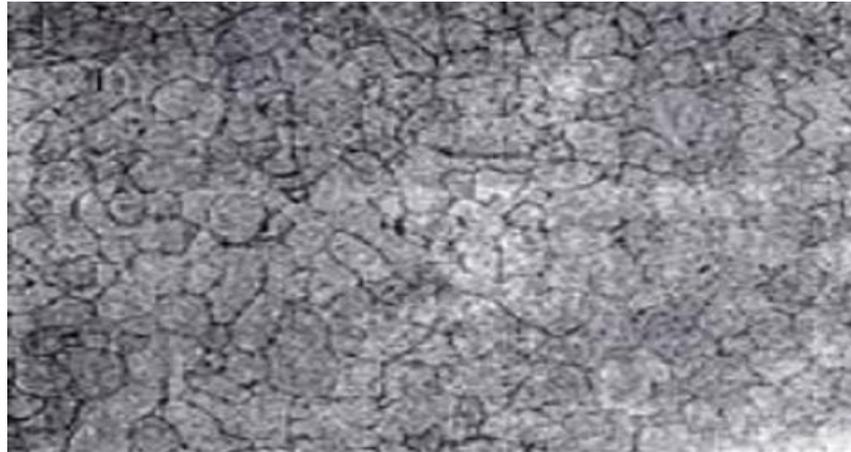
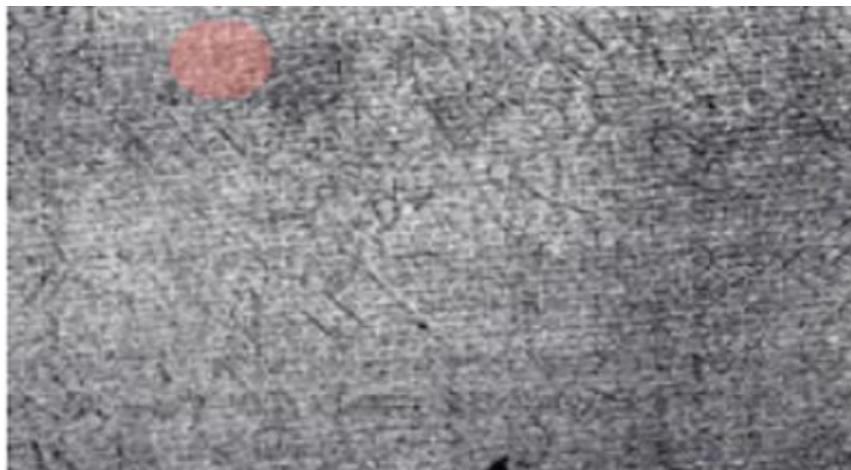


Figura 12. *Fotografía después del recubrimiento*



La presentación se ordena en tablas, su análisis es mediante gráficos y para su interpretación de resultados se hace uso de los estadígrafos generados por el software estadístico SPSS V25.

Los resultados de la presente investigación se muestran en la tabla 3, lo cual se refleja en la figura 4, en esta se aprecia el comportamiento de la densidad de corriente con el nivel de recubrimiento de la pieza de acero.

4.3. Prueba de Hipótesis

Hipótesis Nula (Ho)

La eficiencia de la densidad de corriente no produce un buen rendimiento catódico del cincado de los aceros, Instituto José Pardo – 2021.

Hipótesis alterna (Ha)

La eficiencia de la densidad de corriente produce un buen rendimiento catódico del cincado de los aceros, Instituto José Pardo - 2021

Para hacer la prueba de hipótesis hacemos uso del diseño aleatorizado por bloques completos

Tabla 9. Prueba de rendimiento catódico en el cincado

Densidad de corriente	Concentración de NaCN g/L			
	10	15	20	25
0.5	86.31	73.73	73.73	50.44
1.0	86.42	87.88	87.89	89.86
1.5	82.46	86.49	86.49	82.13
2.0	86.52	83.71	83.71	79.81

Nivel de significancia

$\alpha=0.05$

Estadístico de prueba

Tabla 10. Análisis de varianza

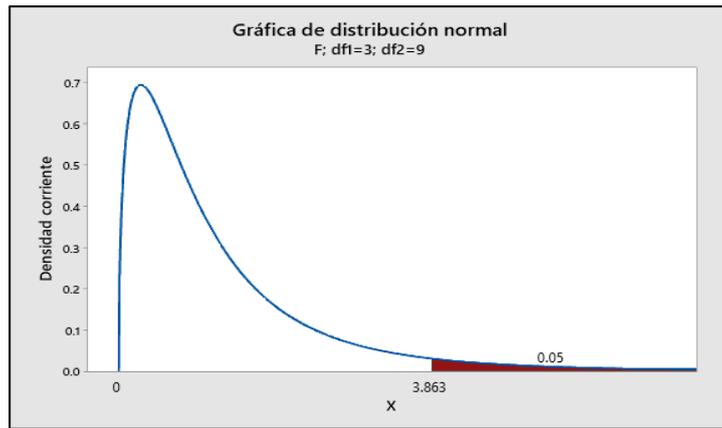
Fuente	SC Ajust.	GL	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Densidad Corriente	653.9	3	217.98	3.93	0.048
Conc. NaCN	218.9	3	72.98	1.31	0.329
Error	499.5	9	55.50		
Total	1372.4	15			

Regla de decisión

(Si $P > \alpha$ se acepta la Ho) (Si $P < \alpha$ se rechaza la Ho)

$P = 0,048 < \alpha = 0,05$ o $F_o = 3,93 > F_t = 3,863$

Figura 13. Gráfica de distribución normal



Decisión

Se acepta la hipótesis alterna

Conclusión

Existe suficiente evidencia para afirmar que la evaluación de la densidad de corriente influye en el cincado de aceros, Instituto José Pardo – 2021, con un nivel de significancia del 5 %.

Tabla 11. Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Rendimiento catódico							
Games-Howell							
(I) Densidad de Corriente	(J) Densidad de Corriente	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
0.5 A/dm2	1 A/dm2	-13,1320*	2,50542	,000	-19,8405	-6,4235	
	1.5 A/dm2	-8,51650*	2,59491	,010	-15,4291	-1,6039	
	2 A/dm2	-9,95825*	2,53028	,002	-16,7227	-3,1938	
1 A/dm2	0.5 A/dm2	13,13200*	2,50542	,000	6,4235	19,8405	
	1.5 A/dm2	4,61550*	,87906	,000	2,2901	6,9409	
	2 A/dm2	3,17375*	,66445	,000	1,4263	4,9212	
1.5 A/dm2	0.5 A/dm2	8,51650*	2,59491	,010	1,6039	15,4291	
	1 A/dm2	-4,61550*	,87906	,000	-6,9409	-2,2901	
	2 A/dm2	-1,44175	,94759	,430	-3,9368	1,0533	
2 A/dm2	0.5 A/dm2	9,95825*	2,53028	,002	3,1938	16,7227	
	1 A/dm2	-3,17375*	,66445	,000	-4,9212	-1,4263	
	1.5 A/dm2	1,44175	,94759	,430	-1,0533	3,9368	

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

4.4. Discusión de resultados

En la investigación de Rivas y Toro (2007), los resultados en las pruebas experimentales el uso ánodos de cinc electrolítico (99,99%) contenidos en una cuba a la cual se le suministró corriente continua desde una fuente en el rango de 0 - 3 Amperios y 0 - 6 voltios. estos nos muestran que para una concentración de cianuro de sodio de 15 g/l y una densidad de corriente de 2 A/dm² se logra obtener un rendimiento catódico óptimo de 88,18% y que en las mismas condiciones se logró obtener un espesor de capa depositada óptimo de 15,23µm, sin embargo, en nuestros resultados, el mayor rendimiento catódico en las pruebas de laboratorio se obtuvo un 94,76% a una concentración de 10g/l de cianuro de sodio y a una densidad de corriente de 0,5 A/dm², también para 2 A/dm² y 15 g/l de cianuro, el rendimiento obtenido es de 89.5%.

Comparando con la investigación de Mahmud et al. (2009) con su resultado a la respuesta de los galvanostática típica sin aditivo entre los 10 y 20 mA/cm², y una media de 15 mA/cm², se considera las condiciones de la deposición de zinc para una densidad de corriente de 20 mA/cm², lo que implica evidencia la influencia de la temperatura en una muestra sin aditivo a 20mA/cm², sin embargo en nuestro estudio el proceso de cincado al adicionar el Aditivo CYTRAS NC no influye en el proceso el depósito del zinc al cátodo a diferentes densidades, pero se obtiene mejor apariencia en la superficie en el cátodo.

CONCLUSIONES

Se concluye que:

La eficiencia de la densidad de corriente produce un buen rendimiento catódico del cincado de los aceros, ya que este proceso se hace más eficiente optimizando los parámetros de trabajo de la densidad de corriente, la temperatura, el tiempo, la concentración del electrolito de los cuales en este proyecto tomamos en cuenta solo la densidad de corriente y la concentración del cianuro de sodio, dejando las otras variables constantes. Cabe mencionar que el control de estos parámetros depende la eficiencia del proceso, reducción de la pérdida de energía, disminución de la contaminación ambiental, por lo tanto, los resultados serán más óptimos.

Además, podemos indicar que existe una relación directa en la solución de la electrodeposición con el recubrimiento de los aceros debido a que de acuerdo a cada solución de electrodeposición existe otra medida de recubrimiento.

Además, podemos indicar que existe una relación directa de la concentración de cianuro de sodio con el recubrimiento de los aceros, debido a que, de acuerdo a cada concentración de cianuro de sodio existe otra medida de recubrimiento.

Además, podemos indicar que existe una relación directa entre el rendimiento catódico con el recubrimiento de los aceros, debido a que de acuerdo a cada rendimiento catódico existe otra medida de recubrimiento.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que:

Para la solución de la electrodeposición en el recubrimiento de los aceros es necesario utilizar una densidad de 0,5 A/dm², siendo así menor la pérdida de energía en el proceso.

En la concentración de cianuro de sodio en el recubrimiento de los aceros se debe tener en cuenta que a menor concentración del cianuro de sodio tenemos el mayor rendimiento catódico.

En el rendimiento catódico, el recubrimiento de los aceros se debe medir, el peso de la masa depositada a fin de optimizar los parámetros que influyen en el proceso, como son: la densidad, la concentración del electrolito, la temperatura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avila Beltran, A., & Osorio Serna, L. F. (2016). Propuesta de tratamiento para los residuos sólidos generados durante el proceso de cincado de la Empresa recubrimientos galvánicos de Colombia [Fundación Universidad de América]. In FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA. <https://doi.org/10.1093/mp/ssn092>
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación: las tres rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. In Mc Graw Hill (Vol. 1, Issue Mexico). http://www.mhhe.com/latam/sampieri_mi1e
- Hernández, J., Suárez, M. (2000). Efecto de la composición química del baño en la microestructura y resistencia a la corrosión de los recubrimientos de zinc por inmersión en caliente. *Revista de Ciencia y Tecnología*. Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”. Núm. 23, pp. 40-52. DOI: <https://doi.org/10.17163/ings.n23.2020.04>
- Mahmud, Z. Á., Mingolo, N., & Gordillo, G. (2010). Efecto de la textura de electrodepositos de zinc en acero sobre su resistencia a la corrosión. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 1(3), 15–25. http://www.exeedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/
- Mahmud, Z., & Alanis, I. (2009). Efecto de los aditivos en el desempeño de los recubrimientos de Zinc- Níquel. Asociación Argentina de Materiales. http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/revista/2_2009/contenido.htm
- Mahmud, Z., & Gordillo, G. (2017). Técnicas de electroanalítica de superficie utilizadas para el cincado en medio ácido. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/exactamente/document/technicalreport_n00023

- Mahmud, Z., Mingolo, N. y Gordillo, G. (2009). Texturas en cincados-Técnica Galvanostática-Resistencia a la corrosión. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31183.69285>
- Rivas Tineo, O. J., & Toro Quiñones, F. A. (2007). Influencia De La Densidad De Corriente Y Concentración De Cianuro De Sodio Sobre El Rendimiento Catódico Y El Espesor De Capa Depositada Durante El Cincado Alcalino Del Acero Astm a 36. Lexus, 4(None), 37.
- Ruiz Padilla, J. A. (2006). Recubrimientos electrolíticos aplicados a prácticas del laboratorio de tratamientos superficiales de procesos de producción mecánica. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2426>
- Wikipedia. (2021). Acero quirúrgico - Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Acero_quirúrgico

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

TITULO: Evaluación de la densidad de corriente en el cincado de los aceros, Instituto José Pardo -2021

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	MUESTRA	DISEÑO	ESTADISTICA
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	V.I	Población	Método	
¿De qué manera la densidad de corriente es más eficiente en el cincado electrolítico de los aceros, Instituto José Pardo - 2021?	Evaluar la eficiencia de la densidad de corriente con el cincado electrolítico de los aceros, Instituto José Pardo - 2021	La eficiencia de la densidad de corriente produce un buen rendimiento catódico del cincado de los aceros, Instituto José Pardo - 2021	Densidad de corriente	Observaciones del laboratorio	Inductivo deductivo	- Estadística Inferencial
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	V.D	Muestra	Nivel de investigación	Validación de hipótesis
¿Cuál es la concentración de la solución del electrolito en el recubrimiento de los aceros?	Determinar la solución de la electrodeposición en el recubrimiento de los aceros	Existe una relación directa en la solución de la electrodeposición con el recubrimiento de los aceros			Correlacional	Pruebas no paramétricas
¿Cuál es la concentración de cianuro de sodio en el recubrimiento de los aceros?	Determinar la concentración de cianuro de sodio en el recubrimiento de los aceros	Existe una relación directa entre la concentración de cianuro de sodio con el recubrimiento de los aceros	Cincado de los aceros	Muestreo intencionado no probabilístico	Diseño	R Pearson
¿Cuál es el rendimiento catódico en el recubrimiento de los aceros?	Determinar el rendimiento catódico en el recubrimiento de los aceros	Existe una relación directa entre el rendimiento catódico con el recubrimiento de los aceros			No experimental	

Anexo 2: Declaración Jurada y la carga horaria

Declaración Jurada

Yo, Blanca Rosa BAZÁN HIDALGO de nacionalidad peruana; con documento nacional de identidad N ° 04011820, despeñándome como docente del I.S.T.P. JOSÉ PARDO Ubicado en la región de Lima La victoria Av. Grau 620 La Victoria N°15033, ubicado. Declaro bajo juramento que:

Que realice trabajo de investigación en el laboratorio del Instituto mencionado en Galvanotecnia. Resultados que me sirvieron para realizar la investigación de mi tesis de investigación.

En el laboratorio de Galvanotecnia se realizaron pruebas de ensayo que sirvieron en el proceso de cincado electrolítico para evaluar la eficiencia de la densidad de corriente en este proceso...

De lo expuesto en señal de la verdad, firmo la presente declaración jurada.

Lima, _14 _ de Enero del 2022.



Blanca Rosa BAZÁN HIDALGO
N°:04011820

Anexo 3: Horario de clases del semestre 2020-II especial - Turno día

DIA	HORA	SEMESTRE II	SEMESTRE IV	SEMESTRE VI	
LUNES	1	08:00 - 08:45	QUIMICA ANALITICA II - A/B (ing. Elsa Baldeon)	DIBUJO MECANICO A / B (Lic. Domingo Coras)	SOLDADURA II - A / B (Lic. Jaime Alegre)
	2	08:45 - 09:30			
	3	09:30 - 10:15			
	4	10:15 - 11:00	ESTADISTICA GENERAL (Ing. Blanca Bazan)	PROYECTOS DE INVESTIGACION E INNOV TECNOLOGICA (Lic. José Acuna Semino)	LEGISLACION E INSERCIÓN LABORAL Ing. Elsa Baldeon
	5	11:00 - 11:45			
	6	11:45 - 12:30			
	7	12:30 - 13:15			
	8	13:15 -14:00			
MARTES	1	08:00 - 08:45	CALCULO Y MEDICION II (Lic. Javier Durand T)	AUTOCAD A / B (Lic. Javier Durand T)	GALVANOTECNIA (Ing. Blanca Bazán)
	2	08:45 - 09:30			
	3	09:30 - 10:15	ELECTRICIDAD APLICADA (Lic. Jaime Alegre)	AUTOCAD A / B (Lic. Javier Durand T)	TRATAMIENTO TERMICO (Ing. Ricardo Carbajal)
	4	10:15 - 11:00			
	5	11:00 - 11:45			
	6	11:45 - 12:30	CULTURA ARTISTICA (Lic. Walter Cáceres)		
	7	12:30 - 13:15			
	8	13:15 -14:00			
MIÉRCOLES	1	08:00 - 08:45	PROCSTO DE MINERALES II - A/B (Ing. Blanca Bazán)	MODELOS Y FUNDICIONES ESPECIALES (Lic. Javier Durand T))	
	2	08:45 - 09:30			
	3	09:30 - 10:15			
	4	10:15 - 11:00	BALANCE METALURGICO (Ing. Ricardo Carbajal)	COMUNICACIÓN INTERPERSONAL (Lic. Verónica Curay)	LIDERAZGO Y TRABAJO EN EQUIPO (Lic. Dina Aucasime)
	5	11:00 - 11:45			
	6	11:45 - 12:30			

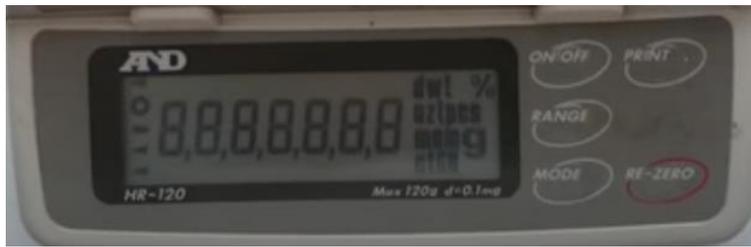
	7	12:30 - 13:15	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE (Lic. Domingo Coras)		PROYECTOS EMPRESARIALES (Lic. Jose Acuna Semino)
	8	13:15 -14:00			
JUEVES	1	08:00 - 08:45	HIDROMETALURGIA - A/B (Ing. Blanca Bazán)	MODELERIA Y FUNDICION II A / B (LIC. CORAS) (Aula 10-Taller)	METALOGRAFÍA - A/B (Lic. Jaime Alegre)
	2	08:45 - 09:30			
	3	09:30 - 10:15			
	4	10:15 - 11:00			
	5	11:00 - 11:45		PROCESOS SIDERURGICOS (ING CARBAJAL) (Aula -8)	CONFORMADO DE METALES (Lic. Javier Durand T)
	6	11:45 - 12:30	FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACION (Lic. Sara Dávila)		
	7	12:30 - 13:15			
	8	13:15 -14:00			
VIERNES	1	08:00 - 08:45	OFIMATICA - A/B (Lic. Alejandro Castaneda)	PROYECTO DE FUNDICION Y SOFTWARE – A /B (Ing. Ricardo Carbajal)	CONTROL Y ASIGNACION DE LA CALIDAD (Ing. Elsa Baldeon)
	2	08:45 - 09:30			
	3	09:30 - 10:15	INTERPRETACION DE TEXTO (Lic. Delicia Cano)		
	4	10:15 - 11:00			
	5	11:00 - 11:45			
	6	11:45 - 12:30			
	7	12:30 - 13:15			
	8	13:15 -14:00			

JDT coord. AAMT

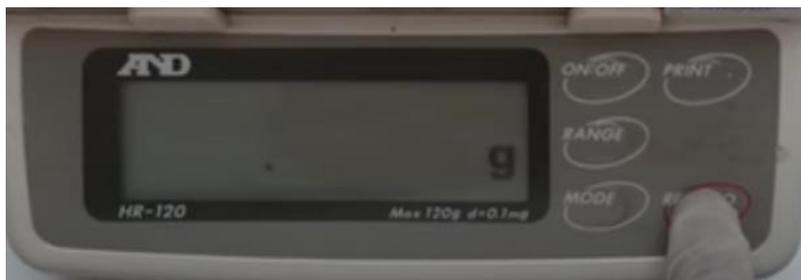


Anexo 4: Procedimiento de la calibración de la balanza

1.- Encender la balanza, procurar que el lector este en cero



2.- Presionar rezero por unos instantes hasta que en la pantalla aparezca **CAL0**



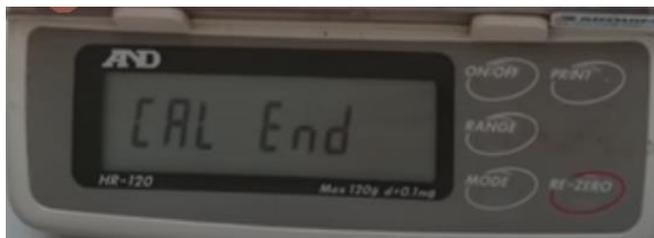
3.- Presione nuevamente rezero. La pantalla indicará la masa de calibración

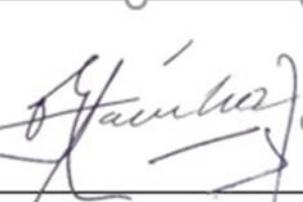


.- Coloque la masa de calibración estándar en el centro del plato. Presione rezero. En la pantalla aparecerá el final de la calibración CAL End.



5.- Retire la masa estándar y la pantalla se estabilizará en cero, **tare y apague** la balanza





Ing. Oscar Sánchez Mendoza
JEFE DE LA UNIDAD ACADÉMICA

COORDINADOR DE ÁREA ACADÉMICA

Ingeniero Sánchez Mendoza Oscar



DOCENTE

Bazán Hidalgo Blanca Rosa

Anexo 5: Guía de clase

GUÍA DE CLASE

1. Introducción.
2. Marco teórico
3. Objetivo
4. Materiales
 - 4.1. Equipos
 - Un rectificador de corriente
 - Pulidora
 - 4.2. Instrumentos
 - Balanza
 - 4.3. Materiales
 - Cables conductores
 - Ánodo de zinc 99.99%
 - Celda electrolítica
 - Vasos de precipitación.
 - Probeta graduada
 - Ácido sulfúrico
 - Cianuro de sodio
 - Hidróxido de sodio
 - Oxido
 - Agua destilada
5. Procedimiento
 - 5.1 Preparación de la pieza
 - 5.1.1 Pulido: alisamos la superficie de la pieza en forma mecánica.



5.1.2 Desengrase: Añadir en un litro de solución 7g de cianuro de sodio, 5 g de hidróxido de sodio, sumergir en esta solución la pieza (cátodo) para eliminar los residuos de grasa, aceites u otros productos de la manipulación en la etapa de mecanizado.

5.1.3 Decapado: Añadir en un litro de solución 150 cc de ácido sulfúrico H_2SO_4 , 4g de cianuro de sodio CN Na, con esta solución realizar un decapado electrolítico, para eliminar el óxido e impurezas de la pieza (cátodo).

5.1.4 Enjuague: sumergir la pieza (cátodo) decapada en un recipiente con agua para eliminar los residuos de la solución ácida del decapado.

5.1.5 Neutralizado: Añadir 40 g de ácido sulfúrico en un litro de solución, luego en esta solución sumergir la pieza (cátodo) para quitar los reactivos químicos que aún quedan en la pieza (cátodo).

5.1.6 Enjuague: Sumergir en agua para eliminar cualquier residuo que podría haber quedado en la pieza (cátodo)



5.2 Cincado electrolítico de la pieza (cátodo)

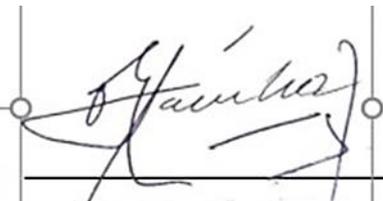
1. Preparación de la solución, en una celda electrolítica de capacidad de 2 litros de solución, añadir un litro de agua destilada, 10g de cianuro de sodio, 65g de hidróxido de sodio (soda caustica) ,15g de óxido de zinc, CYTRAS NC 5g/L,a temperatura de ambiente.



2. Pesar la pieza (cátodo) en la balanza calibrada, tomar nota.
3. Llevar la pieza (cátodo) al microscopio metalográfico y observar la microestructura.
4. Realizar el montaje de los electrodos (cátodo y ánodo) en la celda electrolítica
5. Graduar el rectificador de corriente a 0.5 A
6. Realizar el cincado electrolítico.
7. Enjuagar en agua la pieza (cátodo) para eliminar la solución alcalina proveniente del baño del cincado electrolítico.
8. Pesar la pieza(cátodo) y tomar nota.
9. Llevar la pieza(cátodo) al microscopio metalográfico y observar la microestructura final



6. Conclusiones
7. Recomendaciones
8. Bibliografía.



Ing. Oscar Sánchez Mendoza
JEFE DE LA UNIDAD ACADÉMICA

Ingeniero Sánchez Mendoza Oscar

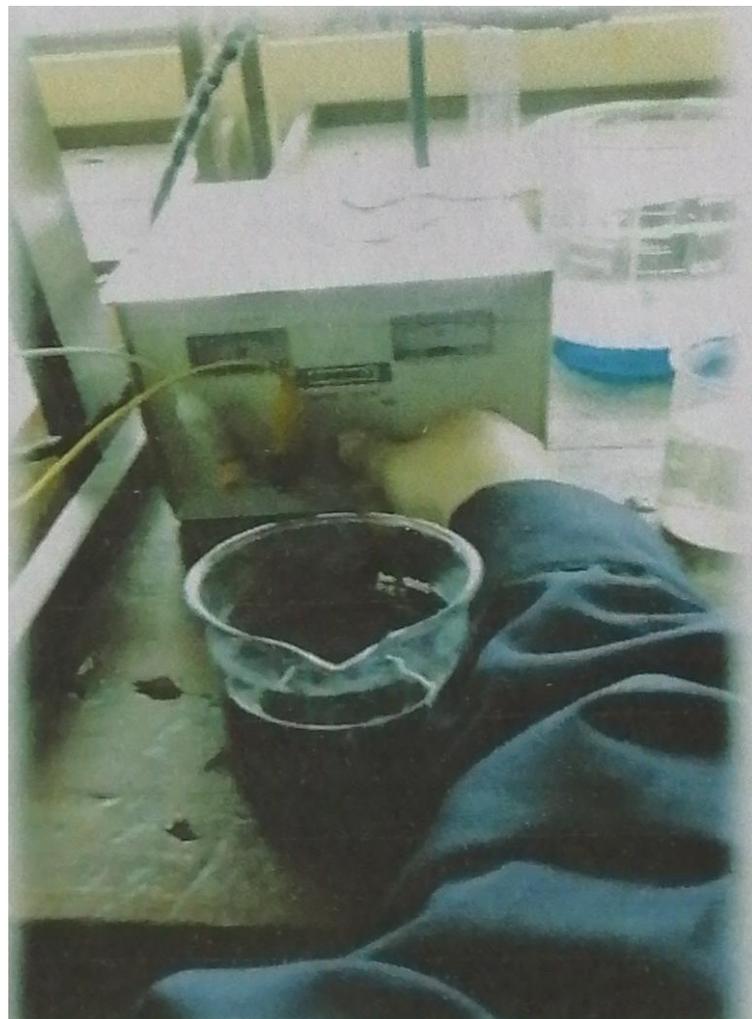

DOCENTE DE LA UNIDAD DIDÁCTICA

Bazán Hidalgo Blanca Rosa

Anexo 6: Materiales de laboratorio



Anexo 7: Ajuste de la intensidad de corriente



Anexo 8: *Rectificador de corriente*

