

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**ELECTRODEPOSICIÓN DEL NÍQUEL EN MATERIALES
METÁLICOS EN DESUSO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JOHN FERNANDO MAMANI BELLIDO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

ELECTRODEPOSICIÓN DEL NÍQUEL EN MATERIALES
METÁLICOS EN DESUSO

APROBADA POR:



PRESIDENTE

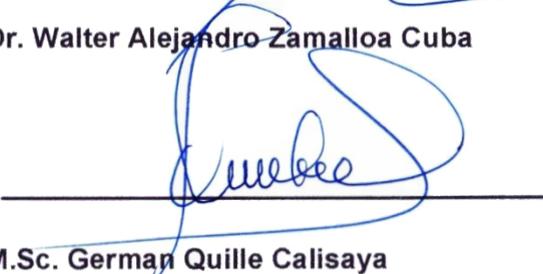
:



Dr. Walter Alejandro Zamalloa Cuba

PRIMER MIEMBRO

:



M.Sc. German Quille Calisaya

SEGUNDO MIEMBRO

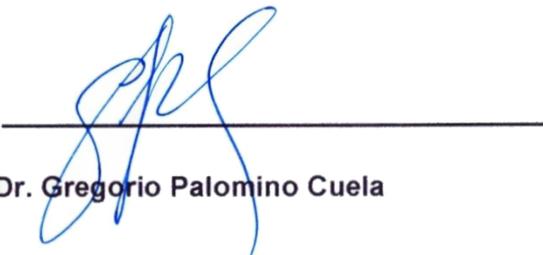
:



M.Sc. José Castillo Prado

DIRECTOR DE TESIS

:



Dr. Gregorio Palomino Cuela

ÁREA : Investigación**TEMAS : Electrodeposición del níquel****LÍNEA : Tecnologías ambiental y recursos naturales****FECHA DE SUSTENTACIÓN: 01 de agosto del 2018**

DEDICATORIAS

*Con respeto, admiración y mucho cariño a mis padres **Ysabel Bellido chuchi** y **Santiago Cristóbal** y a mi padre político **Agripino quispe**, por su sacrificio y apoyo incondicional en mi formación humana y profesional.*

*y así mismo a mi hermano **kelvin Quispe Bellido** y así también a **Albert Sebastián Mamani** y en el cielo **Cristóbal Mamani** ya quienes me brindaron su apoyo sin condición en mis años de estudio en la universidad y por todo su apoyo.*

A mis Maestros, compañeros y amigos de la Facultad de Ingeniería Química, con quienes compartí momentos inolvidables.

Fernando.

AGRADECIMIENTOS

- *A la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, por formar profesionales de éxito.*

- *A los catedráticos de la Escuela Profesional de Ingeniería Química por compartir sus conocimientos y experiencias durante mi formación profesional.*

- *A mis amigos, compañeros y a todas las personas quienes han hecho posible la realización de este trabajo.*

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE GRÁFICOS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
I. INTRODUCCIÓN	13
1.1 Planteamiento del problema	15
1.1.1 Problema general	17
1.1.2 Problema específico	17
1.2 Antecedentes	17
1.3 Objetivos	21
1.3.1 Objetivo general	21
1.3.2 Objetivo específico	21
1.4 Justificación	21
1.4.1 Justificación técnica	21
1.4.2 Justificación económica	21
1.4.3 Justificación social	22
1.5 Hipótesis	22
1.5.1 Hipótesis general	22
1.5.2 Hipótesis específica	22
II. REVISIÓN DE LITERATURA	24
2.1 MARCO TEÓRICO	24
2.1.1 Mecanismo general en electrodeposición del níquel	24
2.1.2 Características principales de los depósitos generados	25
2.1.3 Corriente y distribución del metal	27
2.1.4 Throwing power	28
2.1.5 Estrés interno	28
2.1.6 Adhesión	29
2.1.7 Nivelación y micro throwing power	29
2.1.8 Tipos de baños de níquelar	29
2.1.9 Definición de términos básicos	40
III. MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.1 Materiales	41
3.1.1 Localización	41
3.1.2 Materiales y equipos	41
3.2 Materia prima	42
3.2.1 Descripción de la materia prima	42
3.2.2 Preparación de la materia prima	43

3.2.3	Pesado de cloruro de níquel:.....	44
3.2.4	Pesado de sulfato de níquel:	44
3.2.5	Pesado de ácido bórico	45
3.2.6	Pesado de abrillantadores	45
3.2.7	Medición de volumen de agua.....	46
3.2.8	Pulido de piezas metálicas	46
3.3	Descripción del equipo modular de electrodeposición.....	49
3.3.1	Rectificador.....	49
3.3.2	Tanques de electrodeposición.....	49
3.3.3	Electrodos	50
3.3.4	Proceso de desengrase electrolítico	51
3.3.5	Transistor	52
3.3.6	Rectificador de corriente eléctrica.....	52
3.3.7	Diodo	53
3.3.8	Reóstato	53
3.3.9	Resistencia de Precisión	54
3.3.10	Rectificador de corriente.....	54
3.3.11	Partes del equipo.....	54
3.3.12	Transformador de potencia.....	54
3.3.13	Partes del transformador	55
3.3.14	Rectificadores	55
3.3.15	Filtrado.....	55
3.3.16	Rectificador sincrónico.....	56
3.3.17	Proceso de niquelado	56
IV.	RESULTADOS	58
4.1	Diseño de la celda.....	58
4.2	Cálculo de la potencia del rectificador	59
4.3	Selección del rectificador de corriente	59
4.4	Cálculo de la cantidad de electrolito en la cuba.	60
4.5	Determinación del mejor experimento	60
V.	CONCLUSIONES.....	70
VI.	RECOMENDACIONES	70
VII.	REFERENCIAS.....	71
VIII.	ANEXOS.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Operacionalización de Variables.....	23
Tabla 02: Datos en la deposición de Níquel.	26
Tabla 03: Componentes en la electro deposición del níquel	27
Tabla 04: Datos de primeras pruebas en laboratorio	60
Tabla 05: Datos de segunda prueba en laboratorio.....	63
Tabla 06: Datos de tercera pruebas en laboratorio	66

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 01: Amperaje Vs Voltaje	61
Gráfico 02: Tiempo Vs Deposición	61
Gráfico 03: Voltaje Vs Deposición	62
Gráfico 04: Temperatura Vs Deposición.....	62
Gráfico 05: Amperaje Vs Deposición	63
Gráfico 06: Amperaje Vs Voltaje.....	64
Gráfico 07: Tiempo Vs Deposición.....	64
Gráfico 08: Voltaje Vs Deposición	65
Gráfico 09: Temperatura Vs Deposición.....	65
Gráfico 10: Amperaje Vs Deposición	66
Gráfico 11: Amperaje Vs Voltaje.....	67
Gráfico 12: Tiempo Vs Deposición.....	67
Gráfico 13: Voltaje Vs Deposición	68
Gráfico 14: Temperatura Vs Deposición.....	68
Gráfico 15: Amperaje Vs Deposición	69

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Esquema de proceso de niquelado electrolítico.....	24
Figura 02: Ejemplos de transportadore Snyder, (2002).	35
Figura 03: Abrillantadores comúnmente utilizados Snyder, (2002).	35
Figura 04: coumarina y ácido melilotico Snyder, (2002).....	36
Figura 05: Ejemplos de depósito en multicapa fuente Snyder, (2002).	38
Figura 06: Balanza analítica.....	44
Figura 07: Proceso de pesado.....	44
Figura 08: Ácido bórico sólido	45
Figura 09: Abrillantadores	45
Figura 10: Cuba electrolítica.....	46
Figura 11: Metales tubos de ½ pulgada sin recubrir A	46
Figura 12: Metales tubos de ½ pulgada sin recubrir B	47
Figura 13: Metales tubos de ½ pulgada y alambre de cobre	47
Figura 14: Metal en proceso de pulido.....	48
Figura 15: Metal electro depositado.....	48
Figura 16: Rectificador.....	49
Figura 17: Tanque de electrodeposición A	50
Figura 18: Tanque de electrodeposición B.....	50
Figura 19: Rectificador encendido	53

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

CE	: Conductividad eléctrica
C_f	: Concentración final
C_i	: Concentración inicial
DPE	: Diagrama de Pareto Estandarizado
EDS	: Espectroscopia de energía dispersada de rayos-X
FTIR	: Espectroscopia Infrarroja
PH	: Potencial de hidrogeno

RESUMEN

En la presente investigación se realizó la electrodeposición del níquel en materiales metálicos de hierro usados, al que se le denominó cátodo para verificar las condiciones adecuadas en recubrir metales en desuso dichos procesos se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional del Altiplano, la investigación se realizó para encontrar los parámetros de temperatura, humedad, pH a condiciones del departamento de Puno dichos datos son distintos a la electrodeposición en las regiones de la costa y la selva peruana, para lo cual se planteó el objetivo de verificar si el proceso de electrodeposición podrá satisfacer las expectativas esperadas en el recubrimiento de metales mediante la metodología watts. La cantidad de pruebas fue constituida por la electrodeposición de 20 tubos de media pulgada previamente sometidas a un proceso de lavado y preparado para su baño electrolítico, en un número de cuatro unidades cada 10 minutos. Para la verificación del control de calidad se llevó a cabo mediante la diferencias de pesos. Obteniendo los resultados de voltaje apropiando de 2,0V, amperaje de 1,5A y un tiempo de 10 minutos son los parámetros ideales obtenidos en la investigación a condiciones de la región altiplánica en el proceso de la electrodeposición del níquel a condiciones ambientales de la región.

Palabras claves: **Contaminación, deposición, electrodeposición, níquel, recubrimiento.**

ABSTRACT

In the present investigation, electrodeposition of nickel in used iron metallic materials was carried out, which is called a cathode to verify the adequate conditions to cover metals in disuse. This process was carried out in the laboratories of the Metallurgical Engineering School of the National University of the Altiplano, the investigation was carried out to find the parameters of temperature, humidity, pH to conditions of the department of Puno said data are different to the electrodeposition in the coastal regions and the Peruvian jungle, for which the objective of verifying if the electrodeposition process will be able to satisfy the expected expectations in the coating of metals through the watts methodology. The amount of tests was constituted by the electrodeposition of 20 half-inch tubes previously subjected to a washing process and prepared for electrolytic bathing, in a number of four units every 10 minutes. For the verification of the control of the quality they would be subjected to analysis by differences of weights. Obtaining the results of appropriating voltage of 2,0V amperage of 1,5A and a time of 10 minutes are the ideal parameters obtained in the research to conditions of the altiplanic region in the process of electrodeposition of nickel to environmental conditions of the region.

KEY WORDS: Covering, deposition, electrodeposition, nickel, pollution.

I. INTRODUCCIÓN

La continua necesidad de nuevos materiales para nuevas aplicaciones han sido unos de los motivos por los que el conocimiento humano continúa avanzando día a día en todos los campos, pero es el de la electroquímica uno de los que más ha avanzado en los últimos 50 años. Dentro de este campo cada vez son más necesarios nuevos materiales o modificaciones de los ya existentes en aras de conseguir unas propiedades muy concretas que permitirán su utilización. Dentro de este avance se hace necesaria la utilización de entre otros muchos, procesos electroquímicos que permiten depositar un metal sobre otro, de forma fiable y con la posibilidad de controlar tanto el espesor depositado como el acabado. Es posible depositar numerosos metales mediante la reducción de sus cationes acuosos por el paso de una corriente eléctrica adecuada. Entre la lista de los metales susceptibles de ser electro depositados están prácticamente todos los conocidos, aunque algunos como el Cu, Ni o el Au son de extrema importancia práctica en las aplicaciones habituales, siendo el Ni el objeto del presente informe.

El níquel es un metal de transición englobado en el grupo 10 de la tabla periódica y que aparece en la naturaleza combinado formando parte de diferentes minerales. Es uno de los componentes mayoritarios del núcleo del planeta junto con el hierro, con el que se encuentra aleado. Se obtiene por reducción metalúrgica, presentándose como un metal blanco-plateado muy buen conductor de la electricidad, con propiedades ferromagnéticas y muy resistente a la abrasión y a los ataques químicos. Además de unas propiedades físicas muy útiles, su utilización en un gran número de procesos químicos pone de manifiesto sus propiedades como catalizador, sobre todo en hidrogenaciones industriales. Entre sus estados de oxidación es el níquel (II) el más estable y es el componente de las sales que se emplearán en electroquímica en forma de sulfato o de cloruro.

Una manera de conjugar las propiedades del níquel con otros metales, puede consistir en su aleación aunque también, mediante la deposición electrolítica de níquel, podemos transferir algunas de sus propiedades al metal sustrato. La deposición electroquímica se encuentra presente en numerosos campos de aplicación. La primera y más importante, aunque alejada de nuestros intereses, es decorativa. El níquel es capaz de cubrir imperfecciones en la superficie del metal base, actuando como nivelador. La deposición se puede controlar para

producir depósitos brillantes mediante la adición de cantidades pequeñas de Cromo, que se co-depositará con el níquel, lo que permitirá obtener un depósito con un brillo que se mantendrá incluso en condiciones de trabajo de desgaste muy severas. Otras posibilidades consisten en hacer un níquel satinado o en conseguir diferentes acabados, en función de los aditivos añadidos. La adición de varias capas de níquel sobre la superficie de un metal confiere una excelente protección contra la corrosión. Se puede conseguir que ésta sea máxima únicamente cuando se niquela con dos o más tipos distintos de níquel. Esta mejor protección contra la corrosión que aporta el níquel nos permite mejorar además las propiedades de desgaste mecánico en metales mucho más blandos, tales como cobre o zinc. Como consecuencia de ser un metal ferromagnético es posible aprovechar sus propiedades magnéticas en caso de ser necesarias. Por último, destacar que se puede depositar el baño con o sin estrés, dependiendo de la utilidad última a la que lo destinemos. La versatilidad mostrada por los recubrimientos de níquel los hacen procesos muy útiles en diferentes industrias, como automovilísticas, aeroespaciales, joyería, electrónica, etc.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La exposición de un metal a la intemperie donde entra en contacto con el oxígeno empieza la reacción de oxidación reduciendo su resistencia y apariencia inicial llevando a un estado de desuso, la cual requiere de la intervención inmediata de la tecnología de la galvanoplastia para solucionar este problema de deterioro a causa de la oxidación. La buena apariencia, durabilidad, confiabilidad de uso es lo que brinda este proceso de electrodeposición.

La falta de un proceso de electro deposición idónea bien especificado para el ámbito de clima frío con su temperatura, pH y distintos cambios climáticos los cuales alteran su estado físico - químico de los metales y reactivos, ha generado una serie de problemas al personal que intenta realizar este trabajo de electro deposición de metales específicamente el níquel; debido al tiempo, temperatura, presión, humedad, altura y otros factores muy distintos a los que se realiza en otros lugares. Actualmente este proceso se realiza con muy poca frecuencia enviándolos a realizar este trabajo a Lima, Arequipa u otros sitios donde si existe la investigación para su desarrollo o se realiza en forma manual empírica, pero sin parámetros científicos, en el cual el trabajador debe ingresar seguir procesos empíricos de baños electrolíticos, pintado con pinturas, protección con aceites o grasas.

La falta de un proceso de electro deposición adecuado para recubrir el metal, abrillantar y proteger de la humedad y el óxido en forma eficaz, conlleva a problemas en oxidación, impresentabilidad, bajo precio de venta de los productos, traslados a laboratorios de electrodeposición capaz de recubrir con una calidad según los ISOS como el ISO9001, 14001, los cuales son los problemas que actualmente existen en la región altiplánica.

Cambi, (2001) El niquelado en materiales metálicos y otras aleaciones, es un proceso de electro deposición mediante el uso de instrumentos electrónicos y procesos de tecnología química se recubre el metal, todo los metales son propensos a esta ley físico-química él se inicia con el proceso de movimiento de electrones del ánodo hacia el cátodo tal movimiento llamado electrodeposición en donde interviene el proceso de reducción y oxidación en el anión y catión respectivamente todo ello se lleva a cabo en

una celda o cuba electrolítica, la cual es posteriormente retirado una vez terminado su espesor respectivo de recubrimiento y se almacena en un espacio confinado respectivamente con ventilación incorporada para su secado y para su posterior proceso de limpieza y almacenado para su uso respectivo en diferente usos así como tubos de bicicletas, pedestales musicales, llaves, utensilios de cocina etc.

La tecnología de la galvanoplastia y la electrodeposición ha venido adquiriendo gran importancia en los últimos años, ya que ha demostrado que puede dar valor agregado a los bienes y servicios de una organización, porque permite transformarlos o mejorar la calidad del producto relacionadas con el proceso de acabados de estos, así con la electrodeposición o galvanoplastia en mano, investigar el proceso de electro deposición en la Región de Puno - 2018.

Descripción del Problema.

Tras el proceso de manufactura de accesorios y partes metálicas de distintas cosas se vio que es requisito indispensable la investigación de un proceso de electroerosión de níquel para el cumplimiento con los estándares para mejorar la calidad de producto y servicio a la población demandante de la región. Así también se observó la preocupación y falta de conocimiento y trabajos de investigación por parte de las empresas y artesanos en el tema de protección y recubrimiento de metales. Los problemas de tipo de falta de información confiable y laboratorios donde se realicen proceso de electro deposición y otros relacionados con la galvanoplástica para los interesado constituyen una permanente preocupación más que todo de la población de fabricantes de sillas, mesas, ventanas, bicicletas con acabado abrillantados y protegidos del óxido se conducen a buscar una mejora en la forma de trabajo a la población metalúrgica y química para la superación de sus problemas de los procesos galvanoplásticos.

Por lo cual, al crear un proceso de electrodeposición del níquel, se pretende cumplir con dichos estándares de producción en recubrimientos y protección de materiales metálicos, así también colaborar para disminuir la mala imagen de los fabricantes artesanos e industriales, mejorar la tecnología, la industria y aumentar el avance de la

ciencia y la tecnología en la región. Y mejorar la producción y calidad de los productos metalúrgicos para la solución de las diferentes necesidades en el proceso de recubrimiento de metales. Por otra parte pone a disposición de los trabajadores a generar un servicio integral abocado en el desarrollo de sus habilidades y destrezas de los trabajadores para contribuir en mejorar la calidad del producto.

1.1.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la característica física del metal recubierto mediante electrodeposición del níquel?

1.1.2 PROBLEMA ESPECÍFICO

¿Cuál es el mejor voltaje para el proceso de electrodeposición del níquel?

¿Cuál es el mejor amperaje para el proceso de electrodeposición del níquel?

¿Cuál es el intervalo de tiempo adecuado para el proceso de electrodeposición del níquel?

1.2 ANTECEDENTES

H.S. Karayianni et al. (1999) Investigaron la resistencia a la corrosión de materiales electro depositados de níquel en soluciones de sulfatos de níquel y cloruros de níquel. Como medio de corrosión se ha probado soluciones salinas y en ácido nítrico. El resultado al que llegaron fue que los depósitos de cloruro de níquel mostraron ser más resistentes en los ambientes corrosivos estudiados en comparación a los sulfatos de níquel.

A. Boukhouiete et al. (2003) lograron estudiar la electrodeposición del níquel por pulsos continuos. El revestimiento de níquel lo realizaron con corriente directa y con pulsos usando baño de watt se usó una hoja de níquel de 10x15cm como ánodo y como cátodo se usó un material metálico de 2cm² pulido mecánicamente con lija de 600. El revestimiento esperado fue de 50um a 60um con temperatura en un rango de 60°C a

100°C y un pH de 4,5 a 7,5 agitado a 200rpm. Los resultados que obtuvieron fueron tiempo adecuado de 100 micro segundos, temperatura 60°C, pH 5.

Lucia G. Díaz-Barriga et al. (2013) Investigaron el proceso de elaboración del recubrimiento epoxico reforzado con nano estructuras de carburo de zirconio (ZrC) utilizaron la reducción de tamaño en molino planetario de bolas a condiciones ambientales posteriormente se impregnaron estas al esmalte comercial con las partículas de ZrC. se estudiaron el comportamiento de degradación con la temperatura en un intervalo de 20 a 700°C y el tamaño de partícula apropiada. Los resultados obtenidos fueron la temperatura que soporta es de 330°C sin degradarse y el tamaño de partícula de ZrC adecuada es de 120nm.

X.H. Chen, et al. (2004) investigaron el efecto de la corrosión incorporando nanotubos de carbono en el recubrimiento de níquel sobre la morfología de la superficie recubierta de níquel. Los nanotubos se producen por catálisis de acetileno y nitrato de magnesio solidificándose en la superficie a 400°C a 500°C. Los resultados de deposición de nanotubos de carbono fueron obtenidos a 700°C con un fluido de 40ml/min de acetileno, 400ml/min de nitrógeno durante 24horas.

M. Sadeghi et al. (2009) realizaron estudios de la electrodeposición de níquel natural en un sustrato de cobre con una capa de oro con el objetivo de producir un radionúclido. Los experimentos de electrodeposición se llevaron a cabo en baños de enchapado de ácido. Se analizaron parámetros como pH, temperatura y intensidad de corriente. Se midieron a diferentes escalas. Los resultados al que llegaron fueron los siguiente: pH 4, intensidad de corriente de $85,54 \text{ mA /cm}^{-2}$ y una temperatura de 55 °C.

Yongkun Li et al. (2012) analizaron a los nanotubos de TiO₂ cultivados por anodización en un electrolito a base de fluoruro se cargaron con nano partículas de óxido de Ni mediante un método de electrodeposición de pulso. Los electrodos fabricados de NiOx / TiO₂NT se caracterizaron por microscopía electrónica de barrido de emisión, espectroscopia de rayos X de dispersión de energía y espectroscopia de

fotoemisión de rayos. Los resultados fueron que las nano partículas de óxido de Ni cargadas mejoraron la absorción del espectro visible de los conjuntos de nanotubos de TiO₂, así como sus fotocorrientes inducidas por el espectro solar, mientras que se obtuvo un resultado inverso bajo iluminación con luz UV.

Asli Ertan et al. (2008) realizaron pruebas de electrodeposición de níquel usando nanotubos y nano cables en diferentes plantillas analizaron la densidad de la corriente y la relación de aspecto de los poros. Las estructuras de nanotubos de níquel se obtienen con una membrana de policarbonato de poro de 800 a 1000nm sin ningún método de tratamiento previo trabajaron con parámetros como pH en un rango de 5 a 6, voltaje en un rango de 2V a 3V, densidad de corriente de 8 a 10 mA/cm². Los resultados que obtuvieron fueron membrana de policarbonato con porosidad de 1000nm, pH = 4,6 y densidad de corriente 9 mA/cm², voltaje de 6 voltios.

Chao Guo et al. (2008) estudiaron el recubrimiento de nanotubos de Ni-carbono con métodos de microscopía electrónica de barrido, pruebas de tracción, pruebas de dureza y pruebas electroquímicas. Los resultados muestran que el revestimiento compuesto se vuelve más grueso cuando aumenta la corriente de depósito. A medida que aumenta la densidad de la corriente de depósito, el contenido de carbono en el revestimiento compuesto primero aumenta y luego disminuye, con el mayor contenido de carbono en 8A / dm². La adherencia, la resistencia al agrietamiento, la microdureza y la resistencia electroquímica de los recubrimientos compuestos alcanzan sus valores máximos a 8A / dm² y el tiempo adecuado obtenido fue de 60min.

Juan C. et al. (2014) investigaron la preparación del ciclotrón de Cu se prepararon mediante electrodeposición sobre un soporte de oro de soluciones de cloruro de níquel utilizando ácido bórico como amortiguador. Los parámetros estudiados fueron cloruro de níquel y concentración de ácido bórico, temperatura y densidad de corriente. Todas las pruebas fueron exitosas, con eficiencias del 90% en 2 a 3 h, alcanzando eficiencias de casi del 97% en 10 a 20 h, dependiendo de la densidad actual. Las placas en su totalidad soportaron irradiaciones de 40 Ma durante 2 h. El níquel fue recuperado y reutilizado con eficiencia del > 95%.

Nelson Artavia Vega, (2008) en su tesis diseño y construcción y puesta en marcha de un equipo de electrodeposición describe los procesos de electrodeposición de cromo para el laboratorio de ingeniería química.

J.M. Fernandez, et al (2008) en su libro principios de electrodeposición del níquel en laboratorio de tecnologías de materiales.

S.h. Langer, et al (2001). En su libro Cupric Chloride Leaching of Model SulfurCompounds for Simple Copper Ore. Concentrate indica la cantidad de electrolito que se debe de concentrarse en un material metálico se aplicó en piezas metálicas de bronce y los resultados fueron óptimos.

Rosenqvist, T. (1987) En su obra Fundamentos de Metalurgia Extractiva indica los parámetros óptimos para recubrir metales en desuso los resultados son la dosificación adecuada de electrolito.

Biswas A. (1993) en su libro Metalúrgica Extractiva - “El Cobre” muestra un procedimiento para realizar dorado de materiales metálicos a temperaturas y voltajes adecuados siendo resultados esperados de intensidad de corriente de 1,3 amperios y voltaje de 1,9 voltios.

Ballester A., et al (2000) En su libro Metalurgia Extractiva, Fundamentos indica los procedimientos para recubrir un material metálico con oro por medio de electrodeposición donde se inicia con la limpieza electrodeposición y enjuague.

R. Chang (2002) en su texto señala el desarrollo de un proceso de recubrimiento por el método de la electrodeposición del oro y otros metales llegando a los resultados de que el pH debe estar en 7,0.

Valencia (2013) en su libro señala en su objetivo general: Crear una cuba de dorado en el módulo de procesos metalúrgicos, que incorpore todo el procedimiento teórico de un sistema de electro deposición o galvanoplastia, para apoyar a agilizar la electro deposición desde el ánodo hacia el cátodo. Llegando a la siguiente conclusión: que los procedimientos galvanoplásticos utilizados en la experimentación, fueron los idóneos para asegurar que se puede asegurar un mejor rendimiento y eficacia en la electrodeposición.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el proceso de la electrodeposición de níquel en materiales metálicos en desuso

1.3.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- Determinar el rango de voltaje para la electrodeposición del níquel en materiales de hierro.
- Determinar el rango de amperaje para la electrodeposición del níquel en materiales de hierro.
- Determinar el tiempo adecuado en la electrodeposición del níquel en materiales de hierro que es de 10 minutos.

1.4 JUSTIFICACIÓN

1.4.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

Para la obtención del recubrimiento a partir de la electrodeposición electrolítica el ánodo de níquel no necesita de tecnología sofisticada o de punta, existen tecnologías que permiten electro depositar el níquel el cual es denominado *throwing power* que permite cumplir el trabajo en forma segura y eficiente. Se manejó operaciones de procesos químicos convencionales a condiciones ambientales de la región altiplánica. La tecnología a utilizarse servirá de base para estudio de pre factibilidad y factibilidad económica y técnica.

1.4.2 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

El níquel tiene propiedades fisicoquímicas de dar un brillo el cual hace que un producto de hierro al ser recubierto con este material adquiera un valor económico, debido a la población de personas que son de gustos exigentes en acabados brillantados en metales de hierro y otras aleaciones. La electrodeposición del níquel de alta pureza tiene amplio espectro de aplicaciones, desde pedestales, pasando por materiales quirúrgicos, materiales biomédicos, industria aeronáutica, industria automovilística, soportes de muebles,. Además por su gran capacidad de recubrir y ser de bajo costo ofrece ventajas en el uso industrial.

1.4.3 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

La presencia de un proyecto de investigación de electrodeposición de níquel en la región de Puno contribuye al desarrollo económico y social, generando fuentes de trabajo para los pobladores que manejen materiales de hierro y deseen recubrir sus productos de materiales de níquel. Habrá más capacidad de producción en acabados de calidad en el área metal - mecánica, lo que permite mejor las condiciones laborales, se crearan nuevos puestos de trabajo en el área del sistemas de mejoramiento de la calidad de producto terminado en la industria metal mecánicas, talleres de planchado y pintado, además de requerir personal para realizar este trabajo específico se activaría económicamente a la población industrial aumentando una fuente de ingreso al aplicar la tecnología adecuada a la región de Puno.

1.5 HIPÓTESIS

1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL

La electroerosión del níquel en materiales metálicos, ayuda en mejorar la calidad de productos terminados en el proceso de acabado, protección y abrillantando de materiales metálicos, para brindar la óptima calidad de estos productos metálicos.

1.5.2 HIPÓTESIS ESPECIFICA

- El rango de voltaje de 2,0V es adecuado para la electrodeposición del níquel.
- El rango de amperaje de 1,0V es adecuado para la electrodeposición del níquel.
- El tiempo de 10 minutos es adecuado para la electrodeposición del níquel.

a. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

❖ VARIABLES INDEPENDIENTES (VI)

Es una variable de proceso que puede tomar valores independientes de las otras variables. Para definir una variable dependiente debe existir por lo menos una variable

independiente, pueden ser clasificados dentro de las siguientes categorías, variables controlables, no controlables, desconocidas e indirectas como se muestra en la tabla 01. Las variables independientes consideradas son: Tiempo, voltaje, concentración de sulfato de níquel, concentración de cloruro de níquel

❖ VARIABLES DEPENDIENTES (VD)

Son aquellas variables que describen los resultados de un proceso. Como porcentaje del proceso de electrodeposición del níquel.

Las variables dependientes consideradas es el peso del níquel depositado en el material de hierro se muestran en la tabla 01.

❖ VARIABLES INTERVINIENTES

Las variables intervinientes consideradas son: Temperatura, presión, humedad tales variables se muestra en la tabla 01.

Tabla 01: Operacionalización de Variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADORES	ÍNDICES
Tiempo	tiempo de electrodeposición	minutos
Voltaje	Voltaje de la celda	voltios
Concentración de sulfato de níquel	Concentración de NiSO ₄	mg/l
Concentración de cloruro de níquel	Concentración de NiCl	mg/l
VARIABLE DEPENDIENTE		
Uniformidad de níquel depositado	Cantidad de níquel depositado	g
VARIABLE INTERDEPENDIENTE		
Temperatura	13	°C
Presión	460	mmhg
Humedad	40%	%

Fuente: Elaboración propia

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Mecanismo general en electrodeposición del níquel

Cambi, (2001). en la experimentación, fueron eficaces para asegurar que se puede asegurar un mejor rendimiento y eficacia en la electro deposición. Mantener una concentración constante de Ni^{2+} en la disolución, debido a que durante el transcurso de la reacción, el ánodo se va disolviendo evitando tener adicionar ninguna sal metálica hacia el cátodo migrarán los cationes que debido a los electrones donados por la corriente aplicada, que se reducirán a níquel metálico depositándose en la superficie deseada. La disolución acuosa de las sales de níquel junto con el resto de especies electrolíticas, proporciona la conductividad entre los dos electrodos. El tiempo que ha de estar sumergido el sustrato es el mayor condicionante en el espesor de níquel depositado en su superficie. Las propiedades eléctricas, térmicas y químicas del baño electrolítico también influyen en el proceso de deposición. La configuración de la corriente alrededor de la pieza a metalizar determina la distribución del depósito, tal como se muestra en la figura 01.

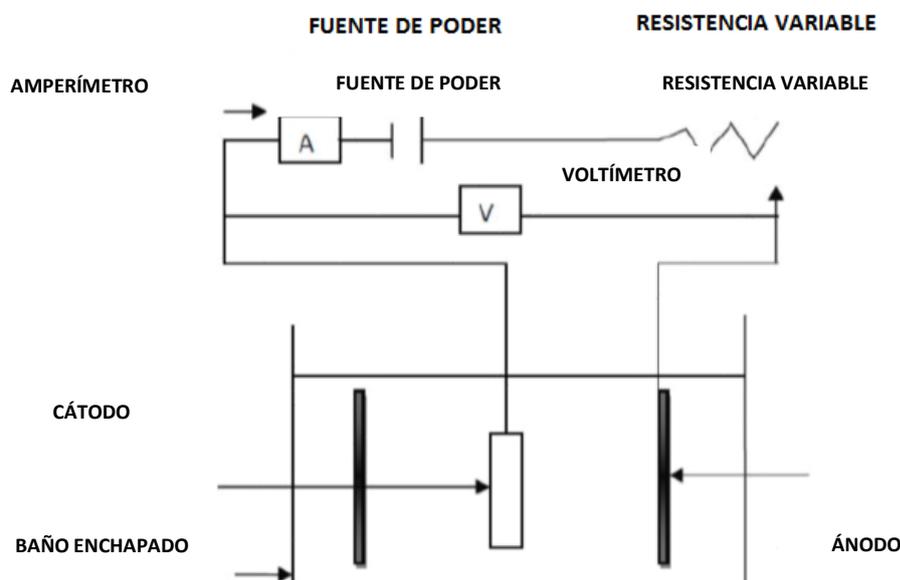
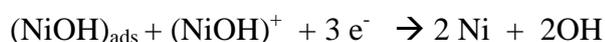
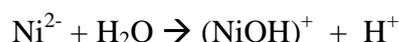


Figura 01. Esquema de proceso de niquelado electrolítico.

Wiley, (2010) establece el mecanismo del proceso global que se produce en la reducción es la reducción del Ni (II) a Ni (0).



Sandu, (2006) indica que no existe unanimidad en cómo transcurre el proceso de electrodeposición y son bastantes los mecanismos publicados. A continuación se muestra uno de los más avalados, realizado siguiendo técnicas voltamperométricas.



Holm, (2000). Formula que este mecanismo fue propuesto basándose en el estudio de las curvas de impedancia inductiva con métodos espectroscópicos, aunque todos los pasos aún no han sido clarificados. De las observaciones realizadas en los diferentes estudios voltamperométricos, se puede concluir que las reacciones implicadas en el cátodo son la reducción de los iones Ni^{2+} , el ácido bórico y los iones H^{+} mientras que en el ánodo se produce la evolución de oxígeno, la oxidación de los cloruros y la formación de hidróxidos en el supuesto de que no se estuviera agitando el baño.

2.1.2 Características principales de los depósitos generados por la electrodeposición del níquel

Los espesores medios obtenidos en los depósitos de níquel son directamente proporcionales al tiempo de deposición y a la cantidad de corriente que se aplica así como se muestra en la tabla 02.

Tabla 02: Datos en la deposición de Níquel.

Depósito de espesor (um)	Peso por unidad de área (g dm ⁻²)	Amperios horas por unidad (Ah dm ⁻²)	Depósitos obtenidos en tiempos y amperios diferentes (A dm ⁻²)									
			0,5	1	1,5	2	3	4	5	6	8	10
2	0,18	0,17	20	10	6,8	5,1	3,4	2,6	2,0	1,7	1,3	1
4	0,36	0,34	41	20	14	10	6,8	5,1	4,1	3,4	2,6	2
6	0,53	0,51	61	31	20	15	10	7,7	6,1	5,1	3,8	3,1
8	0,71	0,68	82	41	27	20	13	10	8,2	6,8	5,1	4,1
10	0,89	0,85	100	51	34	26	17	13	10	8,5	6,4	5,1
12	1,1	1,0	120	61	41	31	20	15	12	10	7,7	6,1
14	1,2	1,2	140	71	48	36	24	18	14	12	8,9	7,1
16	1,4	1,4	160	82	54	41	27	20	16	14	10	8,2
18	1,6	1,5	180	92	61	46	31	23	18	15	11	9,2
20	1,8	1,7	200	100	68	51	34	26	20	17	13	10
40	3,6	3,4	410	200	140	100	68	51	41	34	26	20

Fuente: Dibari, Basado en eficiencia del 95,5% del cátodo, (2010).

Dibari, (2010) indica que la cantidad de níquel depositado en el cátodo y la cantidad disuelta en el ánodo así como se muestra en la tabla 03, son directamente proporcionales al producto de la corriente por el tiempo, según la ley de Faraday. La constante de proporcionalidad es igual al peso molecular dividido por el producto del número de moles por la constante de Faraday. Para el níquel, el valor de la constante es de 1,095 g A⁻¹ h⁻¹ considerando una eficiencia catódica del 100% ya que es muy poca la cantidad de corriente que se pierde en generar H₂. La ley de Faraday para el caso de la electrodeposición de Ni se puede expresar como.

$$m = 0,95 (a) (I) (t)$$

Donde m es la cantidad en gramos de níquel depositado en el cátodo (o disuelto del ánodo), I es la intensidad de corriente que fluye por la disolución en Amperios, t es el tiempo de flujo de corriente en horas y a es la proporción (tanto por uno) de corriente que se emplea en la reacción de interés. En la mayoría de casos la eficiencia anódica es del 100% mientras que la catódica se encuentra en el intervalo del 92 al 97%, por lo que el valor de a estará comprendido entre 0,92 y 0,97.

Tabla 03: Componentes en la electro deposición del níquel

Nombre	Símbolo	Porcentajes de níquel
Sulfato de níquel	$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	23,30%
Cloruro de níquel	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	24,40%
Sulfamato de níquel	$\text{Ni}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2$	23,2%
Carbonato de níquel	NiCO_3	46%

Fuente: Z. Abdel-Hamid, Compuestos de electrodeposición del níquel, (2010)

2.1.3 Corriente y distribución del metal

Dibari, (2010) El espesor que se puede alcanzar es directamente proporcional a la densidad de corriente a la que se ha sometido una determinada zona de la pieza a recubrir. La densidad de corriente es determinada por cómo la corriente es repartida en la superficie del sustrato. En el recubrimiento con Ni, la distribución es dependiente de factores geométricos de la pieza, de cómo se sitúa con respecto a los ánodos y de las dimensiones del sistema de electrodeposición. Por lo general, las piezas a recubrir presentan diferentes zonas, unas más salientes que otras. Por ello, los espesores que se obtendrán serán diferentes en función de lo expuestas que queden las diferentes zonas. Las zonas más expuestas, las aristas, y las zonas puntiagudas atraerán un mayor número de líneas de corriente y por tanto la deposición del metal en ellas será mayor debido al aumento local relativo de la densidad de corriente. Análogamente, las zonas más ocluidas y las zonas de sombra atraerán un menor número de líneas de corriente y la velocidad de deposición en ellas será menor. Es inevitable concluir que las zonas más expuestas presentarán espesores más altos que aquellas más escondidas.

Este efecto puede mitigarse mediante el uso de máscaras de materiales no conductores que recubran las zonas en las que necesitamos menor espesor o utilizar ánodos auxiliares, que hagan que la distribución de corriente sea mucho más homogénea en cualquier punto del baño. Estos electrodos pueden ser de naturaleza soluble o insoluble y se suelen situar más próximos al cátodo que los ánodos principales.

2.1.4 Throwing power

Abdel, (1998) indica que además de por factores geométricos, la distribución del depósito está influenciada por la polarización del cátodo, la relación entre la eficiencia del cátodo/la densidad de corriente y la conductividad eléctrica de la disolución. La compleja relación existente entre la distribución de la corriente y la cantidad del depósito metálico se denomina *throwing power*. Cuando una disolución presente un elevado valor de TP será capaz de depositar prácticamente el mismo espesor de metal tanto en las zonas ocluidas como en las más expuestas.

Es posible cuantificar el *throwing power* mediante métodos experimentales. Un método sencillo consiste en metalizar cilindros de diferentes diámetros y estudiar la profundidad que alcanza el depósito, variando las condiciones experimentales. El *throwing power* se verá afectado por diferentes factores, tales como:

1. Abdel, (1998) Las condiciones operacionales (densidad de corriente, temperatura, pH y agitación): Cualquier cambio que produce un aumento en la polarización del cátodo, producirá una mejora en el valor del *throwing power*. Disminuir la densidad de corriente, aumentar la distancia entre el ánodo y el cátodo y aumentar tanto la temperatura como el pH, producirán una mejora en el *throwing power*.
2. Abdel, (1998) Efecto de los aditivos: Mientras que algunos compuestos orgánicos reducen el valor del *throwing power* de los baños de níquel, algunas sales de elementos alcalinos y alcalinotérreos aumentan la conductividad produciendo una mejora en el *throwing power*. Una mejora en la conductividad mejorará el valor del *throwing power*.

2.1.5 Estrés interno

Abdel, (1998) El término estrés interno hace referencia a las fuerzas creadas en los depósitos como resultado del proceso de electro cristalización y/o codeposición de

impurezas, tales como hidrógeno, azufre y otros elementos, aunque el azufre parece ser el principal responsable.

2.1.6 Adhesión

Mandich, (2002) formula que es una de las propiedades críticas en cualquier aplicación excepto en la de electro formado.

Una adhesión perfecta en términos estructurales sería aquella en la que la red metálica del sustrato continua sin interrupción con la red del depósito, considerándose este una prolongación del primero. Sin embargo, esto no es siempre posible y aparecen defectos en la red, formándose enlaces entre sustrato y depósito de diferente naturaleza, aunque siempre que la fuerza del enlace sea mayor que la de tensión, consideraremos que la unión es buena. Para conseguir una adhesión buena es imprescindible haber realizado una limpieza extrema de la superficie, mediante algún método físico o químico o combinación de ambos.

2.1.7 Nivelación y micro throwing power

Mandich, (2002) hace referencia a la capacidad del baño para generar un depósito uniforme, que nivele los defectos estructurales, tales como arañazos o agujeros, que presenta la superficie de la pieza a metalizar, obteniéndose un depósito de apariencia lisa y terminación suave.

2.1.8 Tipos de baños de niquelar

1) Baño Watts.

Debido a la importancia que ha tenido el baño desarrollado por el Prof. Watts, haremos un estudio más exhaustivo de sus componentes, así como de algunas características representativas del mismo.

2) Componentes básicos de un baño tipo Watts

Sulfato de Níquel. Abdel, (1998) Es la principal fuente de iones níquel y generalmente se mantiene en concentraciones comprendidas entre 150 y 300 g/L. Es la sal de níquel más económica y su contra-ión no presenta grandes interferencias en las propiedades del depósito.

Cloruro de níquel. Wiley, (2010) Su principal función es la de mejorar la corrosión del ánodo y aumentar la conductividad del baño. El rango de concentraciones en el que se suele operar, está comprendido entre 30 y 150 g/L. Con menos de 30 g/l la corrosión no será efectiva y se necesitaran ánodos de material especial que contengan sulfuro u oxido de níquel empelados como especies electroactivas en el baño.

Níquel total. Wiley, (2010) Hace referencia a la concentración total de iones Ni^{2+} en disolución. Conforme los requerimientos de densidad de corriente aumentan, el mayor consumo de iones níquel, debido a su mayor velocidad de deposición, debe compensarse mediante un incremento en su concentración. La concentración total de iones níquel es un factor significativo en el valor de la densidad de corriente limitante, o el punto a partir del cual podemos obtener depósitos nodulares o quemados.

Ácido Bórico. Holm, (2000) asevera que su misión principal es la de actuar tamponando la concentración de protones, ya que si no estuviera presente, el pH en las zonas de alta densidad de corriente, pasaría rápidamente de 6, produciendo hidróxido de níquel.

Mockute y Bernotiene, (2000) afirma que este hidróxido puede precipitar en la disolución o bien codepositarse con hidrogeno en la superficie a metalizar obteniéndose un depósito con una superficie quemada o con nódulos verdes. Un indicador de baja concentración de ácido bórico es la aparición de grietas o rugosidades en las regiones de alta densidad de corriente. Además, también juega un importante papel en la determinación del límite superior de la densidad de corriente aplicable.

Abrillantadores orgánicos. Wiley, (2010) Con el objeto de obtener las propiedades físicas adecuadas, tales como un depósito brillante, es necesario modificar los componentes del baño añadiendo aditivos. Por lo general, estos aditivos son compuestos orgánicos que modifican el depósito de níquel, obteniendo un acabado que se ajuste a lo deseado. Los abrillantadores para baños semi-brillantes son empleados para generar un depósito uniforme, en el que el azufre no se coodeposite con el níquel

3) Condiciones operacionales de baño de watts.

Wiley, (2010). Las condiciones en las que un baño tipo Watts trabaja de manera óptima son bastante independientes de la composición del mismo y a continuación se realizará un resumen de las características que requerirán un mayor control para conseguir un proceso adecuado.

Coefficiente de Acidez o pH

El pH suele estar comprendido entre 3,5 – 4,5 rango en el que los aditivos presentes generan valores óptimos de brillo y nivelación. Un aumento en el pH puede conducir a la deposición de hidróxidos metálicos y aumentar el consumo de los abrillantadores.

Debido a que la eficiencia catódica es ligeramente inferior a la anódica, parte de los protones presentes en disolución se irán retirando de ella por su reducción a H_2 , y provocando un aumento del pH del baño. La adición moderada de un ácido no oxidante, como por ejemplo H_2SO_4 o HCl , permite el descenso del valor del pH hasta valores de trabajo adecuados.

Agitación y temperatura de uso.

Wiley, (2010). La agitación y la temperatura permiten aumentar la difusión de los iones desde el seno de la disolución hacia las proximidades del cátodo. De esta manera, al refrescarse la superficie catódica constantemente, evitamos que se “queme” y que lleguen a ella los solutos necesarios para la obtención de un depósito adecuado.

La agitación puede ser con aire, mecánica o una combinación de ambas. La agitación mediante un soplador de aire de baja presión, es el método más extendido, sobre todo en aplicaciones decorativas. Su uso amplía los rangos de concentración utilizables de los ingredientes en el baño, reduce su concentración en las proximidades del sustrato y minimiza la necesidad del uso de agentes surfactantes y los problemas de agrietamiento causados por el H_2 . Como contrapunto, la agitación con aire desde el fondo, provoca que sólido decantado en el fondo del tanque acceda a las proximidades del cátodo, comprometiendo su acabado. Este efecto se puede eliminar mediante una filtración adecuada de la disolución.

La temperatura permite que todos los componentes del baño se encuentren disueltos, mezclados y operativos. Si la temperatura es muy elevada, el consumo del agente que se deposita es mayor, aumentando el coste y apareciendo problemas de acabado. Si la temperatura es muy baja, el ácido bórico precipitará y los aditivos pueden no funcionar adecuadamente.

Filtración.

Aunque no es algo extremadamente crucial, sí que es deseable disponer de una filtración adecuada. La filtración permite retirar las partículas en suspensión ajenas al baño y los restos insolubles de reactivos y además puede servir para eliminar el exceso de residuos de abrillantador y de otros residuos orgánicos siempre que se utilice en conjunción con un filtro de carbón activo. Una correcta filtración retrasará la necesidad de añadir aditivos al baño aumentando su tiempo de uso y proporcionará un acabado mejor.

4) Resolución de problemas en el acabado en los baños tipo Watts

Rugosidad

Sandu, (2006) La rugosidad, por lo general aparece como consecuencia de la presencia de partículas sólidas en suspensión que se adhiere a la superficie de la pieza objeto de trabajo. Una gran rugosidad se puede producir como consecuencia de una limpieza previa inadecuada, por rotura de las bolsas que recubren los ánodos, por exceso de suciedad ambiental, por partes escindidas de procesos previos, por la presencia de

reactivos precipitados, por una filtración inadecuada, etc. Una rugosidad más ligera se puede deber a la precipitación de contaminantes metálicos en la superficie catódica, ocasionando una rugosidad local. Cromo, hierro o aluminio procedentes de la pieza a recubrir o de alguno de los componentes del baño, pueden precipitar como hidratos en las zonas de alta densidad de corriente en la superficie dado que el valor del pH es mayor en estas zonas que en seno de la disolución. En estos casos, se puede solventar el problema bajando el valor del pH.

Fracturas en la superficie.

Dibari, (2010). Fracturas y rugosidad pueden confundirse. Para discernir entre ellas, se hará necesaria la utilización de un microscopio. Por lo general, las fisuras son muy redondas y brillantes, y son habitualmente causadas por el hidrógeno (gas) adherido a la superficie durante el proceso de deposición. Una agitación deficiente, una excesiva densidad de corriente o una baja concentración de ácido bórico, parecen ser los causantes de este tipo de defectos superficiales. Se puede mitigar mediante la adición de algún surfactante.

Adhesión.

Dibari, (2010). Si un recubrimiento se pela, la causa puede ser una mala adhesión. De nuevo, una limpieza deficiente suele estar detrás de este problema. La contaminación de las disoluciones de limpieza o la pérdida de efectividad de las mismas por descomposición de las especies activas, pueden ser las causantes de esta limpieza deficiente.

Ductilidad y estrés.

Dibari, (2010). Una indicación de que los baños no están siendo correctamente mantenidos es la generación de depósitos poco dúctiles y con gran estrés. La presencia de contaminantes metálicos y orgánicos, proporciones erróneas en la cantidades de abrillantadores/reactivos o la descomposición de los aditivos, pueden ser causa de este mal comportamiento.

Depósitos mate.

Dibari, (2010). La falta de lustre puede ser resultado de un material base rugoso, de una falta de limpieza, de una disolución contaminada, una agitación no uniforme, proporciones erróneas de reactivos o fallo en el control adecuado de las condiciones operacionales. Un bajo valor de pH o baja temperatura también produce la pérdida de brillo o un nivelado muy pobre.

Impurezas.

Dibari, (2010). Cobre, plomo, zinc y cadmio, incluso en pequeñas cantidades (20-50 ppm), producen depósitos mate, negros o condiciones en las que no es posible depositar el metal en zonas de densidad de corriente bajas. Estos metales se eliminarán mediante su deposición en piezas a descartar (dummy) con una densidad de corriente baja.

Purificación de la disolución de níquelar.

Dibari, (2010). Gracias a los avances realizados en el campo del electro depositado de níquel el proceso de purificación cada vez presenta menor peso en el trabajo general realizado en estos procesos. Por lo general, una filtración a través de carbono activo y un tratamiento con agua oxigenada es suficiente. Una filtración en continuo a través de carbono es muy recomendable.

Las impurezas metálicas y algunos derivados orgánicos pueden retirarse de la disolución mediante un tratamiento con densidad de corriente baja de entre 0,2 y 0,6 A/cm². Es recomendable que el cátodo sea de hierro corrugado previamente limpiado y níquelado, con una superficie tan grande como sea posible y mantener una buena agitación de la disolución, bien mediante aire o mecánicamente.

5) Baños de níquel brillantes.

Pletcher (1984) La combinación adecuada de aditivos permite obtener depósitos brillantes para un amplio margen de densidad de corriente. Los depósitos así generados, suelen estar perfectamente nivelados, con ductilidad adecuada y bajo estrés en la red cristalina.

- a. Transportadores:** Generalmente son compuestos orgánicos, cíclicos y aromáticos tal como se muestran en la figura 02.

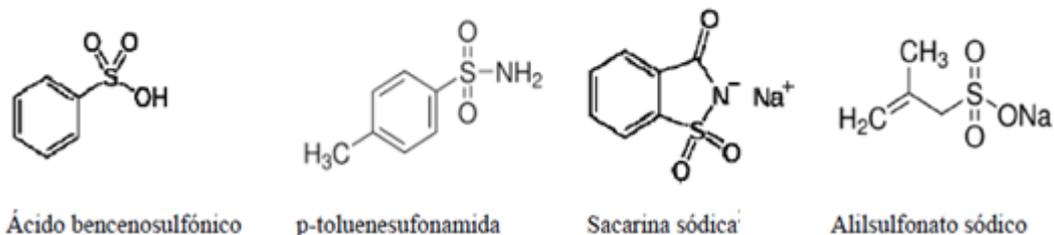


Figura 02. Ejemplos de transportadore Snyder, (2002).

Estos transportadores son la principal fuente de azufre en el níquel codepositado. Su principal función es refinar el tamaño del grano y producir depósitos con mayor lustre comparado con los obtenidos en su ausencia. Cuando se emplean ellos solos no generan baños con brillo de espejo. Sus concentraciones suelen estar comprendidas entre 1 y 5 g/L. No se eliminan rápidamente por electrólisis y su consumo se debe principalmente a pérdidas por arrastre y por filtración a través de carbón activo.

- b. Abrillantadores:** En combinación con los transportadores y los abrillantadores auxiliares, generan depósitos brillantes, dúctiles y nivelados, en un amplio rango de densidades de corriente así como la tiourea, coumarina, alisulfonato sodico tal como se muestran en la figura 03.

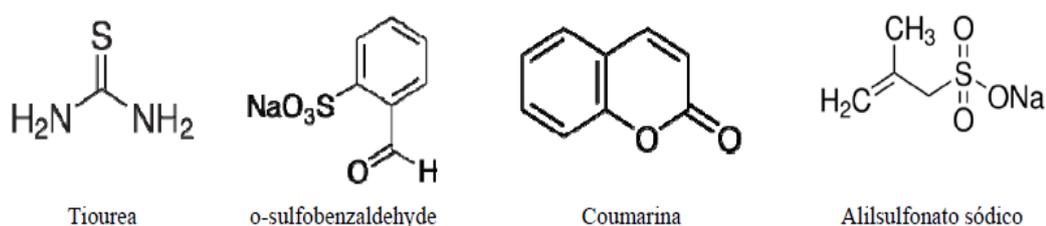


Figura 03. Abrillantadores comúnmente utilizados Snyder, (2002).

Snyder (2002) Dice que el compuesto más empleado ha sido la coumarina, debido a las características que aporta al baño de níquel. Consigue depósitos con mayor estrés interno y promueve fragilidad en los depósitos. Sus concentraciones están

comprendidas entre 0,005 y 0,2 g/L. Su utilización está siendo desplazada en los últimos años debido a que se ha identificado como un agente potencialmente cancerígeno.

- c. **Abrillantadores auxiliares:** Mohanty, (2002) Dice que su misión es aumentar el lustre de los depósitos, colaborando activamente con los transportadores y los abrillantadores. Su concentración se encuentra comprendida entre 0,1 y 4 g/L. Algunos ejemplos son el alilsulfonato sódico, Zn, Co, Cd, etc. aunque el empleo de cationes metálicos está en desuso. Por ejemplo el Cd^{2+} no afecta en la eficiencia de la corriente, pero sí que parece que afecta tanto a la morfología de la superficie del depósito como a su calidad.

6) Baños de níquel semibrillantes.

La mayoría de los depósitos de níquel requieren un largo periodo de deposición para obtener un resultado brillante y en ocasiones la codeposición de cromo es necesaria para conseguirla. Los depósitos brillantes de níquel, contienen suficiente azufre para hacerlos más activos, electroquímicamente hablando, que el níquel sin azufre, causando un incremento en la tendencia a la corrosión. En ambientes agresivos, esto puede conducir a un deterioro más rápido del recubrimiento y posterior corrosión del metal base que se muestra en la figura 04.

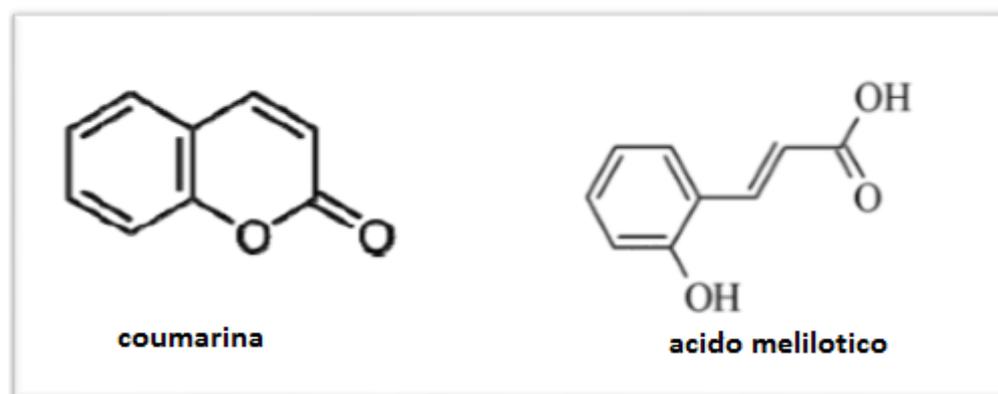


Figura 04: coumarina y ácido melilótico Snyder, (2002)

Los baños de níquel semibrillantes generan depósitos lisos, libres de azufre con estructura en columnas, similares a los depósitos con baños watts, en contraste con los depósitos de níquel brillantes que presentan estructuras en láminas, como consecuencia del codeposito periódico de azufre. La superficie altamente nivelada es fácilmente pulida para conseguir un acabado de espejo. La buena ductilidad que presentan estos depósitos es importante para utilizarlos en aplicaciones donde los recubrimientos en multicapas sufren procesos de elevado estrés.

7) Recubrimientos de níquel especiales para la protección del metal base.

Recubrimientos multicapa

Durose, (1993) El trabajo continuado de muchos investigadores ha permitido conocer que la utilización de diferentes combinaciones de metales y sustratos puede mejorar las propiedades de los depósitos obtenidos. Numerosos autores han explicado la causa de que un recubrimiento formado por níquel brillante y níquel semibrillante se comporte mejor ante la corrosión. Básicamente, su explicación radica en considerar que la parte semibrillante se polariza catódicamente disminuyendo su facilidad para corroerse, mientras que la capa brillante se polariza anódicamente, aumentando su grado de corrosión y protegiendo a la capa semibrillante de la corrosión durante más tiempo y por tanto, protegiendo el metal base. Cuando además hay cromo presente se polariza catódicamente, las dos capas de níquel se polarizan anódicamente, aumentando por tanto su capacidad para corroerse. Es posible introducir una tercera capa en los depósitos aunque los resultados preliminares parecen indicar que no produce una disminución de la corrosión frente al depósito de sólo dos capas. Estos depósitos en multicapa presentan valores de resistencia al desgaste y a la corrosión mejores que los de los metales puros. Existe un baño que deposita sobre una base de níquel brillante otra capa de bajo brillo que contiene partículas inertes, no metálicas que se codepositan con el níquel así como se puede observar en la figura 5B, sirviendo de germen para los micro poros que aparecerán en la capa de cromo que se aplicará posteriormente. La presencia de estas partículas inactivas, genera imperfecciones en la superficie de

níquel, haciendo que el cromo no se pueda depositar en la totalidad de la superficie, obteniéndose así un recubrimiento de cromo con poros plateado cromo micro poroso como se observa en la figura 5C, proporciona una ventaja frente a la corrosión, ya que la corrosión se producirá en la totalidad de la superficie, en lugar de centrarse únicamente en algunas áreas localizadas. Con esta técnica se pueden proteger ante la corrosión con bases de azufre tal como se ve en la figura 5C, acero, zinc, cobre, aluminio así como otros muchos materiales así como se muestra en la figura 5A.

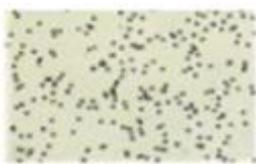
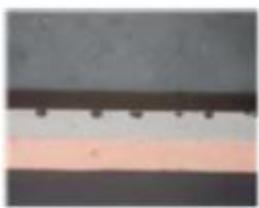
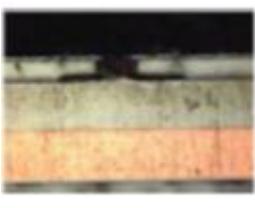
	
<p>5 A. Patrón de porosidad típico para un recubrimiento Ni- Cr</p>	<p>5 B. Depósito de cromo micro poroso</p>
	
<p>5 C. Sección transversal de la corrosión encontrada bajo un recubrimiento de níquel</p>	<p>5 D. sección transversal de un depósito de níquel con alto contenido de azufre</p>

Figura 05. Ejemplos de depósito en multicapa fuente Snyder, (2002).

8) Electro cristalización

Macheras, et al. (1996) Formula que el mecanismo a través del cual los aditivos orgánicos modifican el proceso de electro cristalización y generan depósitos de muy alto brillo también depende de una adsorción, una hidrogenación y una desorción. La molécula orgánica se adsorbe en la superficie, a través de su doble enlace, bloqueando ciertos sitios en la red del níquel y alterando la forma en la que ocurre el crecimiento

de las distintas caras del cristal. El doble enlace reacciona con el hidrógeno generado en la superficie catódica, reduciéndose y posteriormente des adsorbiéndose de la superficie o bien, incorporándose al depósito. El grado en el que ocurre esto depende en gran medida del grado de instauración, del tamaño y de la forma de la molécula orgánica, así como de los grupos funcionales presentes, de su aromaticidad o de factores estereoquímicas.

9) Electro formado

Macheras, et al (1996) El electro formado consiste en la utilización de la electroquímica para el crecimiento de piezas metálicas que por su complejidad son difíciles de obtener con los métodos tradicionales de mecanizado. El metal, en este caso el níquel se deposita sobre un mandril o molde, que luego se retira obteniéndose una pieza con la forma deseada y constituida íntegramente por níquel.

10) Parte Experimental.

Edwards, (1997) El baño consiste en una disolución de NiSO_4 en presencia de diferentes aditivos. Su composición exacta nos es desconocida puesto que se trata de una disolución atentada. Sin embargo, siguiendo unos pasos sencillos, es posible obtener una disolución de color verde esmeralda que contiene el Ni, que utilizaremos como baño de niquelado. Además, es imprescindible emplear dos ánodos de níquel y agitar la disolución mediante burbujas de aire para conseguir un acabado óptimo. Por último, destacar que el proceso se debe realizar a una temperatura comprendida entre 55 y 65°C y con una densidad de corriente de 1 A dm^2 durante 10 minutos. En este intervalo de tiempo es posible obtener espesores muy elevados, superiores a las 10 μm . El proceso se debe realizar a una temperatura comprendida entre 55 y 65°C y con una densidad de corriente de 1 A dm^{-2} durante 10 minutos.

2.1.9 Definición de términos básicos

Adhesión. Proceso de impregnado de los electrones de níquel en el cátodo.

Ánodo. Material metálico puro portador de electrones que se transfiere el cátodo por el pulso eléctrico.

Brillante. Propiedad física de carácter óptico que emite luminosidad generada por inducción de luz a un cuerpo.

Cátodo. Electrodo negativo de donde se oxida y desprende el níquel.

Disolución. Material soluble diluido en determinadas composiciones.

Disolución. También se denomina autoestudio o evaluación interna. Es un proceso

Electrodeposición. Deposición de electrones en el área sumergida en el electrolito.

Electrólisis. Proceso de separación del agua por medio de inducción de electricidad.

Fotolitográficas. También se denomina autoestudio o evaluación interna. Es un proceso.

Laminado. Proceso mecánico de planchado de la pieza metálica.

Niquelar. Proceso de cubrir con níquel el material de hierro.

Mecanizado. Proceso de formado mediante uso de fuerzas mecánicas.

pH. Nivel de acides de una solución.

Solución. Compuesto líquido.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Localización

La parte experimental de la investigación se llevó a cabo en el laboratorio de operaciones de la Facultad de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, empleando el equipo modular

3.1.2 Materiales y equipos

3.1.2.1. Materiales

- Resistencia de calentamiento PT-100
- Probeta de 80 ml LBL- 0268
- Bureta digital BRAND GMBH 4760151

3.1.2.2. Equipos

- Termómetro PT100
- Voltímetro SUNWA RE50G
- Amperímetro RANGE CE 78G
- Cronómetro PC6060
- Rectificador DISEÑO PROPIO
- Fuente de poder DISEÑO PROPIO
- pH – Metro HI 5222
- Balanza analítica ADAM NBL 254e

3.2 Materia prima

3.2.1 Descripción de la materia prima

- **Cloruro de níquel:**

El Cloruro de níquel (II), es el compuesto químico NiCl_2 . La sal anhidra es amarilla, pero el hidrato más conocido es el $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ es verde. Muy raras veces se encuentran en la naturaleza como nickelbischofite mineral.

Masa molar: 129,5994 g/mol

Punto de fusión: 1455 °C

Densidad: 3,55 g/cm³

NFPA 704: 0 2 0

- **Sulfato de níquel:**

El níquel cristalizado es otro elemento importante al conformar las sales utilizadas en los baños galvánicos, para la fabricación de catalizadores de níquel y para el niquelado galvánico de diversos objetos metálicos.

Fórmula: NiSO_4

Masa molar: 154,75 g/mol

Densidad: 3,68 g/cm³

Punto de ebullición: 840 °C

- **Ácido bórico:**

El ácido bórico o ácido trioxobórico (III) es un compuesto químico, ligeramente ácido. Es usado como antiséptico, insecticida, retardante de la llama y precursor de otros compuestos químicos. Es usado también como agente tampón para regulación del pH.

Fórmula: H_3BO_3

Masa molar: 61,83 g/mol

Densidad: 1,44 g/cm³

Punto de fusión: 170,9 °C

Soluble en: Agua

- **Abrillantadores orgánicos:**

Con el objeto de obtener las propiedades físicas adecuadas, tales como un depósito brillante, es necesario modificar los componentes del baño añadiendo aditivos. Por lo general, estos aditivos son compuestos orgánicos que modifican el depósito de níquel, obteniendo un acabado que se ajuste a lo deseado. Los abrillantadores para baños semi-brillantes son empleados para generar un depósito uniforme, en el que el azufre no se coodeposite con el níquel. La deposición de azufre, de mayor tamaño que el níquel, produce defectos de red que pueden comprometer la estabilidad del recubrimiento.

Material metálico:

Metales se llaman a aquellos materiales que son buenos conductores del calor y la electricidad, poseen alta densidad, tienen una elevada capacidad de reflexión en el experimento se usó tubos de media pulgada de acero al carbono de 20cm de altura por ½ pulgada de diámetro.

3.2.2 Preparación de la materia prima

Los reactivos como el sulfato de níquel el cloruro de níquel, el ácido bórico, los abrillantadores orgánicos y el material metálico y el agua debe ser pesado y medido.

3.2.3 Pesado de cloruro de níquel:

Doblar un papel de pescado de dimensiones de 10 cm de largo por 8 cm de largo
En una balanza analítica tarar el peso del papel y agregar el reactivo cloruro de níquel hasta pesar 30 g cloruro de níquel dicho proceso se muestra en la figura 06.



Figura 06: Balanza analítica

3.2.4 Pesado de sulfato de níquel:

Doblar un papel de pescado de dimensiones de 10 cm de largo por 8 cm de largo
En una balanza analítica tarar el peso del papel y agregar el reactivo cloruro de níquel hasta pesar 15 g sulfato de níquel dicho proceso se muestra en la figura 07.



Figura 07: Proceso de pesado

3.2.5 Pesado de ácido bórico

Doblar un papel de pescado de dimensiones de 10 cm de largo por 8 cm de largo
En una balanza analítica tarar el peso del papel y agregar el reactivo cloruro de níquel hasta pesar 2 g ácido bórico dicho proceso se muestra en la figura 08.



Figura 08: Ácido bórico sólido

3.2.6 Pesado de abrillantadores

Doblar un papel de pescado de dimensiones de 10 cm de largo por 8 cm de largo
En una balanza analítica tarar el peso del papel y agregar el reactivo cloruro de níquel hasta pesar 2 g abrillantador sacarina dicho proceso se muestra en la figura 09.



Figura 09: Abrillantadores

3.2.7 Medición de volumen de agua

En un vaso precipitado de 400ml medir 200 ml de agua y verter en la cuba electrolítica junto a los reactivos que se muestra en la figura 10.

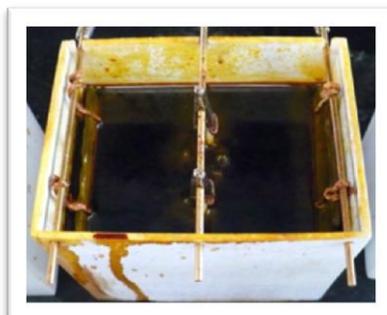


Figura 10: Cuba electrolítica

3.2.8 Pulido de piezas metálicas

Pesar tubos de media de 5cm de altura y de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro que se muestra en la figura 11, 12, 13, 14 y 15.



Figura 11: Metales tubos de $\frac{1}{2}$ pulgada sin recubrir A



Figura 12: Metales tubos de ½ pulgada sin recubrir B



Figura 13: Metales tubos de ½ pulgada y alambre de cobre



Figura 14: Metal en proceso de pulido



Figura 15: Metal electro depositado

3.3 Descripción del equipo modular de electrodeposición

3.3.1 Rectificador

Un rectificador es un elemento o circuito que permite convertir la corriente alterna en corriente continua esto se realiza usando diodos rectificadores, ya sean semiconductores de estado sólido, válvulas al vacío o válvulas gaseosas como la de vapor de mercurio.

Dependiendo de las características de la alimentación en corriente alterna que emplean, se clasifica en monofásico, cuando están alimentados por una fase de la red eléctrica o trifásica, cuando se alimentan por tres fases así como se puede ver en la figura 16.



Figura 16: Rectificador

3.3.2 Tanques de electrodeposición

Es el espacio donde se realizara el proceso de electrodeposición sumergido en los ácidos en donde interviene la corriente eléctrica

En el experimento se utilizó una cuba electrolítica con solución de sulfato de níquel, cloruro de níquel, ácido bórico y abrillantadores así como se puede ver en la figura 17.



Figura 17: Tanque de electrodeposición A

3.3.3 Electroodos

En electroquímica, electrodo es una pieza de metal que se encuentra sumergido en una disolución acuosa con un ión de su mismo metal, según la concentración de ión de la disolución, dicho ión estará a un potencial eléctrico distinto. Una pila electrolítica está conformada, esencialmente de los electrodos se suelen dar en relación al potencial del llamado electrodo normal del hidrógeno así como se puede ver en la figura 18.



Figura 18: Tanque de electrodeposición B

3.3.4 PROCESO DE DESENGRASE ELECTROLÍTICO

El proceso consiste en lo siguiente:

Se funde o se disuelve el electrolito en un determinado disolvente, con el fin de que dicha sustancia se separe en iones (ionización).

Se aplica una corriente eléctrica continua mediante un par de electrodos conectados a una fuente de alimentación eléctrica y sumergida en la disolución. El electrodo conectado al polo positivo (+) se conoce como ánodo y el conectado al negativo (-) como cátodo.

Cada electrodo mantiene atraídos a los iones de carga opuesta. Así, los iones positivos, o aniones, son atraídos al cátodo, mientras que los iones negativos o cationes, se desplazan hacia el ánodo.

Es un equipo que se utiliza para el desengrase del metal oxidado, que funciona con un rectificador de corriente continua conectada a una cuba con solución de agua, cianuro de sodio, hidróxido de sodio.

En definitiva lo que ha ocurrido es una reacción de oxidación-reducción, donde la fuente de alimentación eléctrica ha sido la encargada de aportar la energía necesaria.

Si el agua no es destilada, la electrólisis no solo separa el Oxígeno y el hidrógeno, sino los demás componentes que estén presentes como sales, metales y algunos otros minerales.

Es importante tomar en cuenta varios puntos:

Nunca se debe juntar los electrodos, ya que la corriente eléctrica no va a hacer su proceso y el rectificador se va a sobrecalentar.

Debe utilizarse siempre corriente continua (energía de baterías o de adaptadores), nunca corriente alterna.

En el caso de este experimento se realizó con lavado con detergente y abundante agua.

3.3.5 TRANSISTOR

El primer transistor de puntas de contacto funciono en diciembre de 1947; se anunció por primera vez en 1948 pero se terminó de fabricar hasta 1952 tras construir el dispositivo de germanio.

El transistor ha contribuido, como ninguna otra invención, al gran desarrollo actual de la electrónica y la informática, empleándose comercialmente en todo tipo de aparatos electrónicos, tanto domésticos como industriales. La primera aplicación de estos dispositivos se hizo en los audífonos. Por su trabajo con los semiconductores y así con pasos agigantados llega a entrar en el trabajo de la electrolisis que existe desde más simples hasta más complejas.

3.3.6 RECTIFICADOR DE CORRIENTE ELÉCTRICA

El rectificador de corriente es una unidad estática alimentada por corriente alterna que permite transformarla en corriente continua.

Un ratificador de corriente es el elemento o circuito que permite convertir la corriente alterna en corriente continua. Esto se realiza utilizando diodos rectificadores, ya que sean semi conductores de estado sólido, válvulas al vacío o válvula gaseosas como las de vapor de mercurio.

Dependiendo de las características de la alimentación en la corriente alterna que emplea, se les clasifica en monofásicos, cuando están alimentados por una sola fase de la red eléctrica, o trifásicos cuando se alimentan por tres fases.

Atendiendo al tipo de rectificación, puede ser de media onda cuando solo se utiliza uno de los semi ciclos de la corriente o de onda completa, donde ambos semi ciclos son aprovechados se puede ver en la figura 19.



Figura 19: Rectificador encendido

3.3.7 DIODO

Un diodo es un dispositivo que permite el paso de la corriente eléctrica en una única dirección. De forma simplificada, la curva característica de un diodo (I-V) consta de dos regiones, por debajo de cierta diferencia de potencial, se comporta como un circuito abierto (no conduce), y por encima de ella como un corto circuito con muy pequeña resistencia eléctrica. Debido a este comportamiento, se les suele denominar rectificadores, ya que son dispositivos capaces de convertir una corriente alterna en continua.

3.3.8 REÓSTATO

Un reóstato es un resistor de resistencia variable. Es por tanto un tipo constructivo concreto de potenciómetro (resistencia variable) que recibe comúnmente este nombre en vez del potenciómetro al tratarse de un dispositivo capaz de soportar tensiones y corrientes muchísimo mayores, y de disipar potencias muy grandes.

Los reóstatos son usados en ingeniería eléctrica en tareas tales como arranque de motores o cualquier tipo de tareas que quiera variación de resistencia en condiciones de elevada tensión o corriente.

3.3.9 RESISTENCIA DE PRECISIÓN

Son aquella cuyo valor se ajusta con errores de 100 partes por millón o menos y tienen además una variación muy pequeña con las temperaturas, del orden de 10 partes por millón entre 25 y 125 grados Celsius. Este componente tiene una utilización muy especial en circuitos analógicos, con ajustes muy estrechos de las especificaciones, para más datos recurrir a manuales, entre otros.

3.3.10 RECTIFICADOR DE CORRIENTE

a.- El equipo está compuesto de tres partes principales que reduce la energía eléctrica en la salida la energía eléctrica es corriente continua.

b.- Partes que componen el equipo:

- transformador
- reóstato
- rectificadores

3.3.11 PARTES DEL EQUIPO

EL REÓSTATO.- El reóstato es un devanado de alambre esmaltado que contiene con un medio de ferrita que tiene la función de regulación de la tensión de la energía de 220 voltios a 0 voltios de corriente alterna.

Las partes del reóstato que lo componen esta dado por dos elementos principales que son:

- 1.- Núcleo de ferrita
- 2.- Rebobinado de alambre de cobre esmaltado

3.3.12 TRANSFORMADOR DE POTENCIA

Está compuesto por tres partes principales que tienen la función de elevar la tensión en amperios de 0 a 100 amperios y de 0 a 20 voltios

3.3.13 PARTES DEL TRANSFORMADOR

Está compuesto por tres partes principales que son los siguientes

- a. Núcleo de fierro
- b. Bobina primaria
- c. Bobina secundaria

NÚCLEO DE FIERRO:

Está compuesta del fierro doler bañado con aluminio que tiene la función de paso de magnetismo para la producción de corriente secundaria y al mismo tiempo reducir el calor generado

BOBINA PRIMARIA:

Está compuesta del alambre de cobre N° 13 AWG tiene la función de reducir la energía activas que es esquivada por el reóstato.

BOBINA SECUNDARIA:

Está compuesta de alambre N° 0 tiene función de generar la tensión activa de alto amperaje

3.3.14 RECTIFICADORES

Son componentes electrónicos que tiene la función de rectificar la corriente alterna a corriente continua.

La corriente continua es el que se utiliza de metales de fierros.

Los rectificadores son llamados también diodos que son de las líneas que se encuentran en dos polos entre ellos tenemos diodos negativos y diodos positivos en general se llama ánodos positivos y cátodos negativos.

3.3.15 FILTRADO

La corriente obtenida en la salida de los rectificadores no es propiamente alterna, pero dista mucho de ser aceptablemente constante, lo que inutilizaría para la mayoría de las aplicaciones electrónicas.

Para evitar inconvenientes se procede a un filtrado para eliminar el rizado de la señal pulsante rectificadora.

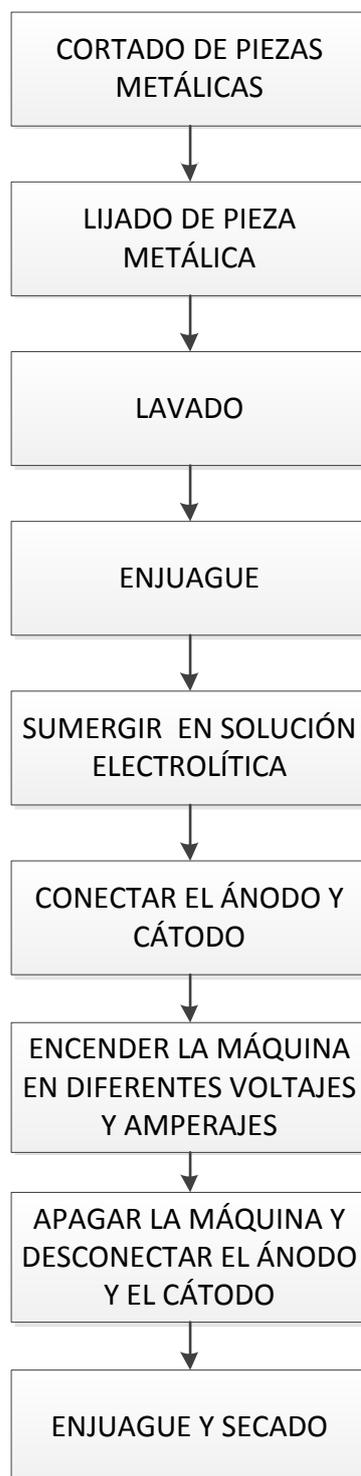
3.3.16 RECTIFICADOR SINCRÓNICO

Hay aplicaciones en las que la caída de tensión directa en los diodos causa una baja eficiencia, como el caso de algunos convertidores. Un rectificador sincrónico sustituye los diodos por transistores MOSFET, gobernados por un circuito control que los corta cuando la tensión entra en su ciclo negativo. Esta técnica tiene tres ventajas frente a los diodos.

3.3.17 PROCESO DE NIQUELADO

El proceso inicia con los siguientes pasos:

- El calentamiento del electrolito a 45 grados Celsius.
- Posteriormente se realiza el lavado o desengrase del material a recubrir.
- Se somete a proceso de lijado con lija 400 y se enjuaga con agua pura.
- Se sumerge el material a recubrir en el tanque de electrodeposición.
- Se enciende el rectificador y se calibra a 2 voltios y 1 amperio de intensidad.
- Se espera durante 10 minutos.
- Se extrae el cátodo y se enjuaga con agua.

DIAGRAMA DE PROCESO DE NIQUELADO

IV. RESULTADOS

4.1 DISEÑO DE LA CELDA

Se considera el tamaño de los productos que entran al proceso

Largo : 0,85 m

Ancho : 0,45 m

Altura : 0,75

Cálculo de largo (L)

$$L = a + 2d_2$$

Dónde:

a = largo del producto a recubrir

d₂ = distancia del producto pared de la cuba igual a 0,1m

Reemplazando se tiene:

$$L = 0,85m + 2(0,1m)$$

$$L = 1,05m$$

Cálculo de ancho(A)

$$A = b + 2d_2$$

Dónde:

b = ancho del producto a recubrir.

d₂ = distancia producto pared de la cuba igual a 0,1m

Remplazando se tiene:

$$A = 0,45m + 2(0,1m)$$

$$A = 0,65 m$$

Cálculo de la altura (H)

$$H = c + d_3 + d_4 + d_5$$

Siendo:

c = Altura del producto a recubrir

- d3 = Distancia producto superficie de la solución igual a 0,15m (dato practico)
 d4 = Distancia producto superficie de la solución igual a 0,1m (dato practico)
 d5 = Distancia superficie de la solución borde de la celda igual a 0,15m (dato practico)

Reemplazando se tiene:

$$H = 0,2m + 0,01m + 0,01m + 0,04m$$

$$H = 0,25m$$

$$\text{Capacidad de celda} = L \times A \times H$$

$$\text{Capacidad de celda} = 0,25m \times 0,35m \times 0,25m$$

$$\text{Capacidad de celda} = 0,02187m^3$$

$$\text{Capacidad de celda} = 21,87 \text{ litros}$$

4.2 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL RECTIFICADOR

Al sumergir un área de 29 dm^2 la intensidad de corriente estándar necesaria es de 0.1A por lo tanto el cálculo de la capacidad del rectificador sería:

$$I = DC \times A$$

$$I = (0,1A/\text{dm}^2) \times (29\text{dm}^2)$$

$$I = 3A$$

4.3 SELECCIÓN DEL RECTIFICADOR DE CORRIENTE

Considerando un margen de seguridad se considera un rectificador de corriente refrigerado por aire con la siguiente capacidad:

$$\text{Intensidad (I)} = \text{de } 0 \text{ a } 5 \text{ A}$$

$$\text{Tensión E} = \text{de } 0 \text{ a } 12\text{voltios}$$

Siendo la potencia de:

$$P = I \times E$$

$$P = 5 \times 12$$

$$P = 60W.$$

4.4 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE ELECTROLITO EN LA CUBA.

$$\text{Cantidad} = A \times H$$

Dónde:

$$A = \text{área de la base}$$

$$H = \text{altura}$$

$$\begin{aligned} \text{Electrolito} &= 0,2m^2 \times 0,3m \\ &= 0,06m^3 \\ &= 60L \end{aligned}$$

4.5 DETERMINACIÓN DEL MEJOR EXPERIMENTO

A. PRUEBA 01 AMPERAJE VS VOLTAJE EN TIEMPO DE 10 MINUTOS

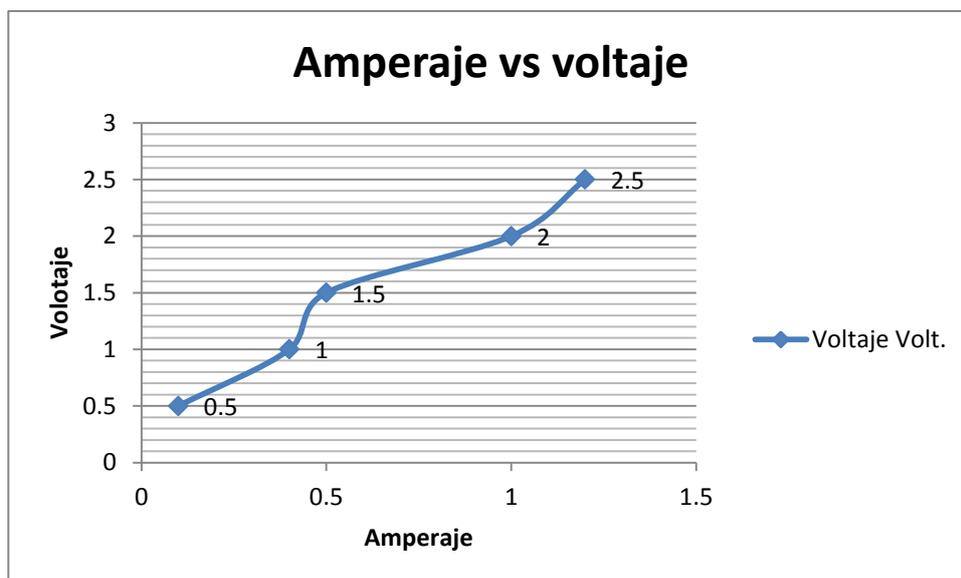
DESCRIPCIÓN: Se realiza experimentos con tiempos constantes tal como se muestra en la tabla 04.

Tabla 04: Datos de primeras pruebas en laboratorio

Pruebas	Amperaje Amp.	Voltaje Volt.	Tiempo min	temperatura	Deposición	Observaciones
1	0,1	0,5	10	50	30	
2	0,4	1	10	45	65	
3	0,5	1,5	10	45	97	
4	1	2	10	42	92	
5	1,2	2,5	10	40	87	

Fuente: Elaboración propia

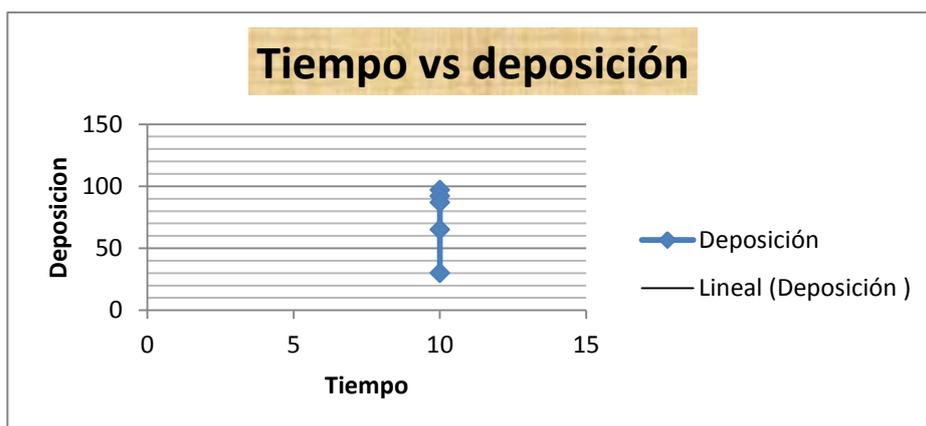
GRÁFICO 01: AMPERAJE VS VOLTAJE



Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCIÓN: En el gráfico 01 se muestra la relación de voltaje vs amperaje, donde el voltaje se incrementa en forma proporcional al incremento del amperaje y que a un voltaje de 2,5 voltios y una intensidad de corriente de 1,4 existe una electrodeposición adecuada.

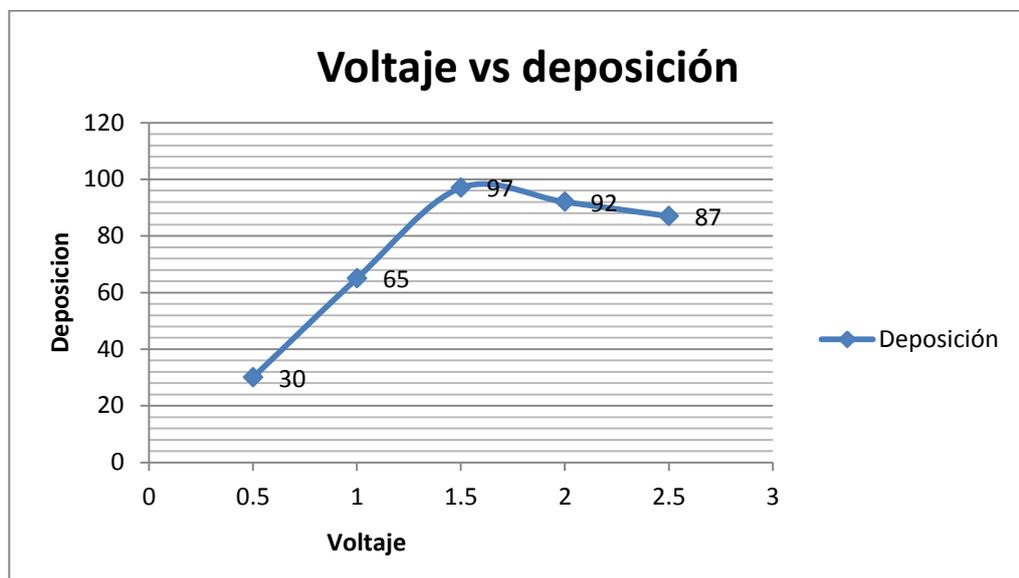
GRÁFICO 02: TIEMPO VS DEPOSICIÓN



Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCIÓN: En el gráfico 02 se muestra la relación de deposición vs tiempo, donde la deposición se incrementa y el tiempo se mantiene constante.

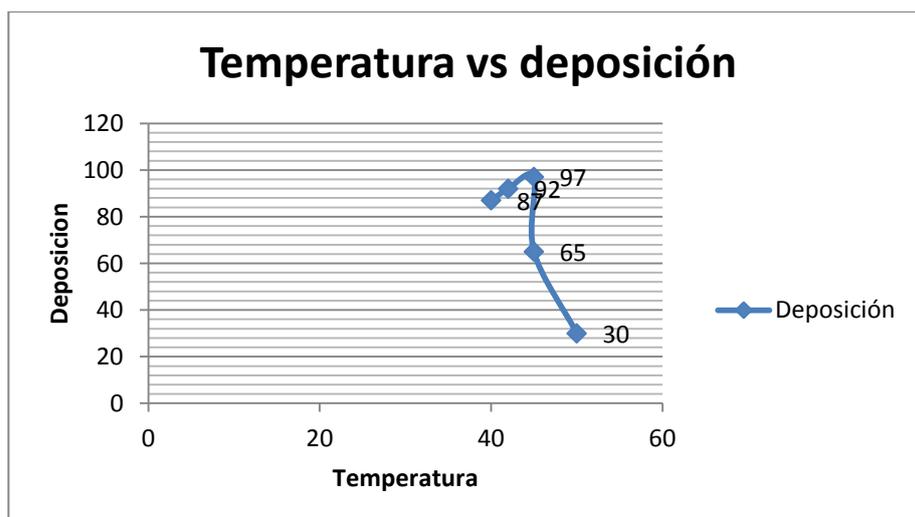
GRÁFICO 03: VOLTAJE VS DEPOSICIÓN



Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCIÓN En el gráfico 03 se muestra la relación de deposición vs voltaje, donde la deposición aumenta en forma proporcional al voltaje y que a un voltaje de 1,6 voltios existe una electrodeposición adecuada.

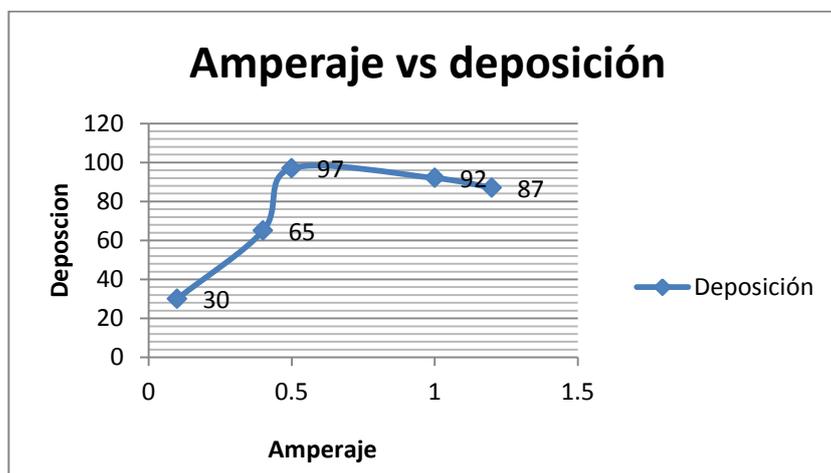
GRÁFICO 04: TEMPERATURA VS DEPOSICIÓN



Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCIÓN: En el gráfico 04 se muestra la relación de temperatura vs amperaje, donde el temperatura disminuye y a deposición también disminuye y que a una temperatura de 56°C hay una depósito del 97%.

GRÁFICO 05: AMPERAJE VS DEPOSICIÓN



Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCIÓN: En el gráfico 05 se observa la relación de deposición vs amperaje se observa que a un amperaje o intensidad de corriente de 0,5 la deposición es óptima

B. PRUEBA 02 EN TIEMPOS VARIADOS

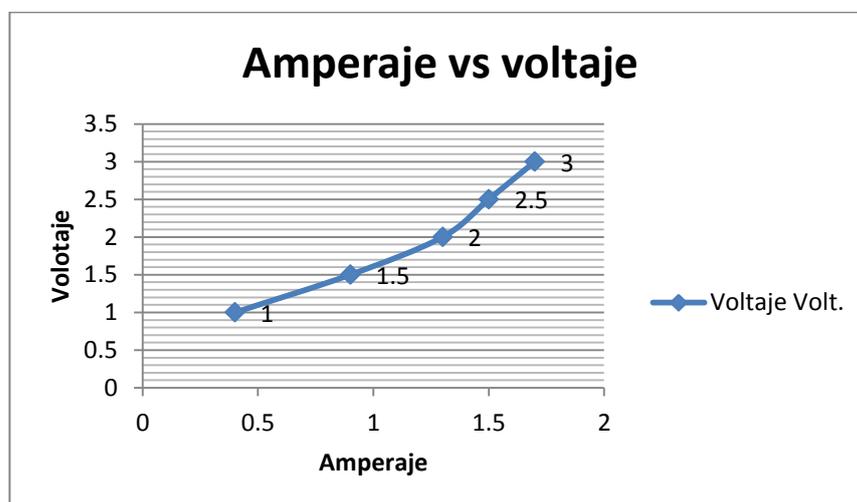
DESCRIPCIÓN: Se realiza experimentos con tiempos variados con incremento de 5 minutos tal como se muestra en la tabla 05.

Tabla 05: Datos de segunda prueba en laboratorio

Pruebas	Amperaje Amp.	Voltaje Volt.	Tiempo min	Temperatura	Deposición	Observaciones
1	1,1	1,5	5	80	30	
2	1,1	1,5	10	75	65	
3	1,1	1,5	15	68	95	
4	1.1	1,5	20	65	96	
5	1,1	1,5	25	63	97	

Fuente: Elaboración propia

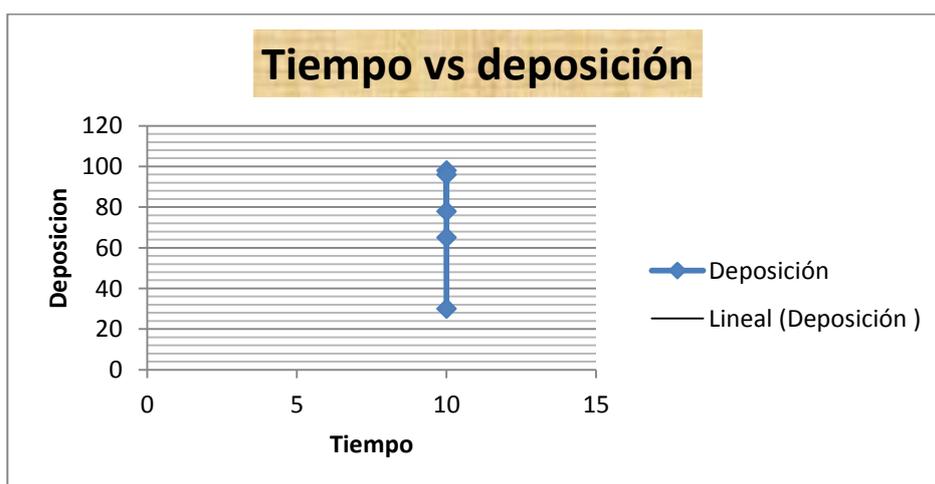
GRÁFICO 06: AMPERAJE VS VOLTAJE



Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCIÓN: En el gráfico 06 se observa la relación de voltaje vs amperaje donde el voltaje va incrementando en forma proporcional al incremento del amperaje y que a un voltaje de 3 voltios y 2,5 de amperios la deposición es óptima.

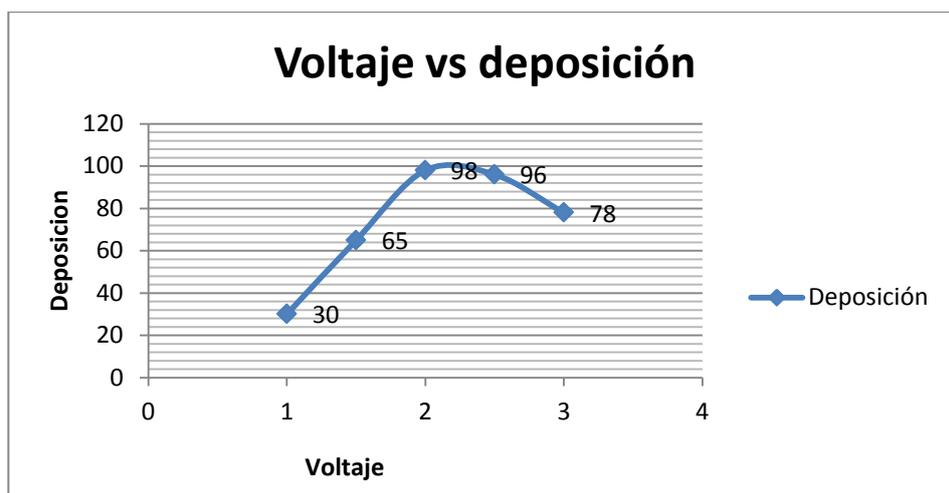
GRÁFICO 07: TIEMPO VS DEPOSICIÓN



Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCIÓN: En el gráfico 07 se observa la relación de deposición vs tiempo, donde la deposición aumenta mientras el tiempo es constante de 10 minutos y que a un tiempo de 10 minutos la deposición es adecuada.

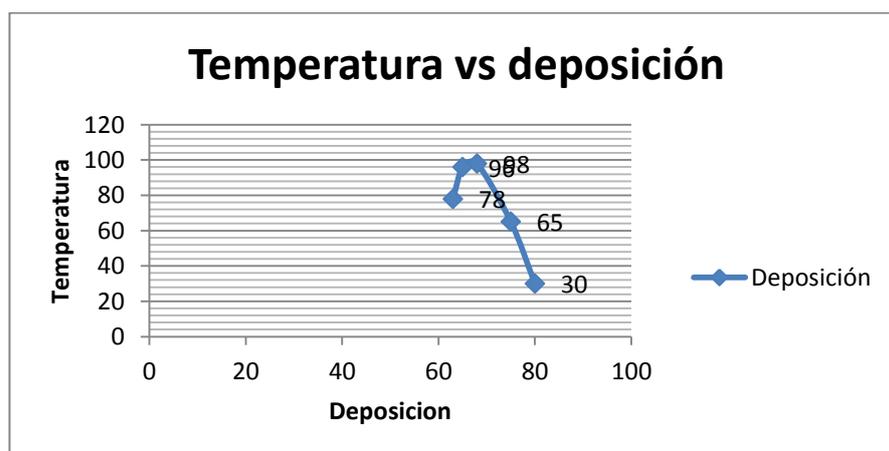
GRÁFICO 08: VOLTAJE VS DEPOSICIÓN



Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCIÓN: En el gráfico 08 se observa la relación de deposición vs voltaje, donde la deposición aumenta en forma proporcional al incremento del voltaje y que a un voltaje de 2 voltios es adecuada la deposición.

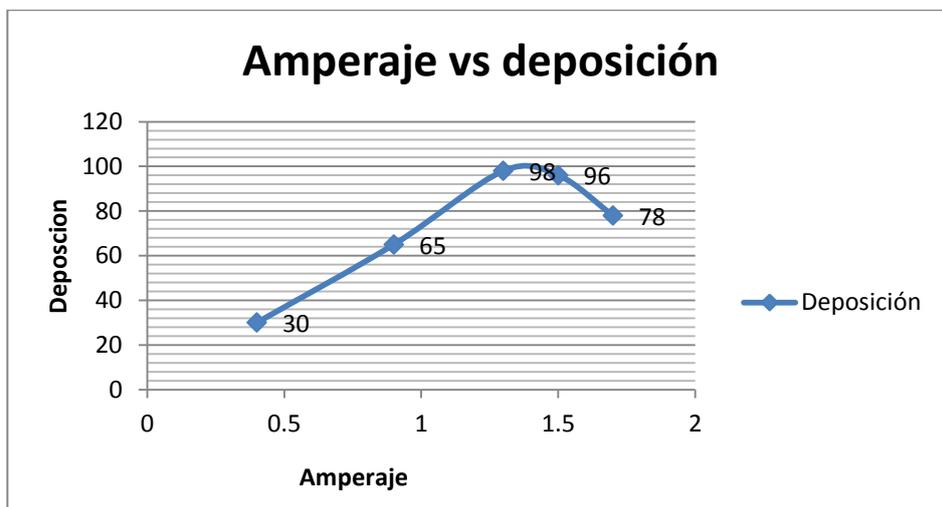
GRÁFICO 09: TEMPERATURA VS DEPOSICIÓN



Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCIÓN: En el gráfico 09 se observa la relación de temperatura vs deposición, donde la deposición decrece en forma proporcional a la disminución de la temperatura y que a una temperatura 98°C logra depositarse de manera homogénea.

GRÁFICO 10: AMPERAJE VS DEPOSICIÓN



Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCIÓN: En el gráfico 10 se observa la relación de deposición vs amperaje, donde la deposición aumenta junto al amperaje y que a una intensidad de corriente de 1,5 amperios la deposición es el 98%.

PRUEBA 03 AMPERAJE VS VOLTAJE EN TIEMPO DE 10 MINUTOS

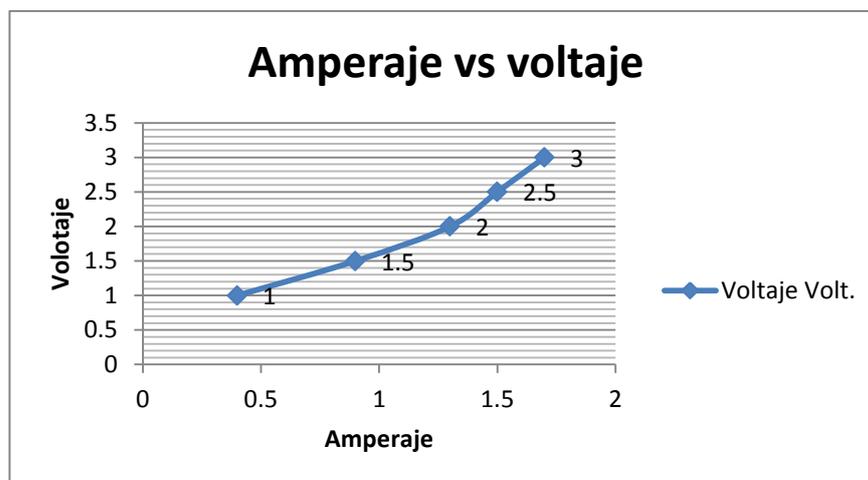
DESCRIPCIÓN: Se realiza experimentos con tiempos constantes de 10 minutos tal como se muestra en la tabla 06.

Tabla 06: Datos de tercera pruebas en laboratorio

Pruebas	Amperaje Amp.	Voltaje Volt.	Tiempo min	Temperatura	Deposición	Observaciones
1	0,4	1	10	80	30	
2	0,9	1,5	10	75	65	
3	1,3	2	10	68	98	PUNTO EXACTO
4	1,5	2,5	10	65	96	
5	1,7	3	10	63	78	

Fuente: Elaboración propia

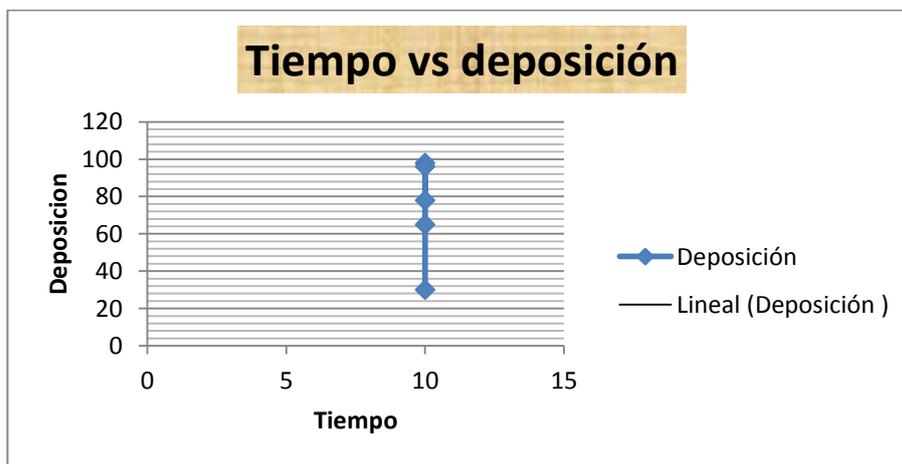
GRÁFICO 11: AMPERAJE VS VOLTAJE



Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCIÓN: en el gráfico 11 se observa la relación del voltaje vs amperaje, donde el voltaje se incrementa de manera proporcional con el amperaje y que a un voltaje de 3 voltios y 2,5 de amperios es óptima.

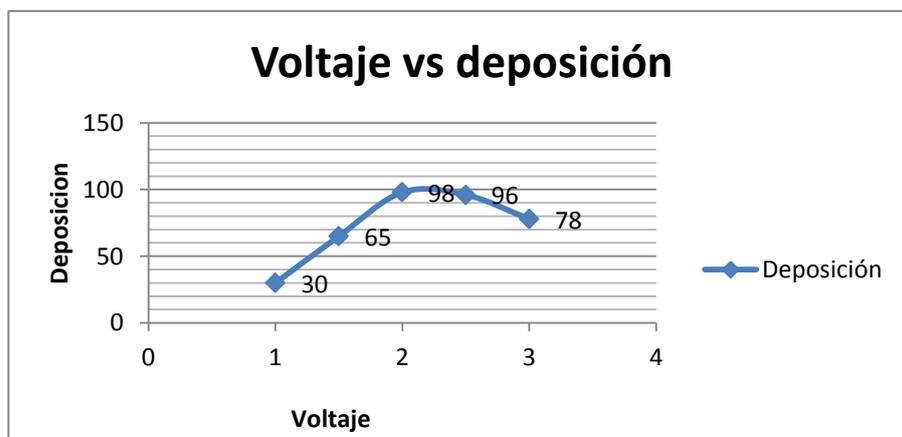
GRÁFICO 12: TIEMPO VS DEPOSICIÓN



Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCIÓN: En el gráfico 12 se observa la relación de deposición vs tiempo, donde la deposición aumenta y el tiempo se mantiene constante y que a un tiempo de 10 minutos la deposición es adecuada.

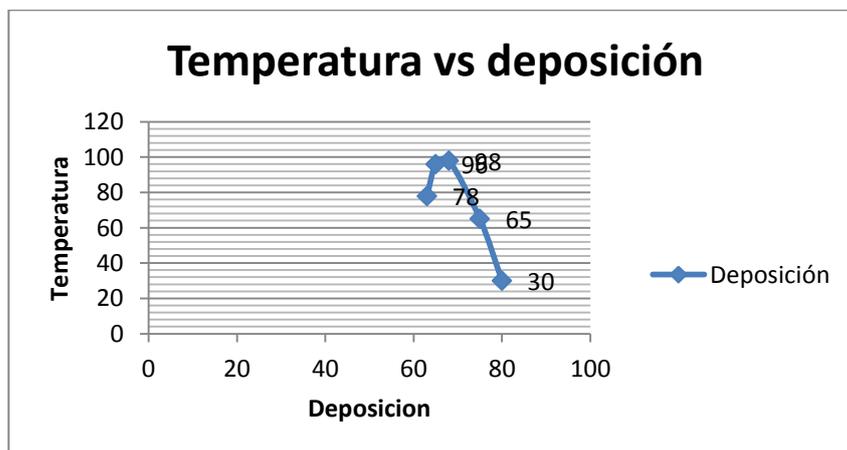
GRÁFICO 13: VOLTAJE VS DEPOSICIÓN



Fuente: Elaboración propia

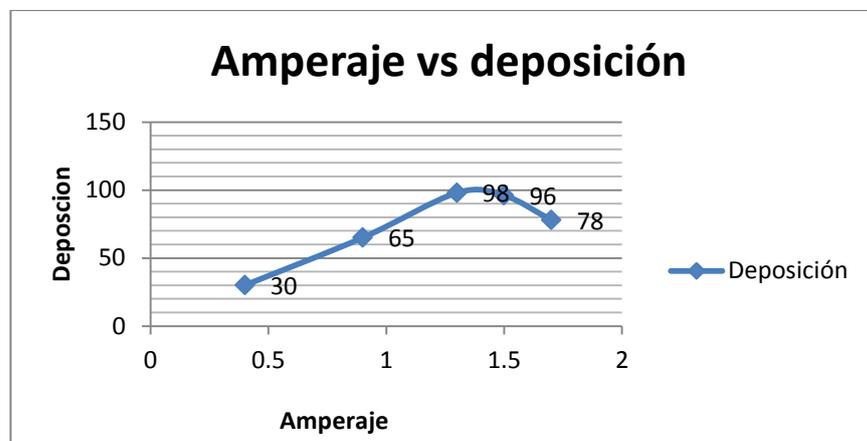
DESCRIPCIÓN: En el gráfico 13 se observa la relación de deposición vs voltaje, donde la deposición aumenta en forma directamente proporcional al incremento del voltaje y que a un voltaje de 2,1 voltios la electrodeposición se realiza de una manera correcta.

GRÁFICO 14: TEMPERATURA VS DEPOSICIÓN



Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCIÓN: En el gráfico 14 se observa la relación de temperatura vs deposición, donde la deposición disminuye en forma directamente proporcional a la disminución de la temperatura y que a una temperatura 98°C logra depositarse de manera homogénea.

GRÁFICO 15: AMPERAJE VS DEPOSICIÓN

Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCIÓN: En el gráfico 15 se observa la relación de deposición vs amperaje, donde la deposición aumenta en forma directamente proporcional al amperaje y que a un voltaje de 3 voltios y 2,5 de amperios es óptima.

V. CONCLUSIONES

- La intensidad de corriente óptima para el recubrimiento es de 1,3 amperio.
- El voltaje óptimo para el recubrimiento es de 2 voltios
- Se encontró el tiempo adecuado en la electrodeposición del níquel en materiales de hierro que es de 10 minutos
- Se recubrió el material de hierro con níquel por proceso de electro deposición.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda automatizar el proceso para que tenga más precisión en el recubrimiento.
- Se recomienda instalar un sistema de ventilación para evacuar los gases en el medio.
- Se recomienda tener mucho cuidado con el flujo de energía eléctrica.
- Se recomienda utilizar ganchos con resorte en los cátodos para fijar el cátodo
- Se recomienda construir un rectificador específico para níquel en 2 voltios y 1,3 de amperaje

VII. REFERENCIAS

1. A. BOUKHOUUIETE, J. CREUS, (2003). Nickel deposits obtain by continuous and pulsed electrodeposition processes, Boukhouiete and Creus, 1840 – 1844.
2. ABDEL HAMID Z., (1998). Mathematics and Chem and Physic, Butterworth Publishers, Edith. Stoneham.
3. ASLI ERTAN, SURNDRA N. TEWARI & ORHAN TALU, (2008). Electrodeposition of nickel nanowires and nanotubes using various templates, Journal of Experimental Nanoscience, 278-295.
4. BALLESTER A. WILEY R., (2000). Electrodeposición del oro en láminas de cobre, Colombia, Editorial Limusa.
5. BISWAS A., (1993). Metalúrgica extractive del Cobre y deposición electrolítica, revista Ainsa. Prentice Hall.
6. CAMBI L., R. PIONTELLY, (2001). Modern electroplating, Fifth Electro-chem, 925.
7. CHAO GUO, YU ZUO, XUHUI ZHAO, JINGMAO ZHAO, JINPING XIONG, (2008), The effects of electrodeposition current density on proprieties of Ni- CNTs composite coatings, Surface Coatingws Technology, 3246 – 3250.
8. DIABARI G. A., (2010). Modern Electro deposition of Nickel, new York, Prentice Hall.
9. DUROSE A. S., (1993). United Second patents of nickel, Organics plating, 35 -76.
10. EDWARDS J., (1997). Aspect Of Adition Agent Behavior, Trans. Inst,41 – 169.
11. GOMEZ OREA, (1994). Evaluación de impacto ambiental, segunda edición. Editorial Agrícola Española, S.A., Madrid. 1994.
12. H.S. KARAYIANNI, G.BATIS AND P. VASSILION, (1999). Corrosion resistance of composite nickel deposits, Anticorrosion Methods and Materials, 29 - 34.
13. HARADA, K. (2005). Waste Processing technologies and risk of hazardous Wastes. Centro de Investigación en Protección Ambiental Instituto Tecnológico de Costa Rica . Costa Rica, 256-265.
14. HOLM MO, KOFE T, (2000). Evaluation of nickel deposition by electrochemical impedance spectroscopy, Electro-chem, 30-55.

15. JUAN C. MANRRIQUE ARIAS, MIGUEL A. AVILA RODRIGUEZ, (2014). A simple and efficient method of nickel electrodeposition for they cyclotron production of Cu, *Applied Radiatino an Isotopes*, 37-41.
16. J.M. FERNANDEZ, (2008). *Principios de Electrodeposición del Níquel*, España, Prentice Hall.
17. KOBYA, MEHMET , TANER CAN, ORHAN AND BAYRAMOGLU, (2003). Mahmut . Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. *Journal of Hazardous Materials B100* 163–17894
18. KOPARAL, A. Savas, OGUTVEREN, (2002). Ulker Bakir. Removal of nitrate from water by electroreduction and electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials B89* 83–94 .
19. LUCIA G. DIAZ BARRIGA, PALACION EDUARDO, MACIAS HERNANDEZ MANUEL, (2013) Elaboración de un recubrimiento epoxico reforzado con de carburo de zirconio, *Avances en Ciencias e Ingenieria*, 85 -94.
20. M. SADEGHI, M. ARMIRI, Z. GHOLAMZADEH, AND P. ROWSHANFARZAD, (2009). Niquel Electrodeposition on copper substrate for cyclotron production of Cu. *Radiochemistry*, 546-550.
21. MACHERAS J., D. VOUIROS, C. KOLLIA AND SPYRELLIS, (1996). Nickel electrocrystallization influence of Unsaturated Organics Additives on the Mechanism of Oriented Crystal Growth, *Trans. Inst*, 55 – 74.
22. MANDICH N. V., (2002). Aesf Surfing Proding of Nickel, *Electrochem*, 761.
23. MOCKUTE D., BERNOTIENE G., VILKAITE R. (2000). Surfing coating technology, *plating technology*, 152-155.
24. MOHANTY R., (2002). Coating and plating in the surface of cupric nickel, *Avanced Technology*, 75 -78.
25. NELSON ARTAVIA VEGA, (2008). tesis diseño y construcción y puesta en marcha de un equipo de electrodeposición.
26. VALENCIA CONDORI, NESTOR. (2013). Anteproyecto de instalación de una planta de cromado.

27. OROZCO JULIO, ALVARO, (2008). Densidad de carga del electrólito como parámetro de control del proceso de electrocoagulación. revista Ainsa. Vol.5 N° 2 p.3-30.
28. PETERSON, JAMES W. (1985). Industrial Wastewater Treatment Technology. Butterworth Publish, Stoneham, Second edit. 1985, p 273-302
29. PLETCHER D., (1984). Industrial electrochemistry, Chapman Hall, 184 -250.
30. RAYMOND CHANG, (2002). La Electroquímica y sus procesos, España, McGraw Hill.
31. ROSENQVIST, T. (1987). Fundamentos de Metalurgia Extractiva, Madrid, McGraw Hill.
32. SANDU A.V., (2006). Recent patents on corrosion science, Applied electrochem, 36 - 975.
33. SNYDER D. L., (2002). Electro plating in the Nineties in Asia Pacifics, proc nov. 19 - 22.
34. S.H. LANGER, M. R. ROBERTH, (2001). Cupric chloride Leaching of Model Sulfur Compounds for Simple Copper, Pensilvania, McGraw Hill.
35. W.A. WESLEY AND J. W. CAREY, (1999). The Electrodeposition of nickel chloride solutions, Experimental Nanoscience, 209-236.
36. WILEY J., LELOUPS R., (2010). Modern electroplating in the coatings, Prunovic New York, 89 -288.
37. X.H. CHEN, C.S. CHEN, H.N. XIAO, F.Q. CHENG, G. ZHANG, G.J. YI, (2004). Corrosion behavior of carbon nanotubes – Ni composite coating, surface coatings technology, 351-355.
38. YOUNGKUN LI, HONGMEI YU, CHANGKUN ZHANG, (2012). Electrodeposition of Ni oxide on TiO₂ nanotube arrays for enhancing visible light photoelectrochemical water splitting, Journal of electroanalytical Chemistry, 228-231.

VIII. ANEXOS**FOTOS DE LABORATORIO Y PRUEBAS**

DESCRIPCIÓN: Cuba electrolítica en proceso de electrodeposición.

BALANZA ANALÍTICA



DESCRIPCIÓN: Balanza analítica encendida marca MIRAY.

CÁTODO EN PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN



DESCRIPCIÓN: Cuba electrolítica sulfatada con reactivo químico.