



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE COPPER PLATING PARA HERRAMIENTAS FABRICADAS EN ACERO INOXIDABLE BASADOS EN PARÁMETRO DE TENARIS HYDRILL EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE SERTECPET BASE CIUDAD DEL COCA.”

Trabajo de titulación

Tipo: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para obtener el grado académico de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR: LATORRE SEGOVIA NOÉ DAVID

DIRECTOR: Ing. EUGENIA MERCEDES NARANJO VARGAS

Riobamba – Ecuador

2020

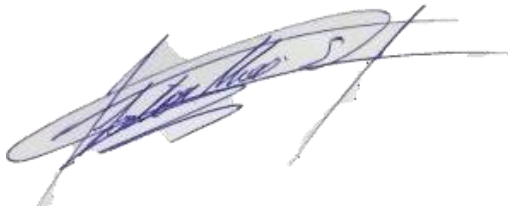
©2020, Noe David Latorre Segovia

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el derecho de autor.

Yo, Latorre Segovia Noé David, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y que los resultados de este son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 1 de diciembre del 2020



Latorre Segovia Noé David

Cedula de Identidad: 060486630-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECANICA

CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Técnico, **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE COPPER PLATING PARA HERRAMIENTAS FABRICADAS EN ACERO INOXIDABLE BASADOS EN PARÁMETRO DE TENARIS HYDRILL EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE SERTECPET BASE CIUDAD DEL COCA.”**, realizado por el señor: **NOE DAVID LATORRE SEGOVIA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Marcelo Antonio Jacome Valdez
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**MARCELO ANTONIO
JACOME VALDEZ**

2020-11-13

Ing. Eugenia Mercedes Naranjo Vargas
**DIRECTOR DE TRABAJO DE
TITULACIÓN**



Firmado electrónicamente por:
**EUGENIA MERCEDES
NARANJO VARGAS**

2020-11-13

Ing. Marco Homero Almendariz Puente
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**MARCO HOMERO ALMENDARIZ
PUENTE**

2020-11-13

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico al esfuerzo y dedicación de mis padres y hermanos, al ser pilar fundamental de mi fortaleza para poder sobrepasar cada nuevo reto que se presentó en todo el camino recorrido como estudiante politécnico, gracias madre por todo el apoyo prestado en cada paso transcurrido y ser mi fortaleza en los momentos de debilidad, te agradezco padre por el esfuerzo realizado y el apoyo para poder continuar, agradezco infinitamente a mis hermanos julio, Antonio y Susana por ser confidentes, amigos y maestros cuando lo necesite, sin su apoyo este gran logro a nivel personal no hubiera sido posible.

Dedico también el presente trabajo a aquellas amistades que se llegaron a formar al inicio de esta travesía y en el camino de esta, aquellas que se volvieron más una familia de espíritu Gabriela, Marcelo, Jessica, Ramiro, Evelin sobrepasando las conexiones generadas por los lazos sanguíneos, aquellos que fueron apoyo y ayuda en los momentos difíciles y hoy juntos estamos culminando un logro más muchas gracias por todo.

Noé

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta el final de la meta propuesta hacer varios años atrás y la culminación de esta.

Agradecimiento de forma especial a la ingeniera Eugenia Naranjo directora del tema de titulación y participe de cada uno de los pasos desarrollados durante cada etapa y trayecto realizado en este tema, por su incansable labor y desinteresado compromiso con el mismo que rindieron sus frutos de forma beneficiosa, y finalmente agradezco a la Carrera de Ingeniería Industrial por todo el conocimiento impartido y derramado sobre mí el cual me ha permitido afrontar con el mayor de los éxitos posibles cada obstáculo y reto presente en este tema y en la vida laboral.

Noé

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|-------------------------|----|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | vi |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xi |
| ÍNDICE DE GRAFICOS..... | xi |
| LISTA DE ANEXOS..... | xi |
| RESUMEN..... | x |
| ABSTRACT | xi |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |

CAPÍTULO I

| | |
|-------------------------------------------|---|
| 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA..... | 2 |
| 1.1. Antecedentes | 2 |
| 1.2. Planteamiento del problema..... | 2 |
| 1.3. Justificación | 3 |
| 1.4. Objetivos | 3 |
| 1.4.1. <i>Objetivo general</i> | 3 |
| 1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> | 3 |
| 1.5. Alcance | 4 |

CAPÍTULO II

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS..... | 5 |
| 2.1 Generalidades | 5 |
| 2.1.1. <i>Electrodeposición</i> | 5 |
| 2.1.2. <i>Electrólisis</i> | 5 |
| 2.1.3. <i>Ley de Faraday</i> | 5 |
| 2.1.4. <i>Descripción del proceso galvánico (galvanostegia)</i> | 8 |
| 2.1.4.1. <i>Etapas del proceso</i> | 9 |
| 2.1.4.2. <i>Aplicaciones del Cobreado</i> | 10 |
| 2.1.5. <i>Efecto de las condiciones de trabajo en la naturaleza de los depósitos</i> | 10 |
| 2.1.5.1. <i>Densidad de corriente</i> | 10 |
| 2.1.5.2. <i>Agitación</i> | 11 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.5.3. <i>Temperatura</i> | 11 |
| 2.1.6. <i>Planta de cobreado</i> | 13 |
| 2.1.6.1. <i>Fuente de corriente</i> | 13 |
| 2.1.6.2. <i>Medición de la corriente eléctrica</i> | 13 |
| 2.1.6.3. <i>Ánodos</i> | 13 |
| 2.1.6.4. <i>Cubas electrolíticas</i> | 13 |
| 2.1.6.5. <i>Sistema de absorción de gases</i> | 14 |
| 2.1.6.6. <i>Calentamiento de soluciones</i> | 14 |
| 2.1.6.7. <i>Agitación</i> | 14 |
| 2.1.6.8. <i>Secado</i> | 15 |
| 2.2. <i>Procesos de preparación de superficies</i> | 16 |
| 2.2.1. <i>Preparación mecánica de superficies</i> | 16 |
| 2.2.2. <i>Agua</i> | 17 |
| 2.2.3. <i>Limpieza</i> | 17 |
| 2.2.4. <i>Decapado y activado ácido</i> | 17 |
| 2.3. <i>Tenaris Hydrill</i> | 18 |
| 2.3.1. <i>Normativa Tenaris Hydrill</i> | 18 |
| 2.3.1.1. <i>Propósito</i> | 18 |
| 2.3.1.2. <i>Personas afectadas</i> | 18 |
| 2.3.1.3. <i>Referencias</i> | 18 |
| 2.3.1.4. <i>Definiciones y abreviaturas</i> | 19 |
| 2.3.1.5. <i>Responsabilidades</i> | 20 |
| 2.3.1.6. <i>Calificación de personal</i> | 20 |
| 2.3.1.7. <i>Procedimientos</i> | 21 |
| 2.3.2. <i>ASTM B254 - 92</i> | 22 |
| 2.3.2.1. <i>Eliminación de escamas e incrustaciones</i> | 22 |
| 2.3.2.2. <i>Eliminación de grasa, aceite y otros materiales extraños</i> | 23 |
| 2.3.2.3. <i>Activación inmediatamente antes de la galvanoplastia</i> | 23 |
| 2.3.2.4. <i>Grados de acero inoxidable</i> | 23 |
| 2.3.2.5. <i>Condiciones para electrodeposición</i> | 23 |
| 2.3.3. <i>ASTM B322 - 99</i> | 24 |
| 2.3.3.1. <i>Pre.limpieza</i> | 24 |
| 2.3.3.2. <i>Limpieza intermedia</i> | 24 |
| 2.3.3.3. <i>Electropuración final</i> | 24 |
| CAPITULO III | |
| 3. <i>MARCO METODOLÓGICO</i> | 26 |

| | | |
|------|-------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. | Diseño de la planta de cobreado..... | 26 |
| 3.2. | Adquisición de materiales..... | 31 |
| 3.4. | Construcción e instalación de módulos de control y potencia | 34 |
| 3.5. | Ensamble completo de todos los elementos | 35 |

CAPITULO IV

| | | |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4. | RESULTADOS..... | 36 |
| 4.1. | Pruebas de funcionamiento de la Máquina..... | 36 |
| 4.1.1. | <i>Colocación de electrolito y temperatura de funcionamiento.....</i> | 36 |
| 4.1.2. | <i>Limpieza de las herramientas y activación para ser cobreadas.....</i> | 36 |
| 4.1.3. | <i>Secado de la herramienta.....</i> | 42 |
| 4.2. | Resultados de adhesión de cobre..... | 42 |
| 4.2.1. | <i>Comportamiento de adhesión de capa de cobre vs tiempo de cobreado</i> | 36 |
| 4.3. | Análisis de costos | 45 |
| | CONCLUSIONES..... | 48 |
| | RECOMENDACIONES..... | 49 |

GLOSARIO

REFERENCIAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1-2: | Equivalente electroquímico..... | 7 |
| Tabla 2-2: | Condiciones de operación baño de cobre cianurado | 15 |
| Tabla 1-4: | Químicos de golpe de níquel woods | 39 |
| Tabla 2-4: | Pruebas de cobreado y resultados..... | 41 |
| Tabla 3-4: | Costos directos. Estructura de acero inoxidable..... | 46 |
| Tabla 4-4: | Costos directos. extractor de gases e iluminación..... | 46 |
| Tabla 5-4: | Costos directos. Electrolitos, anodos, cuba, resistencia electrica, ácido | 46 |
| Tabla 6-4: | Costos directos. Control y potencia..... | 47 |
| Tabla 7-4: | Costos directos. Materiales y herramientas | 47 |
| Tabla 8-4: | Costos indirectos. Transporte..... | 48 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1-3. | Diagrama de proceso de diseño y construcción de planta de cobreado..... | 25 |
| Figura 2-3. | Cuerpo principal | 25 |
| Figura 3-3. | Campana de extracción de gases | 26 |
| Figura 4-3. | Puerta de seguridad | 26 |
| Figura 5-3. | panel de control | 27 |
| Figura 6-3. | tapas de protección de elementos de potencia..... | 27 |
| Figura 7-3. | Cuba electrolítica..... | 27 |
| Figura 8-3. | Brazos de ánodos..... | 28 |
| Figura 9-3. | Acoples de ánodos..... | 28 |
| Figura 10-3. | Patas de regulación..... | 29 |
| Figura 11-3. | Ensamble final de planta de cobreado | 29 |
| Figura 12-3. | Construcción cuerpo principal y campana de extracción | 30 |
| Figura 13-3. | Colocación de puerta | 30 |
| Figura 14-3. | Colocación tapas de protección | 31 |
| Figura 15-3. | Panel de control | 31 |
| Figura 16-3. | Panel de control (recirculación de electrolito)..... | 32 |
| Figura 17-3. | Planta de cobreado..... | 32 |
| Figura 18-4. | Explicación de funcionamiento de la planta de cobreado..... | 35 |
| Figura 19-4. | Colocación de electrolito, temperatura de funcionamiento | 36 |
| Figura 20-4. | Proceso de limpieza y decapado..... | 37 |
| Figura 21-4. | Proceso de colocación de herramientas a ser cobreadas..... | 40 |
| Figura 22-4. | Selección de parámetros de cobreado..... | 40 |
| Figura 23-4. | Medición de espesor de cobreado..... | 43 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1-2. Celda electrolítica..... | 6 |
| Gráfico 2-2. Serie electromotriz de los elementos..... | 8 |
| Gráfico 3-2. Esquema de electrodeposición | 9 |
| Gráfico 4-4. Química de golpe de níquel y condiciones de operación | 39 |
| Gráfico 5-4. Comportamiento de adhesión de capa de cobre vs tiempo de cobreado | 44 |

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A** MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE COBREADO.
- ANEXO B** PREPARACIÓN DEL GOLPE DE NÍQUEL WOODS.
- ANEXO C** TABLA DE TIEMPOS DE COBREADO Y ESPESORES RESPECTO A SU ÁREA BÁSICA.
- ANEXO D** CARTA DE CONFORMIDAD DE LA EMPRESA.

RESUMEN

El objetivo de esta propuesta técnica fue diseñar y construir una máquina de copper plating (recubrimiento de cobre) para herramientas fabricadas en acero inoxidable basados en parámetros de Tenaris Hydrill en la planta de producción de SERTECPET base Ciudad del Coca, con la finalidad de reducir los daños ocasionados a las herramientas generado por el engranamiento de roscas y cruce de hilos, problemas los cuales se presentan en el momento de ensamblar el conjunto al cual pertenecen. Para alcanzar esta meta se recabo información de plantas pilotos ya realizadas para encontrar una semejanza entre ellas de todos los componentes de los que debe estar provista nuestra máquina para un correcto funcionamiento, con los componentes requeridos se procedió a la selección de material y diseño basándonos principalmente al tipo de ambiente en el cual estará expuesta nuestra máquina además que esta permita una fácil reubicación de ser necesario. Con estas consideraciones y el material seleccionado; se realizó la fabricación de la estructura en acero inoxidable M 304-2B y AISI 201-2B para la protección de los elementos de potencia. Una vez terminada la estructura se realizó el montaje de los elementos de control y potencia que permiten regular ciertos valores fundamentales para las pruebas de funcionamiento como son, temperatura del electrolito, voltaje y tiempo de proceso, con este último se validó las pruebas de funcionamiento para poder realizar una tabla de trabajo donde se verifico un voltaje constante y un tiempo de permanecía variable dependiendo de las dimensiones básicas(largo, diámetro externo, diámetro interno) de las herramientas a ser sometidas al recubrimiento de cobre, permitiéndonos alcanzar un recubrimiento entre 2 y 6 micras. Con la finalización de las pruebas se realizó un manual de mantenimiento para los operarios donde se explica parámetros de funcionamiento, uso y cuidado.

Palabras clave: <RECUBRIMIENTO DE COBRE>, <ENGRANAMIENTO>, <CRUCE DE HILOS>, <ACERO INOXIDABLE>, <TEMPERATURA>, <VOLTAJE>, <TIEMPO DE PROCESO>, <RECUBRIMIENTO>.



Firmado electrónicamente por:
JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS



14-12-2020

0497-DBRAI-UPT-2020

ABSTRACT

The objective of this technical proposal was to design and build a copper plating machine for tools made of stainless steel based on Tenaris Hydrill parameters at the SERTECPET Coca City base production plant, to reduce the damage caused to the tools generated by thread gearing and thread crossing, problems that arise at the time of assembling the set to which they belong. To achieve this goal, information is collected from pilot plants already carried out to find a similarity between them of all the components that our machine must be equipped with for proper operation, with the required components the selection of material and design was carried out based mainly on the type of environment in which our machine will be exposed in addition to allowing an easy relocation if necessary. With these considerations and the material selected; the structure was manufactured in stainless steel M 304-2B and AISI 201-2B for the protection of power elements. Once the structure was finished, the control and power elements were assembled to regulate certain values fundamental to the performance tests such as, electrolyte temperature, voltage and process time, with the latter, the operating tests was validated to be able to perform a working table where a constant voltage was poured and a time remained variable depending on the basic dimensions (long, external diameter, internal diameter) of the tools to be subjected to the copper coating, allowing us to reach a coating between 2 and 6 microns. With the completion of the tests, a maintenance manual was carried out for the operators explaining operating, use and care parameters.

Keywords: <COPPER COATING>, <ENGRANATION>, <CROSS OF THREADS>, <STAINLESS STEEL>, <TEMPERATURE>, <VOLTAGE>, <PROCESS TIME>, <COATING>.

INTRODUCCIÓN

Los avances generados en las últimas décadas, dedicadas a la explotación petrolera han generado una mayor eficiencia en la producción de los pozos petroleros incrementado su producción de forma inimaginable cuando los primeros precursores iniciaron con estos procesos, una de las grandes referentes a nivel nacional y mundial en soluciones energéticas de origen ecuatoriano es SERTECPET empresa fundada en 1990 dedicada a la producción de herramientas de pozo profundo y facilidades al momento de extracción de petróleo.

SERTECPET con todas sus filiales a nivel mundial (México, Colombia, Perú, Brasil, Arabia Saudita, etc.) y su planta de producción matriz ubicada en la ciudad del Coca en Ecuador es la encargada de producir las herramientas para sus determinadas funciones encaminadas a la industria petrolera, su inventario de producción es vasto con un aproximado de 900 diferentes tipos y variaciones de herramientas.

SERTECPET está respaldada con la presencia de colaboradores con una sólida formación profesional, experiencia, creatividad, profundos valores personales y corporativos y, con una clara proyección de futuro.

Los problemas e inconvenientes presentados en el ensamble de conexiones roscadas fabricadas en acero inoxidable han ocasionado el daño de los componentes roscados y su posterior reposición.

El diseño y construcción de máquina de copper plating (recubrimiento de cobre), permitirá solucionar los defectos producidos en el ensamble de los distintos componentes de acero inoxidable evitando el engranamiento y cruce de hilos de las conexiones roscadas.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El ingeniero industrial al ser una amalgama de conocimientos y la gran amplitud de su campo laboral está capacitado en las competencias necesarias para la solución de problemas, tanto en producción, logística y demás campos inmersos en las distintas áreas de las empresas, permitiéndole aplicar todos sus conocimientos a la creciente demanda de producción en la industria ocasionado por la expansión de nuestra población cada día.

Dentro de la industria petrolera el ingeniero industrial cumple varias funciones como diseñar, mejorar, planificar y controlar todos los procesos que se realizan en la producción de petróleo, pudiendo llegar mejorar todos los procesos y solución de problemas presentes en los mismos.

El alto acabado superficial y el material utilizado en las superficies roscadas en acero inoxidable usado en la fabricación de herramientas de extrema importancia y ensambles de herramientas tipo premium, ha producido una considerable cantidad de herramientas dañadas por engranamiento y cruce de hilos, dañando definitivamente el elemento, el cual debe ser sustituido por uno nuevo generando costos de reposición, uno de los métodos usados para evitar este inconveniente y de no mucha eficacia es el uso de un proceso llamado Sandblasting que deja una superficie rugosa el cual puede incrementar aún más los problemas.

1.2. Planteamiento del problema

El creciente número de empresas dedicadas a la fabricación de herramientas de servicios petroleros ha exigido a Sertecpet a mejorar sus procesos productivos y la calidad de sus herramientas este último punto se ha visto afectado por las fallas presentadas en las conexiones de herramientas fabricadas en acero inoxidable ocasionado por el cruce de hilos de rosca y engranamiento de roscas ocasionado en el momento del ensamble siendo la causante de reprocesos y reposiciones de herramientas dañadas.

La implementación de una máquina de copper plating mejoraría la calidad de las herramientas terminadas al proveer a estas de una superficie lisa y antiadherente la cual evitará el

engranamiento y cruce de hilos permitiendo así evitar costos de reprocesos y reposición de herramientas mejorando notoriamente la calidad final del producto.

1.3. Justificación

La razón fundamental del presente trabajo es la presencia de daños ocasionados en las conexiones producidas en acero inoxidable, al momento de realizar un ensamble completo, ocasionando reprocesos en herramientas terminadas y el desecho de aquellas que fueron dañadas en el proceso, el presente trabajo busca solucionar los problemas presentados en las herramientas fabricadas en acero inoxidable mediante el diseño y construcción de una máquina de copper plating, la cual generara una capa antiadherente de cobre para minimizar el daño generado por engranamiento y cruce de hilos.

Con el diseño y construcción de una máquina de copper plating la empresa disminuirá los costos generados por reproceso y reposición de herramientas dañadas por engranamiento y cruce de hilos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar y construir una máquina de cooper plating para herramientas fabricadas en acero inoxidable basados en parámetros de Tenaris Hydrill en la planta de producción de SERTECPET base Ciudad del Coca.

1.4.2. Objetivos específicos

- Recopilar información respecto al funcionamiento de máquinas de recubrimientos metálicos.

- Seleccionar materiales y diseñar estructura de la máquina.
- Construir estructura de la máquina.
- Instalar controles de mando y potencia.
- Realizar pruebas de funcionamiento pertinentes bajo procedimientos y parámetros exigidos por Tenaris hydrill.
- Escribir un manual de funcionamiento
- Diseñar tablas de funcionamiento para un correcto desempeño de la máquina.

1.5. Alcance

El alcance de este proyecto es diseñar y construir una máquina de copper plating en la empresa SERTECPET necesaria para solucionar los problemas presentes en herramientas fabricadas en acero inoxidable para evitar el engranamiento y cruce de hilos que generan daños en las conexiones roscadas, permitiendo reducir costos de reposición de materiales y reprocesos.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Generalidades

2.1.1 *Electrodeposición*

La electrodeposición consiste en depositar una capa metálica, mediante el uso de corriente eléctrica basándose en la reducción de un compuesto metálico disuelto en agua aplicado sobre una superficie conductora químicamente limpia (SANDOVAL & SANTILLÁN, 2012, p. 3).

2.1.2 *Electrólisis*

Consiste en la disociación de una sustancia en una disolución mediante la aplicación de corriente eléctrica transformando la energía eléctrica en energía química siendo el proceso opuesto al ocurrido en una celda galvánica (SANDOVAL & SANTILLÁN, 2012, p. 4).

En la deposición de metales el electrolito consiste en una solución acuosa de sales metálicas adicionados estabilizadores para mejorar su conductividad y la calidad de textura final del depósito.

2.1.3 *Ley de Faraday*

Faraday conectó un amperímetro en el circuito de una celda electrolítica para medir la corriente eléctrica y pesó la cantidad de masa depositada en los cátodos en un tiempo determinado; de esta manera conoció la cantidad de energía eléctrica que estaba pasado a través de la disolución y la cantidad de masa que se produjo (MARTÍNEZ & MENDOZA, 2014, p. 9). A esto se lo conoce como ley de la electrólisis o ley de Faraday.

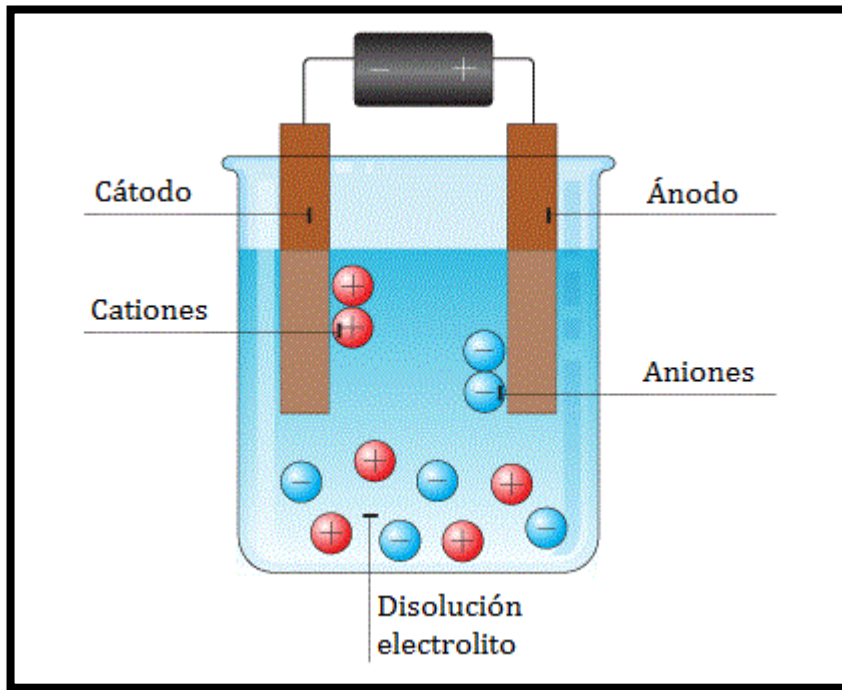


Gráfico 1-2. Celda electrolítica

Fuente: *Que Es Una Celda Electrolítica Y Como Esta Formada*, 2016

“La masa de un elemento depositado en una celda electroquímica, depende de la cantidad total de electricidad que circule por ella y es proporcional a esta”

Faraday plantea la siguiente fórmula:

$$m = Eq * C \quad (1)$$

Donde:

E_q = es una constante para cada elemento conocido como equivalente electroquímico (Tabla 1-2).

C = a la cantidad de electricidad en Coulomb ($A \cdot h$).

m = masa teórica de la electrodeposición.

Tabla 1-2. Equivalente electroquímico

| Equivalenti elettrochimici. | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------|------------------|--------------------|-------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------|
| Elemento | Simbolo | Peso atomico (A) | Peso specifico (d) | Valenza (z) | Bagno galvanico | Equivalente elettrochimico in g/Ah | | Rendimento di corrente (η) riferito al bagno |
| | | | | | | teorico (Eq) | pratico (eq) | |
| Antimonio | Sb | 121,75 | 6,7 | 5 | Bagno di solfoantimoniato | 0,909 | | |
| | | | | 3 | | 1,514 | | |
| Argento .. | Ag | 107,87 | 10,5 | 1 | Tutti i bagni di argento | 4,025 | 3,99 | 0,99 |
| Arsenico .. | As | 74,92 | 5,7 | 5 | Bagni di arsenico comuni | 0,932 | 0,84 | 0,90 |
| | | | | 3 | | 1,993 | | |
| Cadmio .. | Cd | 112,40 | 8,6 | 2 | Bagni acidi e al cianuro | 2,097 | 2,00 | 0,95 |
| Cobalto... | Co | 58,933 | 8,5 | 2 | Bagni di cobalto | 1,100 | 0,99 | 0,90 |
| Cromo.... | Cr | 51,996 | 6,5 | 6 | Bagni acidi di cromo | 0,323 | 0,032 | ~0,10 |
| | | | | 3 | (Soluzione di sale cromico) | 0,647 | | ~0,10 |
| Ferro | Fe | 55,84 | 7,8 | 3 | | 0,694 | | |
| | | | | 2 | Bagno di acciaiatura | 1,042 | 0,7-1,0 | 0,70-0,98 |
| Idrogeno .. | H | 1,0079 | | 1 | | 0,03762 | | |
| Nichel ... | Ni | 58,71 | 8,8 | 2 | Bagni di nichel | 1,095 | 1,04 | 0,95 |
| Oro | Au | 196,96 | 19,5 | 3 | Bagni al ferrocianuro | 2,452 | 2,20 | 0,90 |
| | | | | 1 | Bagni al cianuro | 7,357 | 4,75 | 0,65 |
| Ossigeno .. | O | 16,00 | | 2 | | 0,2985 | | |
| Palladio .. | Pd | 106,4 | 11,5 | 4 | Bagno al cloruro di palladio ... | 0,995 | | |
| | | | | 2 | Bagno al cloruro di ammonio e Pd | 1,990 | 0,766 | 0,38 |
| Piombo... | Pb | 207,19 | 11,34 | 2 | Bagni di piombo | 3,865 | 3,865 | 1 |
| | | | | 4 | | 1,932 | | |
| Platino .. | Pt | 195,09 | 21,4 | 4 | Bagno al cloruro di platino | 1,821 | 0,139 | 0,077 |
| Rame | Cu | 63,54 | 8,9 | 2 | Bagni acidi | 1,186 | 1,186 | 1 |
| | | | | 1 | Bagni al cianuro | 2,372 | 1,780 | 0,75 |

Fuente:(Sandoval & Santillán, 2012, p.6)

Si la corriente es constante Faraday lo expresa con la siguiente fórmula:

$$C = i * t \quad (2)$$

Donde:

t = es el tiempo en horas.

i = se mide en amperios (A).

Reemplazando la Ecuación 2 en la Ecuación 1 se obtiene.

$$m = Eq * i * t \quad (3)$$

Mediante la ecuación 3 se obtiene el rendimiento del baño donde se puede apreciar que la cantidad de material electrodepositado es menor al cálculo teórico.

La eficiencia del baño lo obtenemos de la fórmula:

$$n = \frac{mr}{m} \quad (4)$$

Donde:

n = es la eficiencia del baño.

mr = masa real

El diferencial de potencial es un gran participante en el proceso ya que debe ser lo suficientemente grande para vencer la resistencia del baño y la fuerza contra la electromotriz de polarización.

Cuando se sumerge un metal en una solución que contiene sales de este mismo metal, se establece una diferencia de potencial conocida como “potencial sencillo”, el cual compararse respecto al potencial de hidrogeno da un valor de 0.

SERIE ELECTROMOTRIZ DE LOS ELEMENTOS

| Elemento | Par redox | Semirreacción de electrodo | E° (V) |
|--------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------|
| Lítio | Li ⁺ /Li | Li ⁺ + 1 e ⁻ ⇌ Li | -3,05 |
| Rubidio | Rb ⁺ /Rb | Rb ⁺ + 1 e ⁻ ⇌ Rb | -2,99 |
| Potasio | K ⁺ /K | K ⁺ + 1 e ⁻ ⇌ K | -2,92 |
| Bario | Ba ²⁺ /Ba | Ba ²⁺ + 2 e ⁻ ⇌ Ba | -2,90 |
| Estroncio | Sr ²⁺ /Sr | Sr ²⁺ + 2 e ⁻ ⇌ Sr | -2,89 |
| Calcio | Ca ²⁺ /Ca | Ca ²⁺ + 2 e ⁻ ⇌ Ca | -2,87 |
| Sodio | Na ⁺ /Na | Na ⁺ + 1 e ⁻ ⇌ Na | -2,71 |
| Magnesio | Mg ²⁺ /Mg | Mg ²⁺ + 2 e ⁻ ⇌ Mg | -2,34 |
| Aluminio | Al ³⁺ /Al | Al ³⁺ + 3 e ⁻ ⇌ Al | -1,67 |
| Cinc | Zn ²⁺ /Zn | Zn ²⁺ + 2 e ⁻ ⇌ Zn | -0,76 |
| Cromo | Cr ³⁺ /Cr | Cr ³⁺ + 3 e ⁻ ⇌ Cr | -0,71 |
| Hierro (II) | Fe ²⁺ /Fe | Fe ²⁺ + 2 e ⁻ ⇌ Fe | -0,44 |
| Cadmio | Cd ²⁺ /Cd | Cd ²⁺ + 2 e ⁻ ⇌ Cd | -0,40 |
| Cobalto | Co ²⁺ /Co | Co ²⁺ + 2 e ⁻ ⇌ Co | -0,28 |
| Níquel | Ni ²⁺ /Ni | Ni ²⁺ + 2 e ⁻ ⇌ Ni | -0,25 |
| Estaño | Sn ²⁺ /Sn | Sn ²⁺ + 2 e ⁻ ⇌ Sn | -0,14 |
| Plomo | Pb ²⁺ /Pb | Pb ²⁺ + 2 e ⁻ ⇌ Pb | -0,13 |
| Hierro (III) | Fe ³⁺ /Fe | Fe ³⁺ + 3 e ⁻ ⇌ Fe | -0,04 |
| Hidrógeno | H ⁺ /H ₂ | 2 H ⁺ + 2 e ⁻ ⇌ H ₂ | 0,00 |
| Cobre (II) | Cu ²⁺ /Cu | Cu ²⁺ + 2 e ⁻ ⇌ Cu | +0,34 |
| Oxígeno | O ₂ /OH ⁻ | O ₂ + 2 H ₂ O + 2 e ⁻ ⇌ 4 OH ⁻ | +0,40 |
| Cobre (I) | Cu ⁺ /Cu | Cu ⁺ + 1 e ⁻ ⇌ Cu | +0,52 |
| Yodo | I ₂ /I ⁻ | I ₂ + 2 e ⁻ ⇌ 2 I ⁻ | +0,54 |
| Plata | Ag ⁺ /Ag | Ag ⁺ + 1 e ⁻ ⇌ Ag | +0,80 |
| Mercurio | Hg ²⁺ /Hg | Pb ²⁺ + 2 e ⁻ ⇌ Pb | +0,81 |
| Bromo | Br ₂ /Br ⁻ | Br ₂ + 2 e ⁻ ⇌ 2 Br ⁻ | +1,06 |
| Cloro | Cl ₂ /Cl ⁻ | Cl ₂ + 2 e ⁻ ⇌ 2 Cl ⁻ | +1,36 |
| Oro (III) | Au ³⁺ /Au | Au ³⁺ + 3 e ⁻ ⇌ Au | +1,42 |
| Platino | Pt ²⁺ /Pt | Pt ²⁺ + 2 e ⁻ ⇌ Pt | +1,60 |
| Oro (I) | Au ⁺ /Au | Au ⁺ + 1 e ⁻ ⇌ Au | +1,68 |
| Flúor | F ₂ /F ⁻ | F ₂ + 2 e ⁻ ⇌ 2 F ⁻ | +2,85 |

Gráfico 2-2. Serie electromotriz de los elementos

Fuente: (Equilibrios Redox, 2010)

2.1.4 Descripción del proceso galvánico (galvanostegia)

La galvanostegia es una técnica de electrodeposición su principal uso es la protección anticorrosiva de los metales, adicionalmente utilizada para disminuir el coeficiente de fricción existente entre dos superficies, incrementar la estanquidad de elementos mecánicos y elementos por los cuales pasan fluidos, y acabados decorativos (TROYA FUERTES, 2009, p. 3).

Las capas de recubrimiento suelen ser delgadas, con una alta adherencia y gran protección al metal base la capa protectora depositada forma cristales metálicos, dependiendo del tipo de

estructura cristalina depositada se derivan las propiedades del recubrimiento y así se podrá seleccionar para el campo de aplicación.

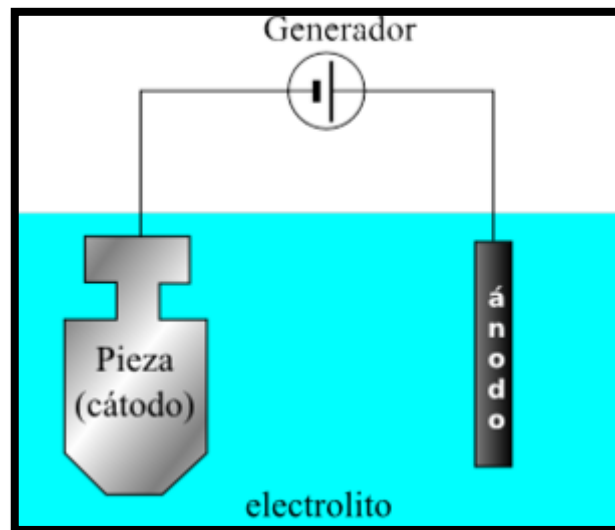


Gráfico 3-2. Esquema de electrodeposición

Fuente:(Electrodeposición, 2020)

Los recubrimientos catódicos son los que el material que recubre al sustrato es mucho más noble y en este caso el segundo es el que cede electrones. Para evitar la corrosión del sustrato en este tipo de recubrimiento se debe asegurar que la capa de metal noble sea lo suficientemente gruesa y esté libre de poros. De esta manera se asegurará que el medio ambiente no esté en contacto con el sustrato eliminando uno de los elementos fundamentales para la corrosión (SANDOVAL & SANTILLÁN, 2012, P. 11).

La galvanostegia catódica se basa en tres objetivos principales:

- Protección a la corrosión.
- Alto acabado superficial
- Mejorar propiedades superficiales, más dureza, mejor continuidad, mejorar antiadherencia.

2.1.4.1 Etapas del proceso

La electrodeposición de metales consiste en la descarga de un ion metálico solvatado, presente en la disolución, y su incorporación al electrodo como átomo metálico, cuando el proceso sucede en un electrodo líquido, la cinética de la reacción suele estar controlada por la difusión de los iones hacia el electrodo (SANDOVAL & SANTILLÁN, 2012, p. 12).

La electrodeposición en metales se pueden encontrar las siguientes etapas:

- Transporte del ion solvatado de la disolución al electrodo.

- Reacción electródica de reducción con desolvatación parcial.

2.1.4.2 Aplicaciones del Cobreado

El cobreado es un tratamiento electrolítico por el cual se cubre de cobre toda la superficie de un metal, la amplia aplicación en el sector industrial consiste como acabado final o paso posterior a dar otro baño electrolítico pudiendo ser niquelado, cromado (ELECTRO NÍQUEL FORCAN, 2013).

Su uso en la industria ha incrementado gracias a las grandes propiedades del cobre como:

- Creación de una capa antiadherente entre superficies.
- Fácil mecanización.
- Dependiendo del tipo de electrolito usado gran nivel de brillo.
- Gran ductilidad con capacidad de expandirse y contraerse con la temperatura lo que facilita que se adapte a cualquier sustrato sin roturas, ampollas o descamaciones.

2.1.5 Efecto de las condiciones de trabajo en la naturaleza de los depósitos

Se puede influir en las características de un depósito electroquímico de dos formas:

- Factores electroquímicos.
- Composición del baño.

Se consideran factores electroquímicos a densidad de corriente, agitación y temperatura y aquellos de composición del baño naturaleza del electrolito, pH, agentes de adición, concentración iónica, poder de penetración, distribución de las herramientas (SANDOVAL & SANTILLÁN, 2012, P. 15).

2.1.5.2 Densidad de corriente

“Se aplica al sistema, de tal forma que se pueda establecer cuantos amperios corresponde a cada unidad de área del objeto a recubrir” (ÁLVAREZ LEÓN & CHANGO LESCANO, 2012, p. 20).

$$\text{Densidad de corriente} = \frac{A \text{ (amperios)}}{dm^2 \text{ (decimetro cuadrado)}} \quad (5)$$

Se expresa en amperios sobre decímetro cuadrado siendo la unidad más utilizada. Es aconsejable utilizar densidades de corriente bastante elevadas siempre que esto sea posible; por otra parte, se debe tener en consideración que la densidad de corriente influye sobre el tamaño del grano del metal depositado a una mayor densidad de corriente se presentara un tamaño de grano más fino en la superficie sometida al tratamiento (ÁLVAREZ LEÓN & CHANGO LESCANO, 2012, P. 20).

2.1.5.3 Agitación

Esta impide el empobrecimiento de los iones metálicos del área catódica, y evita en gran medida la adherencia de burbujas gaseosas sobre el cátodo las cuales ocasionan picaduras en la superficie, además que permite mezclar la solución y evita la estratificación de las soluciones más pesadas al fondo de la cuba.

Existen dos métodos principalmente usados para la agitación de forma neumática(aire) o mecánica(bomba).

2.1.5.4 Temperatura

Los depósitos tersos y de grano fino se producen frecuentemente mediante soluciones calentadas intencionalmente. La densidad de corriente elevada contrarresta el efecto de la temperatura alta. La influencia de la temperatura se justifica porque conduce a una mayor solubilidad y disociación de la sal metálica, lo que a su vez proporciona una conductividad más alta de la solución (ÁLVAREZ LEÓN & CHANGO LESCANO, 2012, P. 26).

2.1.5.5 Naturaleza del electrolito (catión y anión)

En un porcentaje elevado de baños el catión se introduce con algunas de sus sales, exceptuando los baños de cromo principalmente trióxido de cromo, también se añaden cloruros o sulfatos de sodio, potasio o amonio llamadas sales de conducción que introducen otros cationes. La concentración iónica del catión no es la única que influye ya que no se obtienen los mismos resultados empleando cloruros o sulfatos del mismo material(metal) como cobre, níquel o zinc estas generan diferencias sensibles que no se pueden explicar por concentraciones iónicas (SANDOVAL & SANTILLÁN, 2012, p. 17).

2.1.5.6 Concentración iónica

Se precisa trabajar con una baja concentración iónica en las soluciones para depósitos finamente cristalinos, esto permite una mayor cantidad de núcleos de cristalización obteniendo cristales resultantes pequeños (SANDOVAL & SANTILLÁN, 2012, p. 17).

2.1.5.7 pH

Este interviene de forma directa en la naturaleza del depósito y el rendimiento de corriente, si el margen del pH es demasiado alto o bajo, es necesario ajustar su valor. Si es muy alto añadiremos ácido y si es muy bajo añadiremos álcali. Al agregar estos elementos no deben ocasionar ningún cambio sensible en el baño (SANDOVAL & SANTILLÁN, 2012, p. 17).

2.1.5.8 Poder de penetración

Este término se refiere a la propiedad de un baño de lograr una distribución regular del depósito en el cátodo, si la superficie es irregular las partes más próximas al ánodo se cubren de una capa más gruesa respecto a las más alejadas. El poder de penetración está en función de la variación del potencial catódico y la resistencia del electrolito con la densidad de la corriente.

Si en un determinado punto el cátodo se halla más cerca del ánodo que en otros, se reduce un metal, lo hace con mayor intensidad que en los más distantes provocando empobrecimiento de los iones esto da a una polarización por concentración, por dicho motivo la corriente se dirige a otros lugares más alejados presentándose así el poder de penetración de la solución (TROYA FUERTES, 2009, P. 24).

2.1.5.9 Superficies catódicas

Una de las variables más importantes a ajustar para un correcto depósito es la corriente que se regulara en función de la densidad de corriente especificada para cada baño (A/dm^2) y de la superficie de la pieza (dm^2).

La superficie de la pieza a tratar se calcula asemejando cada sector de las formas geométricas conocidas (cuadros, triángulos, circunferencias, etc.) y sumando todas sus áreas parciales para determinar el valor de corriente aplicada (SANDOVAL & SANTILLÁN, 2012, p. 20).

Esto se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

Cálculo de la superficie de recubrimiento.

$$S = S_l + S_i + S_s$$

Donde

S_l = Superficie lateral

S_i = Superficie inferior

S_s = Superficie superior

S = Superficie total

Se debe tomar en cuenta que para el cálculo de cada una de las partes de la pieza o herramienta la fórmula de las distintas áreas presentes en la misma (cuadrado, circunferencia, etc.) y que las medidas deben ser trabajadas en decímetros (dm).

2.1.6 Planta de cobreado

2.1.6.1 Fuente de corriente

La alimentación eléctrica de la planta de cobreado puede ser monofásica o bifásica ya que esta deberá ser transformada de corriente alterna a corriente continua para su correcta aplicación durante el proceso de cobreado, permitiéndonos un voltaje de salida de corriente continua, para este medio es necesario pasar el voltaje por dos etapas:

Primera transformar nuestro voltaje de ingreso dentro de los parámetros a través de un transformador.

Segunda mediante un puente rectificador corregir la señal hasta convertirla en Corriente Continua apoyado de un módulo de regulación de voltaje el cual nos permita seleccionar lo requerido según cálculos.

2.1.6.2 Medición de la corriente eléctrica

Para medir la corriente que fluye por el circuito, en cualquier momento determinado se usa un amperímetro el cual debe ser conectada en serie en el circuito principal y para medir la diferencia de potencial entre dos partes de un circuito se utiliza un voltímetro el cual debe ser conectado en paralelo (ÁLVAREZ LEÓN & CHANGO LESCANO, 2012, P. 50).

2.1.6.3 Ánodos

En la deposición metálica utilizan ánodos los cuales pueden ser solubles, insolubles inertes o catalizables esto dependerá de su aplicación y en su mayoría provienen de ánodos solubles que aportan el material necesario para que las sales disociadas en la misma se vuelvan a formar (ÁLVAREZ LEÓN & CHANGO LESCANO, 2012, p. 52).

El material del ánodo debe estar limpio de impurezas ya que estas contaminan el baño electrolítico.

2.1.6.4 Cubas electrolíticas

Los tanques galvanizadores pueden estar contruidos en materiales como madera, hierro (o acero), barro cocido resistente, concreto y estearina. Para tanques de pequeñas dimensiones se puede usar materiales como:

“Vidrio, hierro esmaltado y materiales plásticos. Cuando los materiales utilizados en la fabricación de las cubas electrolíticas no poseen la resistencia química deseada, es necesario protegerlas y evitar el contacto directo con la disolución y se debe pensar en forros o revestimientos. Como aislantes la práctica más común es utilizar tiras de madera impregnadas con cera derretida, asfalto o con goma laca” (ÁLVAREZ LEÓN & CHANGO LESCANO, 2012, p. 52).

La selección del tipo de cuba electrolítica dependerá:

- Tamaño de las herramientas a ser sometidas al proceso.
- Distribución más conveniente de cátodo y ánodo.
- Espacio para los elementos de calefacción y agitación.

2.1.6.5 Sistema de absorción de gases

Esta tiene como función principal la extracción de todos los gases nocivos generados por el proceso y su inmediata expulsión fuera de la planta evitando así su acumulación y afectar a las personas cercanas a la máquina.

2.1.6.6 Calentamiento de las soluciones

El control de temperatura de soluciones electrolíticas es esencial en los procesos de recubrimientos metálicos esta es una parte crítica del equipo ya que la temperatura afecta de diversas formas en el proceso de deposición, influyendo en la velocidad de depósito, activación y descomposición de químicos, la temperatura es suministrada mediante resistencias eléctricas específicas para el calentamiento de líquidos (SANDOVAL & SANTILLÁN, 2012, p. 32).

2.1.6.7 Agitación

Esta impide el empobrecimiento de los iones metálicos del área catódica, y evita en gran medida la adherencia de burbujas gaseosas sobre el cátodo las cuales ocasionan picaduras en la superficie, además que permite mezclar la solución y evita la estratificación de las soluciones más pesadas al fondo de la cuba.

Existen innumerables formas de agitación utilizada en procesos electrolíticos (SANDOVAL & SANTILLÁN, 2012, P. 40) :

- Agitación por aire
- Agitación de movimiento catódico
- Propulsores mezcladores

- Bombas de circulación

2.1.6.8 Secado

Este proceso es el final de la línea, la calidad del secado es importante ya que las superficies no solo tienen un mejor aspecto estando limpias y libres de manchas, sino que de ello depende el funcionamiento exitoso del componente ayudando a un endurecimiento final del depósito, este proceso se realiza mediante aire caliente de 70 a 120 grados Celsius (SANDOVAL & SANTILLÁN, 2012, p. 42).

2.1.6.9 Baños de cobre cianurado

Las soluciones a base de cianuro han sido altamente utilizadas por su amplia variedad de metales base en ser usados (hierro, acero, aleaciones de zinc, aleaciones de aluminio, aleaciones de plomo, aleaciones de níquel) además de sus grandes propiedades que presentan sus depósitos.

- Depósitos dúctiles y suaves.
- Fácil pulido.
- Buen conductor eléctrico.
- Buena soldabilidad
- Modifica las propiedades del acero para selectivos casos de endurecimiento.
- Depósitos brillantes con los aditivos correctos.
- Protege del ataque ácido a los metales base sensibles por la subsecuente aplicación de un baño ácido.
- Fácil de recubrir por otros metales.

2.1.6.9.1 Mantenimiento y control de los baños cianurados

El objetivo del mantenimiento y control de las sales y electrolitos es recuperar los estados iniciales de las mismas para un óptimo desempeño, este consiste en eliminar todos aquellos residuos, impurezas y sustratos que pueden dejar el proceso (esto se realiza mediante filtrado) además de incorporar compuestos químicos que la sal haya perdido (SANDOVAL & SANTILLÁN, 2012, p. 59).

Tabla 2.2 Condiciones de operación baño de cobre cianurado

| Reactivos químicos | Rango de concentración y trabajo |
|----------------------|----------------------------------|
| Cianuro de cobre | 40° - 60° gt |
| Cianuro de sodio | 5 – 15 gr/l |
| Carbonato de sodio | 10 – 80 gr/l |
| Hidróxido de sodio | 5 – 15 gr/l |
| Temperatura del baño | 20° - 40° C |
| Tensión | 5 – 15 V |
| Índice de acidez | 9,6 – 11,5 |

Fuente:(PROCESOS ELECTROLITICOS, 2013)

2.1.6.9.2 Defectos del baño de cobre cianurado

- “Baño sucio o turbio. Sucede cuando el pH es bajo, se soluciona agregando soda cáustica” (PROCESOS ELECTROLITICOS, 2013).
- “Formación de costras azul – verdosas en el ánodo y la solución, se soluciona agregando cianuro de sodio” (PROCESOS ELECTROLITICOS, 2013).
- “Recubrimientos oscuros. Debido a alta densidad de corriente y poco contenido de cobre, se soluciona disminuyendo la corriente eléctrica y agregando sal de cobre” (PROCESOS ELECTROLITICOS, 2013).

2.1.6.9.3 Constituyentes

Se recomienda que los elementos que componen el electrolito deben encontrarse con un margen de un 10% de variación de su valor normal específicamente el cianuro libre, el cianuro de cobre y la agitación controlan la densidad de corriente durante el proceso y el cianuro libre la eficiencia, poder de penetración y polarización anódica (SANDOVAL & SANTILLÁN, 2012, p. 59).

Se debe tomar en cuenta que la temperatura del proceso no debe exceder los 71° Celsius ya que esto ocasionara la descomposición de los cianuros.

2.2 Procesos de preparación de superficies

Un factor extremadamente importante antes de realizar un proceso de electrodeposición es la limpieza de la superficie del metal base a recubrir ya que de esto dependerá la adherencia final del recubrimiento dando así características específicas de trabajo a la herramienta.

2.2.1 Preparación mecánica de superficies

La buena preparación de la superficie es esencial para generar un recubrimiento de alta calidad esta involucra los siguientes métodos de preparación mecánica.

- Choque abrasivo(sandblasting)
- Acabado en barril y vibratorio
- Cepillado y acabado manual
- Esmerilado y pulido

2.2.2 Agua

El fundamental recurso para llevar a cabo los procesos es que el agua debe ser adecuada una de elevada dureza representara un problema y deber ser tratada para poder ser utilizada.

Algunos humectantes del electrólito son desactivados por la formación de productos insolubles en calcio y magnesio (SANDOVAL & SANTILLÁN, 2012, p. 47).

2.2.3 Limpieza

Este proceso puede ser dividido en tres clases: inmersión, aspersion y electrolítico. La inmersión y aspersion tiene por objetivo eliminar la mayoría de la suciedad presente en la superficie antes de la limpieza electrolítica. El medio de limpieza varía según los factores tales como metal base, agua, equipo existente y espacio disponible, no se debe utilizar métodos de limpieza por fricción estas deben ser sustituidas por el movimiento de las piezas en la solución (SANDOVAL & SANTILLÁN, 2012, p. 50).

La limpieza por inmersión o aspersion se encuentran dentro de las siguientes clasificaciones:

- Tipo solvente (tiñer, acetona)
- Solvente emulsionable (derivados del petróleo principalmente tipo clorado)
- Emulsión (agua en aceite y aceite en agua, agua y solvente orgánico, pH 7,8 a 10, temperatura de 70° a 80° Celsius)
- Difase (dos fases unos agentes humectantes solubles en agua y el otro solvente orgánico apropiado)
- Ácido (fosfórico)
- Detergente
- Limpieza alcalina de alto desempeño

2.2.4 Decapado y activado acido

El ácido se puede clasificar en dos categorías: el decapado y la activación. El decapado es utilizado para remover escamas de oxido provenientes de metales sometidos a tratamientos térmicos y la activación su función es neutralizar la película alcalina generada por el proceso de limpieza.

2.3 Tenaris Hydrill

Es una empresa metalúrgica multinacional subsidiaria del Grupo Argentino Techint, líder mundial en la producción de tubos de acero sin costura para la industria del petróleo. Está constituida en el Gran Ducado de Luxemburgo, aunque dirigida desde Buenos Aires, Argentina.

Esta empresa consta de su propia normativa para construcción y reparación tanto de roscas como productos patentados por ellos, permitiendo un desarrollo tecnológico de roscas de alta eficiencia (premium) para la industria petrolera, además de brindar lineamientos para distintos procesos industriales los cuales deben ser seguidos a cabalidad para mantener la licencia de certificación Tenaris muy reconocida a nivel mundial.

Uno de estos lineamientos rige el proceso de copper plating, en el cual permite ver los pasos y procesos a seguir antes y durante del proceso con las herramientas a ser sometidas al tratamiento superficial, específicamente la normativa basa todos sus lineamientos en normativa ASTM, para aceros inoxidables trabaja con normativa ASTM B254-92 y ASTM B322-99. La normativa Tenaris dice lo siguiente.

2.3.1 Normativa Tenaris Hydrill

2.3.1.1 Propósito

Este procedimiento define los requisitos para el desarrollo de un revestimiento de cobre electrodepositado uniforme, en lo sucesivo denominado revestimiento de cobre.

El revestimiento de cobre se usa típicamente para proporcionar una superficie antiadherente. El uso de este procedimiento es aplicable solo para roscas internas y sellos de acoplamiento y accesorios de caja. El revestimiento de cobre no está diseñado para usarse en conexiones de pasador.

El uso de este procedimiento es aplicable para todos los grados API, todos los grados patentados de aceros al carbono y de baja aleación, incluidos los grados para servicio agrícola (transporte de fluidos muy ácidos) y alto colapso. Otros materiales deberán ser aprobados por MASE Ithru TLN.

Los productos y materiales roscados TSH que requieren un revestimiento de cobre se identifican en la sección de tratamiento de acabado superficial de su Procedimiento de Conexión (CP) aplicable.

Cualquier desviación de este procedimiento deberá enviarse a MASE a través de TLN para su aprobación antes de procesar el material (*TENARIS*, 2012, p. 1).

2.3.1.2 Personas afectadas

Este documento es aplicable a todos:

- Empleados de Tenaris que procesan Conexiones Premium.
- Instalaciones con licencia para enhebrar conexiones TenarisHydril.
- Instalaciones de terceros calificadas por la ingeniería de productos TenarisHydril para realizar el enchapado de cobre de las conexiones TenarisHydril.

2.3.1.3 Referencias

Especificación ISO11960 / API 5CT - Especificación API para revestimiento y tubería.

Recubrimiento de cobre AMS 2418.

Especificación estándar ASTM B 734 para cobre electrodepositado para usos de ingeniería.

Práctica ASTM B 183 para la preparación de acero con bajo contenido de carbono para galvanoplastia.

ASTM B 254 Práctica para la preparación y galvanoplastia en acero inoxidable.

ASTM B 322 Práctica para la limpieza de metales antes de la galvanoplastia.

Método de prueba ASTM B 487 para la medición del espesor del recubrimiento de metal y óxido por examen microscópico de una sección transversal.

Método de prueba ASTM B 499 para medición de espesores de recubrimiento por el método magnético: recubrimientos no magnéticos sobre metal de base magnética.

Método de prueba ASTM B 568 para determinar el espesor del revestimiento por espectrometría de rayos X.

Método de prueba ASTM B 588 para medir el espesor de transparente o Recubrimientos opacos por microscopio de interferencia de doble haz Técnica.

ASTM B 659 Guía estándar para medir el espesor de recubrimientos metálicos e inorgánicos.

ASTM B 571 Práctica estándar para pruebas de adherencia cualitativas de recubrimientos metálicos.

2.3.1.4 Definiciones y abreviaturas

Las definiciones y abreviaturas se definen en la forma más actual.

MASE: Servicios de fabricación de Tenaris.

TLN: Red de licenciarios de Tenaris.

2.3.1.5 Responsabilidades

Las responsabilidades se definen en la revisión más reciente del documento de TenarisHydril TSH-GP-00-0002.

2.3.1.6 Calificación del personal

La calificación del personal se define en la revisión más reciente del documento de TenarisHydril TSH-GP-00-0003.

2.3.1.7 Procedimientos

2.3.1.7.1 Requisitos del proceso

Superficies recubiertas Las siguientes superficies deben recubrirse con los requisitos establecidos en este procedimiento: crestas de roscas (parte más externa de la rosca), raíces (parte interna de la rosca) y flancos de roscas (cara lateral del filete), la ranura de alivio (espacio que elimina la mayor concentración de esfuerzos en las juntas) y el hombro (superficie localizada atrás de la rosca). El diámetro interno detrás del hombro a una distancia mínima de 0,500 ". Las superficies de los diámetros externos de los acoplamientos o accesorios de la caja deben enmascararse según sea necesario.

Detalles del proceso de revestimiento de cobre, el proceso puede modificarse para cumplir requisitos específicos del fabricante.

La limpieza previa está diseñada para eliminar cualquier exceso de suciedad o grasa Disolvente frío, desengrasado con vapor, solvente emulsionable, aerosol de emulsión solvente, limpiadores de emulsión de tipo invertido o aerosol alcalino caliente con o sin solvente se utilizará una emulsión. No se aceptará el cepillado de alambre en ningún momento durante el proceso de limpieza. Las piezas deben estar libres de suciedad, grasa o aceites antes del recubrimiento.

Las piezas de enjuague con agua deben sumergirse en agua limpia y en exceso. posible, se debe proporcionar agitación con aire del enjuague con agua. También se puede usar enjuague por rociado para este asunto. El pH del agua de enjuague se debe mantener en un valor neutro.

Limpieza alcalina: Los limpiadores alcalinos eliminan los residuos de solventes y los residuos residuales que se han suavizado mediante la limpieza previa. Las piezas deben empaparse en un limpiador alcalino calentado. Frotar con cepillos o esponjas ayuda a eliminar la materia extraña. Se debe tener cuidado para evitar daños a los sellos y roscas durante esta operación. A este proceso le seguirá un enjuague con agua como se describe en el párrafo (*TENARIS*, 2012, p. 3).

2.3.1.7.2 Procedimiento de proceso

Limpieza final y activación de la superficie El procedimiento de limpieza no debe producir picaduras, agrietamiento o ataque intergranular del metal base. debe preservar los requisitos dimensionales. Se debe obtener una superficie libre de ruptura de agua. Se utilizará cualquiera de los procedimientos de limpieza descritos a continuación.

Electrolimpieza Suponiendo que las superficies todavía tienen residuos de pre-limpieza y pequeñas cantidades de suciedad, la electrolimpieza asegura que las únicas películas restantes sean adecuadas y aceptables para el proceso de electrodeposición. La limpieza eléctrica se empapa con la agitación proporcionada por el movimiento ascendente de las burbujas de hidrógeno u oxígeno formadas por la descomposición electrolítica del agua en la solución.

Decapado ácido Las partes deben tratarse con una solución diluida de ácido clorhídrico a temperatura ambiente. El decapado ácido eliminará todas las capas de óxido o escamas.

Recubrimiento de cobre Se debe electro depositar un recubrimiento de cobre adherente, liso, continuo y uniforme de una solución de recubrimiento adecuada sobre una superficie preparada adecuadamente. Se requiere un golpe de níquel antes del revestimiento de cobre para una mejor adhesión. Se pueden utilizar sistemas de inmersión o cepillado. Todos los hilos y otras características de la conexión (sellos, hombros, ranuras de alivio, etc.) deben recubrirse con el grosor requerido, además de la identificación detrás de la última característica para una distancia mínima de 0,5 pulgadas. Los aceros que tengan una resistencia a la tracción superior a 245 ksi (mil libras por pulgada cuadrada) no deberán ser chapados en cobre. Todas las partes electrochapadas que tengan una resistencia a la tracción de 150 ksi o más deben hornearse a un mínimo de 375 °F, durante 3 horas o más dentro de las 4 horas posteriores a la galvanoplastia para proporcionar alivio de la fragilidad de hidrógeno.

Operaciones de limpieza y post galvanoplastia: Cada parte chapada deberá quitar el enmascaramiento y se debe limpiar a fondo. Las operaciones de galvanoplastia posterior, como el alivio de tensiones, el recubrimiento de conversión de cromato o la cocción de alivio de la fragilidad de hidrógeno se especificarán en los documentos de ingeniería de productos de TenarisHydril y / o en la orden de compra (*TENARIS*, 2012, p. 4).

2.3.1.7.3 Control del proceso

2.3.1.7.3.1 Inspección visual

Todas las partes deben ser inspeccionadas visualmente para asegurar una superficie libre de grietas, abolladuras, nódulos u otros defectos que pueden haberse adquirido antes o durante el proceso de revestimiento de cobre. El material con signos de rasguños, poros o inclusiones no se procesará según esta especificación.

La inspección visual se realizará con una lupa 3X (lupa ideal para leer o inspeccionar libros). Se inspeccionarán ambos extremos de los acoplamientos. Se inspeccionarán todas las áreas roscadas de los accesorios que han sido chapados.

Todas las superficies chapadas en cobre deben ser inspeccionadas visualmente para asegurar una cobertura completa y uniforme del recubrimiento de cobre. Las superficies chapadas en cobre deben ser continuas y no cristalinas gruesas. Las superficies de los sellos y roscas deben ser lisas y sin defectos visuales, como ampollas, hoyos, asperezas, grietas, descamación y depósitos quemados.

Los límites de las placas de cobre que cubren solo una parte de la superficie deben estar libres de cuentas, nódulos, bordes dentados y otras irregularidades perjudiciales. Se permite una leve coloración o decoloración. No se permiten las manchas.

Muestras representativas: Las muestras representativas se utilizan para pruebas destructivas del recubrimiento. Si hay métodos de prueba no destructivos disponibles, estas muestras no son necesarias. Las muestras representativas serán de material similar al pedido que se procesa. Las muestras representativas se procesarán al mismo tiempo, utilizando los mismos parámetros de proceso que el pedido. La muestra se utilizará para la prueba de espesor de revestimiento de acuerdo con la sección (TENARIS, 2012, p. 6).

2.3.2 *ASTM B254-92 (preparación y galvanoplastia en acero inoxidable)*

No es un procedimiento estandarizado sino una guía para la producción de electrodos de depósito lisos y adherentes en acero inoxidable (ASTM B254-92, 2014, p. 1).

La preparación del acero inoxidable implica tres pasos principales en el siguiente orden:

1. Eliminación de escamas e incrustaciones.
2. Eliminación de grasa, aceite y otros materiales extraños por limpieza.
3. Activación inmediatamente antes de la galvanoplastia

2.3.2.1 *Eliminación de escamas e incrustaciones*

La eliminación correcta y adecuada de todo desperfecto de la superficie de la herramienta a ser tratada mediante pulido abrasivo, rectificado etc. Consiguiendo una superficie lisa y dispuesta al

tratamiento para un depósito liso y sin fallas (*ASTM B254-92*, 2014, p. 2).

2.3.2.2 Eliminación de grasa, aceite y otros materiales extraños por limpieza.

Los tipos de control de solución, electrodos, bobinas de calentamiento, y los tanques de enjuague normalmente utilizados para limpiar acero al carbono son satisfactorios para el acero inoxidable (*ASTM B254-92*, 2014, p. 3).

2.3.2.3 Activación inmediatamente antes de la galvanoplastia

Un electrodeposición adherente de electrochapado común. Los metales (cadmio, cobre, latón, cromo, oro, níquel o plata) pueden electrodeponerse directamente sobre acero inoxidable siempre que la superficie del acero inoxidable esté activa (*ASTM B254-92*, 2014, p. 4).

2.3.1.4 Grados de acero inoxidable

Hay muchos grados estándar y muchos más grados especiales de acero inoxidable. Cada grado tiene un uso específico, y cada uno puede presentar un problema de acabado individual. Las calificaciones comunes se clasifican como (*ASTM B254-92*, 2014, p. 5):

- Martensítico, o grados de cromo magnético endurecible. Los tipos UNS S40300, S40500, S40600, S41000, S41400, S41600, S42000, S43100, S44002, S44003 y S44004 son las aleaciones más comunes de este grado.
- Ferrítico o grados de cromo magnético no endurecible. Los tipos UNS S43000, S43020 y S44600 son aleaciones de este tipo.
- Austenítico o aleaciones de cromo-níquel no magnéticas no endurecibles. UNS tipos S20100, S20200, S30100, S30200, S30300, S30400, S30500, S30800, S30900, S31000, S31600, S31700, S32100 y S34700 son las aleaciones más comunes de este tipo.

2.3.1.5 Condición para electrodeposición

Todos los grados comunes de acero inoxidable con tratamientos térmicos normales, en el rango completo de dureza y en las formas mencionadas anteriormente, con cualquier acabado de superficie libre de incrustaciones, y cuando se activa adecuadamente, se pueden cubrir con depósitos de electrodeposición comúnmente electrodepositados rieles.

La suavidad de la superficie de acero inoxidable a galvanizar debe ser comparable con el requisito de Producto terminado. Se deben evitar los controles de rectificado, el glaseado y las manchas de tratamiento térmico en el acero inoxidable.

Los grados de alto carbono (UNS Tipos 42000, 44002, 44003 y 44004) pueden estar sujetos a fragilización por hidrógeno durante las operaciones de galvanoplastia. Esto puede superarse

calentando los artículos electrochapados a una temperatura de 150 a 260 ° C durante 1 a 3 h después de la galvanoplastia (*ASTM B254-92*, 2014, p. 6).

2.3.3 *ASTM B322-99 (Limpieza de metales antes de la galvanoplastia)*

Esta guía pretende ilustrar los principios generales de limpieza antes de la galvanoplastia. No está destinado a aplicarse a todas las aplicaciones específicas. En casos específicos, la práctica de limpieza puede apartarse de los principios generales dados en esta guía.

La limpieza adecuada requiere una combinación adecuada de procedimientos de limpieza. La elección de estos procedimientos debe basarse en el conocimiento de los metales que se limpiarán y de los suelos que se eliminarán. Debido a que los proveedores de procesos y formulaciones patentados han obtenido la mayor experiencia y conocimiento en limpieza, estas fuentes deben ser consultadas antes de establecer un proceso de limpieza (*ASTM B322-99*, 2014, p. 1).

2.3.3.1 *Pre-limpieza*

La limpieza previa está diseñada para eliminar un gran exceso de tierra, especialmente depósitos de compuesto pulidor o grasa. También es útil para reducir la viscosidad de ceras y aceites pesados, para permitir que las etapas de limpieza posteriores sean más efectivas, o para eliminar las huellas de los dedos y el polvo seco con una matriz aceitosa para facilitar la eliminación con limpiadores alcalinos (*ASTM B322-99*, 2014, p. 2).

2.3.3.2 *Limpieza intermedia (alcalina)*

La limpieza alcalina intermedia elimina los residuos de solventes y tierra residual que se ha ablandado o condicionado por la limpieza previa. La limpieza alcalina en spray o en remojo también se puede usar como una etapa de limpieza previa seguida de una limpieza alcalina adicional, si la tierra y el metal se prestan a este tratamiento. Esto no es así para los metales que son sensibles a la limpieza alcalina, como el zinc, porque el tiempo en el limpiador alcalino debe ser mínimo (*ASTM B322-99*, 2014, p. 4).

2.3.3.3 *Electropuración final*

Los objetivos de la limpieza de metales antes de galvanoplastia se han resumido de la siguiente manera. En la electrodeposición, se requiere una superficie que reciba un depósito de metal liso y adherente, pero esta no es necesariamente una superficie absolutamente limpia. En general, una superficie aceptable es aquella en la cual las películas de superficie objetable han sido reemplazadas por películas más adecuadas y aceptables para la galvanoplastia.

Suponiendo que las partes metálicas hayan sido previamente limpiadas como en métodos descritos anteriormente, las “películas de superficie objetables” son residuos de prefiltración,

pequeñas cantidades de suciedad, como aceites y partículas sólidas, que no se eliminan por completo mediante tratamientos de limpieza previos. Por lo tanto, el proceso final de limpieza eléctrica es un seguro que solo queda películas que son "más adecuadas y aceptables" para las operaciones de galvanoplastia.

Electrolimpieza: es limpieza en remojo con agitación provisto por el movimiento ascendente de burbujas de hidrógeno u oxígeno formadas por la descomposición electrolítica del agua en la solución. Debido a esta acción electrolítica, se requieren tipos especiales de limpiadores Catódico. Las piezas cargadas negativamente en el tanque del limpiador eléctrico se limpian catódicamente o con corriente continua. El gas hidrógeno se desarrolla en la superficie. Los iones y coloides cargados positivamente son atraídos al cátodo.

La limpieza catódica proporciona mayor agitación debido a dos volúmenes de hidrógeno se desarrollan en la superficie, en comparación con un volumen de oxígeno en el ánodo. En la limpieza catódica, se produce poco o nada de empañamiento o fijación de metales no ferrosos (*ASTM B322-99*, 2014, p. 6).

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se detalla el diseño y construcción de cada una de sus partes y la función que cumple dentro del respectivo sistema de la planta de cobreado, se detalla el funcionamiento de la máquina.

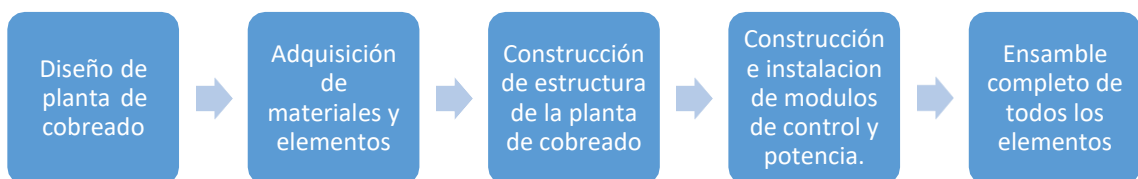


Figura 1-3. Diagrama de proceso de diseño y construcción de planta de cobreado

Realizado por: Latorre, Noe; 2020

3.1. Diseño de la planta de cobreado

3.1.1 *Cuerpo Principal*

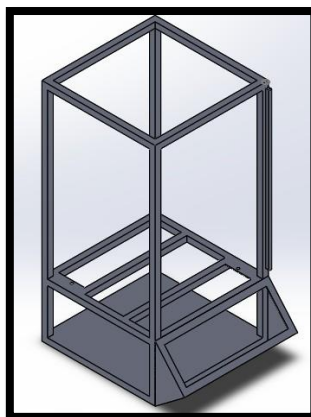


Figura 2-3. Cuerpo principal

Realizado por: Latorre, Noe; 2020

Este elemento será en el cual irán montado todos y cada uno de los elementos a utilizarse en nuestra plata de cobreado, esta llevara unas dimensiones generales de 100 cm de alto por 50 cm de ancho y fondo, espesor de material de 3 mm.

3.1.2 Campana de extracción de gases

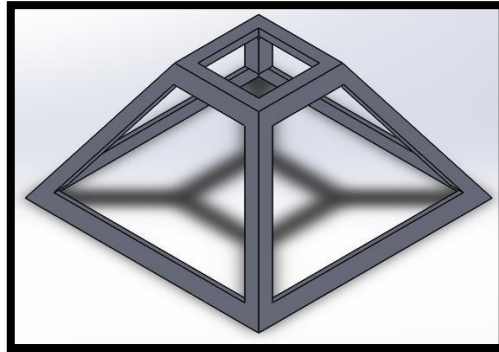


Figura 3-3. Campana de extracción de gases

Realizado por: Latorre, Noe; 2020

Su función es la extracción de todos los gases nocivos producidos por el baño cianurado de cobre o alcalino, evitando que este se concentre en la cabina y sea un riesgo latente para los operarios. Sus dimensiones son de 50 cm de ancho y alto por 25 cm de alto con 3 mm de espesor de material.

3.1.3 Puerta de seguridad para procedimientos

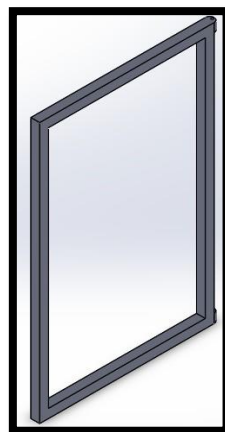


Figura 4-3. Puerta de seguridad

Realizado por: Latorre, Noe; 2020

Permite aislar los gases producidos por el proceso una vez que este comienza evitando el contacto directo con el operario, dimensiones 50 cm de ancho por 75 cm de alto con un espesor de material de 3 mm.

3.1.4 Panel de control

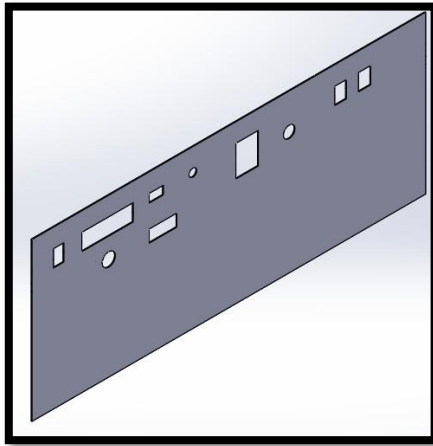


Figura 5-3. Panel de control

Realizado por: Latorre, Noe; 2020

En esta placa se deberá montar todos los alantemos de control, que permitirán controlar cada una de las etapas del proceso dimensiones de 50 cm de ancho por 20 cm de alto y 1 mm de espesor.

3.1.5 Tapas de protección de elementos de potencia

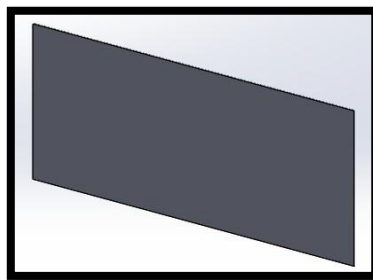


Figura 6-3. Tapas de protección de elementos de potencia

Realizado por: Latorre, Noe; 2020

Estas estarán encargadas de mantener aislados los elementos de potencia evitando su contacto directo, estas tapas variarán dependiendo de su posición con perforaciones de alimentación de

corriente y ventilación, además de palancas de control de fluido sus dimensiones serán de 25 cm de alto por 50 cm de ancho y un espesor de 1 mm.

3.1.6 Cuba electrolítica

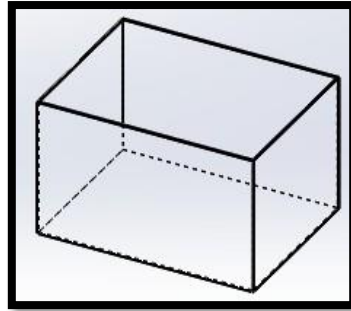


Figura 7-3. Cuba electrolítica

Realizado por: Latorre, Noe; 2020

Esta almacenará el electrolito, ánodos, cátodos, sistema de recirculación de fluido y resistencia térmica esta será realizada el plástico.

3.1.7 Brazos de ánodos

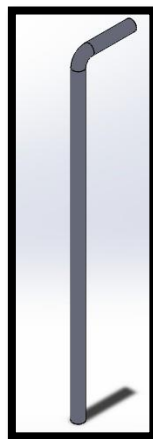


Figura 8-3. Brazos de ánodos

Realizado por: Latorre, Noe; 2020

Estos permitirán colgar los ánodos de cobre, además que el diseño propuesto utilizara dos ánodos para tener dos puntos de ataque al material y obtener una cobertura más uniforme se utilizarán dos brazos de ánodos de acero inoxidable.

3.1.8 Acoples de ánodos

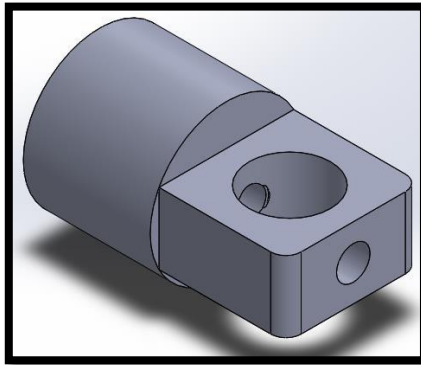


Figura 9-3. Acoples de ánodos

Realizado por: Latorre, Noe; 2020

Estos permitirán la correcta sujeción de los ánodos además de estar fabricados en elementos no conductores(nylon) para evitar descargas a la estructura se usarán dos acoples uno por cada brazo de ánodo.

3.1.9 Patas de regulación

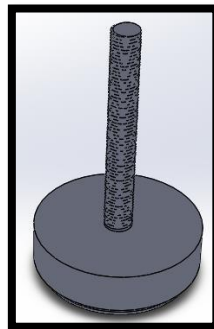


Figura 10-3. Patas de regulación

Realizado por: Latorre, Noe; 2020

Estas permitirán nivelar la máquina en cualquier superficie plana.

3.1.10 Ensamble final de planta de cobreado

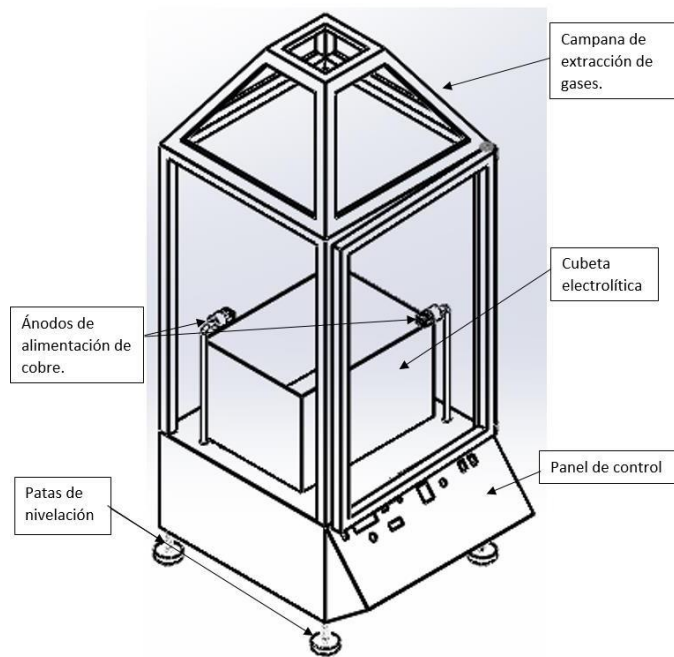


Figura 11-3. Ensamble final de planta de cobreado

Realizado por: Latorre, Noe; 2020

3.2 Adquisición de materiales

Para realizar la selección del material en el cual se construirá la estructura, se debió tomar en cuenta al ambiente tan agresivo en el que se encontrara funcionando como es el oriente ecuatoriano, el cual tiene una tasa de humedad alta (entre el 85 y 90 % esto nos indica el efecto de la temperatura sobre la humedad relativa, contenido de agua en la atmosfera), la cual es extremadamente agresiva para materiales de acero al carbono, motivo por el cual se decidió trabajar en acero inoxidable M304-2B para la estructura y para las tapas y panel de control en acero inoxidable AISI 201-2B.

3.3 Construcción de la estructura de la planta de cobreado

Se detalla a continuación cada paso dado en la construcción de la planta de cobreado.

3.3.1 Construcción cuerpo Principal y campana de extracción

La estructura después de ser medida y cortada según las dimensiones requeridas se procede a ser soldada mediante soldadura específica para el material como es la TIG (tungsteno inerte gas) sin material de aporte solo mediante fundición de bordes.



Figura 12-3. Construcción cuerpo principal y campana de extracción

Realizado por: Latorre, Noe; 2020

3.3.2 Construcción y colocación de la puerta



Figura 13-3. Colocación de la puerta

Realizado por: Latorre, Noe; 2020

3.3.3 Colocación de Placas Protectoras.

Para el corte de la plancha de acero inoxidable se utilizó plasma.



Figura 14-3. Colocación de tapas de protección.

Realizado por: Latorre, Noe; 2020

3.4 Construcción e instalación de módulos de control y potencia

Para los módulos de control se utilizó:

- Interruptores de 4 patas
- Controlador de temperatura (termostato) STC-3000
- Interruptor 3 patas
- Temporizador
- Pulsador CSC 22 mm, luminoso
- Voltímetro,
- Amperímetro
- Potenciómetro
- Válvulas de ¼

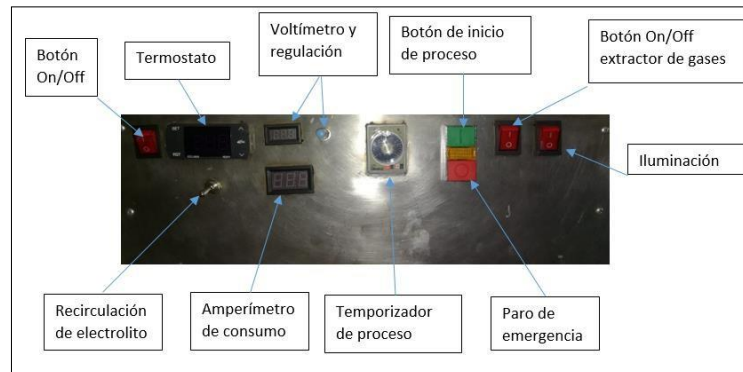


Figura 15-3. Panel de control

Realizado por: Latorre, Noe; 2020



Figura 16-3. Panel de control (recirculación de electrolito)

Realizado por: Latorre, Noe; 2020

Para el módulo de potencia se utilizó:

- Transformador de 110 voltios de entrada y una salida de 40 voltios a 40 amperios.
- Puente rectificador.
- Relés
- Bomba de recirculación

- Cables
- Transistores 2N3055
- Resistencias térmicas 0,47 ohmios a 10 W
- Disipadores de calor
- Ventilador
- Interruptor térmico

3.5 Ensamble completo de todos los elementos



Figura 17-3. Planta de cobreado
Realizado por: Latorre, Noe; 2020

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Pruebas de funcionamiento de la Máquina

El miércoles 8 de julio del 2020 se realizaron las pruebas de funcionamiento de la máquina en la planta de producción ciudad del Coca, las pruebas se realizaron sin ninguna dificultad y todo según lo previsto, la explicación de funcionamiento de la maquina se la dio al personal encargado de realizar recubrimientos anticorrosivos como son el fosfatizado.

Del funcionamiento de la máquina se lograron recoger datos importantes para la creación de una tabla de selección de tiempos a trabajar evitando el uso de fórmulas y cálculos, solo determinados por su dimensiones básicas(ancho sección mayor, longitud, diámetro interno existir) de las herramientas, basándonos el desarrollo de esta tabla mediante comportamiento en una gráfica y obteniendo a un comportamiento para predecir un tiempo adecuado en el cual genere una capa de adhesión la cual no interfiera en las dimensiones finales de la herramienta.



Figura 18-4. Explicación de funcionamiento de la planta de cobreado
Realizado por: Latorre, Noe; 2020

4.1.1 Colocación de electrolito y temperatura de funcionamiento

El electrolito debe ser el primer elemento en ser colocado antes de levantar el interruptor térmico, ya que este permitirá al termostato recolectar la información de temperatura y empezar a calentar la solución a 30° Celsius, la cual es la temperatura óptima de funcionamiento, al trabajar en el Oriente la temperatura ambiente del fluido oscilará entre 22° y 25° esto permite un tiempo de calentamiento de 5 minutos al ser el termostato automático permite detener el paso de corriente a la resistencia eléctrica cuando ya se haya alcanzado la temperatura requerida y enviarla de nuevo cuando esta haya bajado a 29 ° C.



Figura 19-4. Colocación de electrolito, temperatura de funcionamiento
Realizado por: Latorre, Noe; 2020

4.1.2 Limpieza de las herramientas y activación para ser cobreadas.

La limpieza es la base del proceso de cobreado ya que de esta dependerá una correcta adhesión, libre de poros, burbujas, grietas. Para la limpieza superficial de la herramienta y eliminación de grasa, suciedad y cualquier agente externo que ocasione fallas en el proceso de cobreado se utiliza un desengrasante industrial llamado Orange también usado para el proceso de fosfatizado.



Figura 20-4. Proceso de limpieza y decapado
Realizado por: Latorre, Noe; 2020

Para el decapado de la herramienta al tratarse de herramientas hechas en acero inoxidable se trabaja con ácido clorhídrico (comercialmente lo encontramos como ácido muriático o muriatol) este permitirá eliminar la fina capa de óxido creada se ingresara la herramienta por un tiempo de 1 minutos, una vez realizado el proceso de lavado y decapado en cada una de las operaciones se debe enjuagar la herramienta con abundante agua, para eliminar cualquier rastro de los elementos utilizados el agua de preferencia pH neutro.

Las herramientas de acero inoxidable al ser superficies preparadas desde fábrica para ser sometidas a trabajos expuestos a climas difíciles, ácidos, entornos abrasivos, humedad y temperatura elevada son materiales difíciles de ser sometidos a un recubrimiento superficial ya que este no tendrá una adherencia buena, normativa Tenaris indica que se debe trabajar con un Golpe de níquel (níquelado químico) para mejorar la adherencia.

Dentro de los distintos tipos de golpes de níquel tenemos los siguientes:

- **Watts** para catalizar sustratos no catalíticos y para subcapa de barrera.
- **Sulfamato** para catalizar sustratos no catalíticos y para subcapa de barrera.
- **Woods** para activar aleaciones de cromo y níquel.
- **Woods modificado** para activar y catalizar.
- **Golpe de sulfamato** para activar y catalizar.

Para el uso que nosotros requerimos nos basaremos en trabajar con Golpe de níquel tipo Woods para activar aleaciones de cromo y níquel, los parámetros de trabajo de cada uno de los golpes de níquel son los siguientes.

| TABLA 1 – Química de Golpe de Níquel y Condiciones de Operación | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| QUÍMICA | SULFAMATO | WATTS | WOODS | WOODS MODIFICADO | GOLPE DE SULFAMATO |
| Sulfamato de Níquel (anh) | 327 g/L (76 g/L de Níquel) | | | | 193-327 g/L (45-76 g/L Ni) |
| Sulfato de Níquel | | 300 g/L | | 112 g/L | |
| Cloruro de Níquel | 6-15 g/L | 60 g/L | 120-240 g/L | 112 g/L | |
| Ácido Bórico | 45 g/L | 45 g/L | | 15 g/L | 30 g/L |
| Cloruro de Hidrógeno (conc) | | | 62-125 mL/L | 50-100 mL/L | 12 mL/L |
| Ácido Sulfámico | | | | | 20 g/L |
| Aditivos | Tensión/wet agt | 1% portador/ wet agt | ninguno | ninguno | ninguno |
| Rango de pH operativo | 3.0-4.0 | 3.5-4.0 | < 0.5 | 0.6-1.0 | 1.5 máximo |
| Temperatura de Operación | 38-49°C | 38-49°C | 20-30°C | 20-30°C | 27-38°C |
| Densidad de corriente de cátodo ASF (ASD) | 10-40 ASF (1.1-4.3 ASD) | 10-40 ASF (1.1-4.3 ASD) | 10-100 ASF (1.1-10.8 ASD) | 10-100 ASF (1.1-10.8 ASD) | 10-100 ASF (1.1-10.8 ASD) |

Gráfico 4-4. Química de golpe de níquel y condiciones de operación.

Fuente: (Durkin, 2015)

Golpe de activación de níquel Woods. Esta química ha existido desde hace décadas, y muchas variantes han evolucionado desde la original, pero esta fue diseñada para ser un activador/golpe que brinde adhesión sobre sustratos ferrosos difíciles.

Las versiones anteriores de este golpe eran operadas como una activación anódica (grabado inverso), seguidas por una corriente catódica para golpear y brindar una capa muy delgada de níquel que desplazara el óxido superficial.

Como resultado de ello, y a pesar de la contaminación debida al grabado inverso, esta química es excelente para la activación en aleaciones de acero inoxidable con contenido de níquel, lo cual incluye un rango amplio de tipos de sustrato. La particularidad de su uso como grabado inverso en algunos tipos de aleaciones tiene sus ventajas, siendo la más importante la economía de su montaje, de manera que muchos profesionales de aplicación piensan en ella como una química de activación desechable.

En contraste con el sulfamato, esta química es altamente ácida y corrosiva y, como consecuencia de su uso, es tendiente a contaminación metálica. Es común encontrar depósitos de inmersión de cobre que causen una pobre adhesión en algunos tipos de sustrato, dependiendo de las condiciones de operación. En general, la contaminación metálica no puede ser limpiada selectivamente de esta química altamente ácida, ocasionando así una vida corta, a la vez que la solución debe ser

cambiada con mayor frecuencia, al igual que con el tratamiento de desperdicios. De igual manera, debido a su acidez tan elevada, se utilizan ánodos de níquel electrolítico, los cuales son ofrecidos en muchos grados y diferentes niveles de impureza. El incremento de metal de níquel en la solución es muy común, lo cual disminuye la capacidad del golpe de activar algunos tipos de sustrato. A menos que los ánodos sean removidos al finalizar cada turno de producción, se requerirá una remoción constante de parte de la solución para mantener la ineficiencia de la química.

Esta química no es buena para activar partes revestidas en barril, debido a las bajas densidades de corriente que se requieren donde la solución tiende a atacar algunos tipos de sustrato, en vez de activarlos. Estas formulaciones no están diseñadas para brindar ninguna capa de barrera contra la corrosión o para encapsular porosidades, o no debería ser llevada a una química de níquel auto catalítica sin un enjuague.

Preparación de la solución de golpe de níquel para un galón (4 litros):

Tabla 1.4 Químicos de Golpe de Níquel Woods

| | |
|---------------------------------------------------|-------------------|
| Cloruro de níquel | 720 gramos |
| Cloruro de hidrogeno (ácido clorhídrico activado) | 360 mililitros |
| pH | < 0,5 |
| Temperatura | 20° - 30° Celsius |
| Agua destilada | 4 litros |

Fuente: (Latorre, Noe; 2020)

El ácido clorhídrico es la solución acuosa de cloruro de hidrógeno que tiene propiedades ácidas. Por lo tanto, la principal diferencia entre el cloruro de hidrógeno y el ácido clorhídrico es que el cloruro de hidrógeno es un gas incoloro a temperatura ambiente, mientras que el ácido clorhídrico es una solución.

En este proceso se le someterá a la herramienta a inmersión por un tiempo de 5 minutos sin necesidad de electricidad y se enjuagará en agua neutra.

4.1.3 Proceso de adhesión de capa de cobre

Para generalizar una tabla de funcionamiento de la máquina trabajaremos a un voltaje de constante de 10 voltios para manipular, solo el tiempo de permanencia al que va a ser sometida la herramienta en proceso y así poder obtener una capa de adhesión lisa, continua, sin

imperfecciones y con un espesor que no interfiera dentro de las dimensiones de la herramienta y su funcionalidad.

A continuación, se detallará dimensiones de capas obtenidas y las dimensiones básicas de las herramientas usadas.



Figura 21-4. Proceso de colocación de herramientas a ser cobreadas

Realizado por: Latorre, Noe; 2020



Figura 22-4. Selección de parámetros de cobreado

Realizado por: Latorre, Noe; 2020

4.1.3 Secado de la herramienta

Después de realizar el depósito de cobre la herramienta debe ser lavada inmediatamente con abundante agua para eliminar cualquier rastro de sales y posterior a esto ser secada con aire caliente para evitar la generación de manchas por el agua con el que fue lavada además de permitir endurecer el depósito de cobre.

4.2 Resultados de adhesión de cobre

Tabla 2.4 Pruebas de cobreado y resultados

| Herramienta | Dimensiones | Valores utilizados y espesor de capa obtenido |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Longitud: 0,1181" Diámetro Externo: 0,5118" Diámetro interno: 0,4330" | Voltaje: 10 voltios Amperaje 0,35 Espesor de capa: 0,000175" Tiempo: 1 minutos |
|  | Longitud: 1,2204" Diámetro Externo: 0,4330" Diámetro interno: 0,1968" | Voltaje: 10 voltios Amperaje 0,37 Espesor de capa: 0,0002" Tiempo: 2 minutos |

| | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Longitud: 0,3149” Diámetro Externo: 1,2204” Diámetro interno: 0,6692”</p> | <p>Voltaje: 10 voltios Amperaje 0,37 Espesor de capa: 0,00021” Tiempo: 3 minutos</p> |
|  | <p>Longitud: 0,7086” Diámetro Externo: 1,2204” Diámetro interno: 0,3543”</p> | <p>Voltaje: 10 voltios Amperaje 0,39 Espesor de capa: 0,00022” Tiempo: 4 minutos</p> |
|  | <p>Longitud: 5,640” Diámetro Externo: 2,122” Diámetro interno: 1,530”</p> | <p>Voltaje: 10 voltios Amperaje 0,44 Espesor de capa: 0,00025” Tiempo: 6 minuto</p> |

Fuente: (Latorre, Noe; 2020)

Con los tiempos determinados se logró obtener una cobertura de 0,000175 a 0,00025 diezmilésimas de pulgada un valor que no afecta en las dimensiones de funcionamiento de las determinadas herramientas a ser sometidas en este proceso, con estos datos se analizara su comportamiento respecto a sus dimensiones básicas en función del tiempo para determinar un espesor de cobertura ideal para cada herramienta.



Figura 23-4. Medición de espesor de cobreado

Realizado por: Latorre, Noe; 2020

Las mediciones con instrumentos del área de calidad de SERTECPET son extremadamente confiables ya que estos equipos son anualmente validados por empresas dedicadas a su comprobación, de su correcta funcionalidad y que se encuentren dentro de los parámetros estipulados para ser medidas acreditadas y aprobadas para su uso una de estas empresas es Calpelab, la cual se dedica a la calibración y certificación de equipos de medición y comprobación.

4.2.1 Comportamiento de adhesión de capa de cobre vs tiempo de cobreado

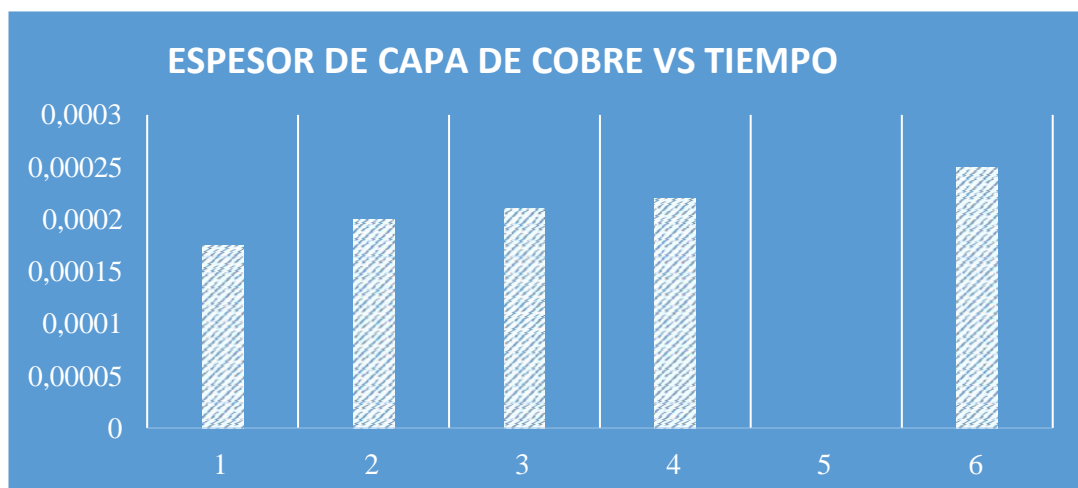


Gráfico 5-4. Comportamiento de adhesión de capa de cobre vs tiempo de cobreado

Realizado por: Latorre, Noe; 2020

Analizando el comportamiento de la Figura 7-4 con respecto al tiempo y el incremento del espesor de cobre depositado en las superficies a trabajar se puede determinar un patrón de trabajo apto basado en el tiempo donde el incremento del tiempo es directamente proporcional a la superficie que se va a recubrir y en la cual nos brinda una superficie de cobre de entre 0,000175 a 0,00025 diezmilésimas de pulgada (4,44 micras a 6,35 micras). Anexo C

Considerando que SERTECPET como industria que provee herramientas a nivel nacional y mundial trabaja bajo sistema ingles en milésimas de pulgada, el espesor depositado de cobre no interferir en las dimensiones geométricas de la misma para evitar modificaciones tanto en la programación de los equipos de mecanizado CNC como en los diseños ya realizados.

El espesor obtenido de depósito de cobre durante las pruebas funcionamiento con cada tiempo asignado no interfiere en la fabricación de las herramientas siendo apto para su aplicación en cualquier tipo de herramienta de acero inoxidable.

4.3 Análisis de costos

Tabla 3.4 Costos directos. Estructura de acero inoxidable

| ESTRUCTURA DE ACERO INOXIDABLE | | | |
|---------------------------------------|-----------------|------------------------|---------------------|
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
| Angulo M304-2B | 3 | 27,92 | 93,81 |
| Plancha AISI 201 | 1 | 61,87 | 69,30 |
| Acrílico | 1 | 55,00 | 55,00 |
| Subtotal | | | 218,11 |

Fuente: (Latorre, Noe; 2020)

Tabla 4.4 Costos directos. Extractor de gases e iluminación

| EXTRACTOR DE GASES E ILUMINACIÓN | | | |
|-----------------------------------------|-----------------|------------------------|---------------------|
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
| Extractor de gases | 1 | 15 | 15 |
| Foco y boquilla | 1 | 2 | 2 |
| Canaletas | 2 | 1 | 2 |
| Subtotal | | | 19 |

Fuente: (Latorre, Noe; 2020)

Tabla 5.4 Costos directos. Electrolitos, ánodos, cuba, resistencia eléctrica, ácido

| ELECTRÓLITOS, ÁNODOS, CUBA, RESISTENCIA ELECTRICA, ACIDO | | | |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------|---------------------|
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
| Electrolitos | 4 | 14,00 | 56,00 |
| Ánodos | 2 | 3,00 | 6,00 |
| Cuba | 1 | 7,00 | 7,00 |
| Resistencia eléctrica. | 1 | 80,00 | 80,00 |
| Ácido clorhídrico | 1 | 5,50 | 5,50 |
| Subtotal | | | 154,50 |

Fuente: (Latorre, Noe; 2020)

Tabla 6.4 Costos directos. Control y potencia

| CONTROL Y POTENCIA | | | |
|--------------------------------------------------|-----------------|------------------------|---------------------|
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
| Transformador | 1 | 150,00 | 150,00 |
| Puente rectificador | 1 | 40,00 | 40,00 |
| Relés | 3 | 9,00 | 9,00 |
| Bomba de recirculación | 1 | 60,00 | 60,00 |
| Cables | 40 metros | 0,38 | 0,38 |
| Transistores 2N3055 | 6 | 3,00 | 18,00 |
| Resistencias térmicas 0.47 ohmios a 10 W | 6 | 0,50 | 3,00 |
| Disipadores de calor | 3 | 10,00 | 10,00 |
| Ventilador | 1 | 10,00 | 10,00 |
| Interruptor térmico | 1 | 8,00 | 8,00 |
| Interruptores de 4 patas | 3 | 1,05 | 1,05 |
| Controlador de temperatura (termostato) STC-3000 | 1 | 25,00 | 25,00 |
| Interruptor 3 patas | 1 | 2,52 | 2,52 |
| Temporizador | 1 | 24,50 | 24,50 |
| Pulsador CSC 22 mm, luminoso | 1 | 5,73 | 5,73 |
| Voltímetro, | 1 | 5,50 | 5,50 |
| Amperímetro | 1 | 10,00 | 10,00 |
| Potenciómetro | 1 | 0,50 | 0,50 |
| Válvulas de ¼ | 2 | 3,64 | 7,27 |
| subtotal | | | 445,17 |

Fuente: (Latorre, Noe; 2020)

Tabla 7.4 Costos directos. Materiales y Herramientas

| MATERIALES Y HERRAMEINTAS | | | |
|----------------------------------|--------------------|------------------------|---------------------|
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
| Plástico termo fundible | 3 metros | 1,00 | 3,00 |
| Remaches | 100 | 0,02 | 2,00 |
| lagartos | 3 | 0,40 | 1,20 |
| Cinta doble faz | 1 | 5,50 | 5,50 |
| Terminales | 60 | 0,60 | 3,60 |
| Discos de pulido | 1 | 1,25 | 1,25 |
| Argón | 2,5 m ³ | 42,85 | 107,00 |
| Plasma boquillas | 1 | 3,00 | 3,00 |
| Transporte | 1 | 10,00 | 10,00 |
| Maguera de fluido | 3 metros | 2,00 | 6,00 |
| Acoples de ¼ | 4 | 2,00 | 8,00 |
| Terminales de fluidos | 3 | 4,00 | 12 |
| Subtotal | | | 162,55 |

Fuente: (Latorre, Noe; 2020)

Tabla 8.4 Costos indirectos.

| TRANSPORTE | | | |
|------------------------------|-----------------|------------------------|---------------------|
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
| Transporte a ciudad del Coca | 1 | 40 | 40 |
| Subtotal | | | 40 |

Fuente: (Latorre, Noe; 2020)

COSTO TOTAL (USD) = COSTO DIRECTOS + COSTOS INDIRECTOS

COSTO TOTAL (USD) = 999,33 + 40

COSTO TOTAL (USD) = 1039,33

CONCLUSIONES

La recopilación de información sobre máquinas similares permite determinar todas las funciones necesarias que debe tener nuestra planta de cobreado para su correcto funcionamiento.

Los materiales y diseño elegido son necesarios para afrontar las condiciones adversas del oriente ecuatoriano y una fácil reubicación de la planta de cobreado de ser necesario.

La máquina se encuentra en capacidad de realizar procesos industriales de pequeña escala considerando que el cobreado necesita un voltaje constante de 5 a 15 voltios de corriente continua.

Los aceros inoxidable a diferencia de los aceros al carbono requieren de un procedimiento adicional llamado golpe de níquel para una correcta adhesión del depósito de cobre ya que sin este proceso el cobre depositado no tendrá la suficiente adhesión.

Los ácidos usados en decapado de acero al carbono son muy diferentes al ácido usado en aceros inoxidable ya que los primeros usan ácido sulfúrico diluido al 1% mientras tanto los segundos usan ácido clorhídrico en disolución directa, se comercializa como ácido muriático.

La tabla de operaciones de voltaje constante y tiempo variable permite un fácil entendimiento de la funcionalidad de la maquina evitando a los operarios de esta, ingresar a cálculos matemáticos extensos y disminuyendo el tiempo de preparación de las herramientas a ser sometidas al proceso.

El manual de funcionamiento detalla cada paso de la máquina; aquellos procedimientos claves a tener en cuenta durante su funcionamiento y aquellos que no se deben hacer para evitar daños de la misma.

El sistema de agitación de bomba de circulación es más eficiente que un sistema neumático ya que permite una mejor distribución del calor; al calentar el electrolito y evita la adhesión de burbujas suministradas por un sistema neumático en el cátodo.

Una doble colocación de ánodos de forma estratégica en dos frentes al cátodo permite una mejor distribución de los iones de cobre que recubrirán el mismo.

RECOMENDACIONES

No encender el interruptor térmico sin haber colocado el electrolito esto podría quemar la resistencia eléctrica, dañando el sistema de calentamiento de electrolito.

Controlar el estado del baño alcalino de cobre(electrolito) para que su desempeño sea lo más favorable posible, el valor aproximado de espesores y la apariencia final del depósito dependerá mucho de esto.

Siempre encender la campana de extracción de gases para evitar la acumulación de gases nocivos en la cámara interna de la máquina.

No desarmar la maquina en funcionamiento podría existir una descarga mortal.

Lavar el sistema de recirculación una vez que el proceso se haya realizado.

Un mayor tiempo de exposición de una herramienta al proceso sin seguir el tiempo recomendado en tabla ocasionara un depósito de mayor espesor.

Uso a cabalidad de todos los elementos de protección personal, mascarilla, guantes, visores.

GLOSARIO

Acero inoxidable: aleación de hierro y carbono que contiene por definición un mínimo de 10,5% de cromo. Algunos tipos de acero inoxidable contienen además otros elementos aleantes. Los principales son el níquel y el molibdeno (*TENARIS*, 2012, p. 2).

AMS: Aerospace Material Specifications (especificaciones del material aeroespacial) (*TENARIS*, 2012, p. 2).

Amperaje (A): la cantidad de corriente eléctrica que pasa a través de un componente eléctrico (*SANDOVAL & SANTILLÁN*, 2012, P. 3).

API: Instituto americano del petróleo (*TENARIS*, 2012, p. 2).

ASTM: Asociación Americana de Ensayo de Materiales (*TENARIS*, 2012, p. 2).

Acero inoxidable Austenítico: Son aceros fabricados con el contenido de cromo y níquel en las siguientes proporciones 16% a 26% de cromo y 6% a 22% de níquel (*ASTM B254-92*, 2014, p. 6).

Copper plating: Recubrimiento de cobre (*TENARIS*, 2012, p. 2).

Coulomb: es la unidad derivada del sistema internacional para la medida de la magnitud física de cantidad de electricidad (*SANDOVAL & SANTILLÁN*, 2012, P. 4).

Cruce de hilos: daño de los hilos de las roscas tanto en perno como en rosca ocasionado por el cruce incorrecto entre las crestas de la rosca y flancos de rosca (*TENARIS*, 2012, p. 3).

dm: unidad de medida de longitud llamado decímetro el cual costa de 10 centímetros (*SANDOVAL & SANTILLÁN*, 2012, P. 40).

dm²: unidad de medida de área llamado decímetro cuadrado el cual costa de 100 centímetros cuadrados (*SANDOVAL & SANTILLÁN*, 2012, P. 40).

Engranamiento: Soldadura generado en las roscas en el cual se pegan los flancos de las roscas tanto de perno como tuerca (*TENARIS*, 2012, p. 3).

Acero inoxidable Ferrítico: son aceros fabricados con 12% a 27% de cromo, con el carbono controlado al más bajo porcentaje práctico, para disminuir su efecto nocivo en la resistencia a la corrosión (*ASTM B254-92*, 2014, p. 6).

Acero inoxidable Martensítico: son aceros al cromo, cuyo contenido es del 11.5% al 18%, junto con cantidades cuidadosamente controladas de carbono para impartir a estos aceros la propiedad de endurecerse por tratamiento térmico (*ASTM B254-92*, 2014, p. 6).

MASE: Servicios de fabricación de tenaris (*TENARIS*, 2012, p. 2).

pH: Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa (*TENARIS*, 2012, p. 2).

Temperatura: Grado o nivel térmico de un cuerpo o de la atmósfera (SANDOVAL & SANTILLÁN, 2012, P. 47).

TLN: Red de licencias de tenaris (*TENARIS*, 2012, p. 2).

TSH: Tenaris Hydrill (*TENARIS*, 2012, p. 2).

Voltaje: Potencial eléctrico, expresado en voltios (SANDOVAL & SANTILLÁN, 2012, P. 4).

REFERENCIAS

ALVAREZ LEON, A. L., & CHANGO LESCANO, G. C. Diseño y construcción de una planta piloto para recubrimientos metálico (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Riobamba-Ecuador 2012. pp. 20,26,50,52.

ASTM B322-99. *Limpieza de metales antes de la galvanoplastia.* Asociación Americana de Ensayos de materiales. Estados Unidos 2014.

ASTM B254-92. *Preparación y galvanoplastia en acero inoxidable,* Asociación Americana de Ensayos de materiales. Estados Unidos 2014.

DURKIN, B. *Cómo seleccionar el mejor golpe electrolítico de níquel* [blog]. [Consulta: 13 de julio del 2020]. Disponible en: <http://www.pfmex.com/art%20culos/c%20mo-seleccionar-el-mejor-golpe-electrol%20tico-de-n%20quel>.

ELECTRO NIQUEL FORCAN. *Cobreado de metales y otros acabados para tus superficies de metal* [blog]. [Consulta: 25 de junio del 2020]. Disponible en: <https://electroniquelforcan.com/cobreado-de-metales/>.

WIKIPEDIA. *Electrodeposición* [en línea] 20 de marzo del 2020. [Consulta: 25 de junio del 2020] Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Electrodeposici%20n&oldid=124413847>.

JUNTA DE ANDALUCÍA. *Equilibrios Redox* [en línea] 10 de abril del 2010. [Consulta: 24 de junio del 2020] Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/14006217/helvia/aula/archivos/repositorio/0/34/html/quimica2temas/TEMA6Equilibrios%20Redox.pdf>

MARTINEZ, C., & MENDOZA, J. Propuesta de actualización de una planta piloto de galvanoplastia con un sistema automático (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. México D.F 4 de marzo del 2014. pp. 9

SLIDEPLAYER. *Procesos electrolíticos* [en línea] 17 de agosto del 2013. [Consulta: 27 de junio del 2020] Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/146058/>

VISUAL AVI. *Que Es Una Celda electrolítica Y Como Esta Formada* [en línea] 19 de agosto del 2017. [Consulta: 24 de junio del 2020] Disponible en: <https://www.visualavi.com/una-celda-electrolitica-esta-formada/>

SANDOVAL, O., & SANTILLAN, D. Construcción, implementación y pruebas de una planta piloto de cobreado, niquelado, cromado, galvanizado, anodizado con sus respectivas guías para el laboratorio de tratamientos superficiales de la facultad de mecánica (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Mecánica. Escuela de Ingeniería Industrial. Riobamba - Ecuador 2012. pp. 3,4, 11, 17, 20, 32, 40, 42, 47, 50, 59.

TENARIS. *Copper Plating*. Estados Unidos 2012.

TROYA FUERTES, J. C. Construcción de un banco experimental didáctico para prácticas de laboratorio en protección de metales (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil - Ecuador 2009. pp. 3, 24.

