



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

FACULTAD DE CIENCIAS.

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA.

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA PILOTO PARA
RECUBRIMIENTOS METÁLICOS”**

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

ANA LUCÍA ÁLVAREZ LEÓN.

GABRIELA CRISTINA CHANGO LESCANO.

RIOBAMBA *ECUADOR**

2012

Agradecemos a Dios, por iluminar nuestro camino y permitirnos alcanzar nuestras metas.

A nuestras familias que con sus acertados consejos han sabido guiar nuestro sendero llevándonos siempre por el mejor camino.

De igual manera un agradecimiento muy especial al Ing. Gonzalo Sánchez y al Dr. Edmundo Caluña por compartir con nosotras sus conocimientos para la realización de esta tesis.

Por último, nuestro agradecimiento a todas aquellas personas que tuvieron a bien colaborarnos de una u otra forma en la realización del presente trabajo de investigación.

Yo, **Ana Lucía Álvarez León** dedico este trabajo a mis padres María León y Segundo Álvarez, como también a mis hermanos. Quienes con su apoyo y cariño fueron los pilares para enfrentar los obstáculos de la vida caminándome por el sendero del saber para lograr mis objetivos. A mis amigos que con sus críticas, consejos y sin ningún interés fueron parte importante para culminar esta etapa.

Yo, **Gabriela Cristina Chango Lescano** dedico este trabajo como reconocimiento al esfuerzo diario de mis queridos padres Marcelo e Irene; quiénes son y serán los pilares de mi vida; a mis abuelitos, tías y primos; que me han apoyado siempre. A esa persona especial que me apoyó en todo momento dándome fuerza durante todo el caminar y a mis amigos incondicionales.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dr. Silvio Álvarez

**DECANA DE LA FACULTAD
DE CIENCIAS.**

Ing. Mario Villacrés

**DIRECTOR DE LA ESCUELA
DE INGENIERÍA QUÍMICA.**

Ing. Gonzalo Sánchez

DIRECTOR DE TESIS.

Dr. Edmundo Caluña

MIEMBRO DEL TRIBUNAL.

Sr. Carlos E. Rodríguez

**DIRECTOR CENTRO
DOCUMENTACIÓN.**

“Nosotras ANA LUCÍA ÁLVAREZ LEON y GABRIELA CRISTINA CHANGO LESCANO, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

ÍNDICE DE ABREVIATURAS.

A	Área o sección transversal
Amp	Amperios
A'	Superficie de abertura máxima de la compuerta
a	Ancho
α	Superficie catódica (dm ²)
°C	Grados centígrados
CFM	Pie cúbico por minuto
cm	Centímetro
cal	Calorías
c.a.	Corriente eléctrica alterna
c.c.	Corriente eléctrica continua
C_o	Coefficiente de pérdidas.
D	Densidad de corriente
d	Peso específico del metal depositado
dm	Decímetro

ρ	Densidad
E°	Potencial de electrodo estandar
Eq	Equivalente electroquímico
fem	Fuerza electromotriz
FPM	Pie por minuto
G	Peso o cantidad de recubrimiento
G'	Cantidad de depósito por decímetro cuadrado
g	Masa
gr	Gramos
H _a	Altura
h	Horas
h _c	Pérdida de carga (pul.c.a /100 pies de tubería).
I	Intensidad de corriente
Kg	Kilogramos
L	Largo
l	Litros
L _t	Longitud total de tubería

m	Metros
mg	miligramos
mm	Milímetros
mm.c.a.	Milímetros de columna de agua
ml	Mililitros
min	Minutos
m_1	Peso inicial
m_2	Peso final
M	Molaridad
η	Rendimiento de corriente o del baño
P	Presión
P_a	Peso atómico
PM	Peso molecular
pH	Potencial de hidrógeno
plg	Pulgadas
plg.c.a.	Pulgadas de columna de agua
PV	Presión dinámica

Q	Caudal de aire
Q'	Caudal/pie cuadrado de superficie
RPM	Revoluciones por minuto
s	Espesor del recubrimiento
seg	Segundos
t	Tiempo
μm	Micrómetros
T	Temperatura
TLV	ThresholdLimitValue o Valor Límite Umbral
V	Voltios
v	Volumen
val	Valencia
ϑ	Velocidad de caudal
W	Watts
%	Porcentaje
π	Pi
ϕ	Diámetro del conducto.

TABLA DE CONTENIDOS.

Pp:

PORTADA

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

HOJA DE FIRMAS

HOJA DE RESPONSABILIDAD

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

ÍNDICE DE FOTOS

ÍNDICE DE ECUACIONES

ÍNDICE DE ANEXOS

RESUMEN i

SUMMARY ii

INTRODUCCIÓN iii

ANTECEDENTES iv

JUSTIFICACIÓN v

OBJETIVOS vi

CAPÍTULO I

1.	MARCO TEÓRICO	1
1.1.	NOCIONES GENERALES	1
1.1.1.	ELECTROQUÍMICA	1
1.1.2.	CORRIENTE ELÉCTRICA	1
1.1.3.	CONDUCTORES DE CORRIENTE ELÉCTRICA.....	2
1.1.4.	ELECTROLITOS.....	3
1.1.5.	SISTEMAS ELECTROQUÍMICOS.....	4
1.1.6.	ELECTRÓLISIS	6
1.1.7.	OXIDACIÓN Y REDUCCIÓN	11
1.1.8.	POLARIZACIÓN	13
1.2.	LEY DE FARADAY	13
1.2.1.	PRIMERA LEY DE FARADAY	15
1.2.2.	SEGUNDA LEY DE FARADAY	15
1.3.	CORROSIÓN.....	16
1.4.	ELECTRODEPOSITACIONES O GALVANOTECNIA.....	16

1.4.1.	PRINCIPIOS QUE RIGEN LAS ELECTRODEPOSITACIONES	17
1.4.2.	VARIABLES QUE DETERMINAN LAS APLICACIONES ELECTROLÍTICAS.....	20
1.4.2.1.	DENSIDAD DE CORRIENTE.....	20
1.4.2.2.	COMPOSICIÓN DE LOS BAÑOS	21
1.4.2.3.	ACIDEZ CONCENTRACIÓN EN IONES HIDRÓGENO	24
1.4.2.4.	TEMPERATURA	26
1.4.2.5.	AGITACIÓN.....	27
1.5.	RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS	27
1.5.1.	APLICACIONES	28
1.5.2.	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.....	29
1.5.3.	PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES PARA LAS ELECTRODEPOSITACIONES	30
1.6.	CINC	32
1.6.1.	CINCADO.....	33
1.6.1.1.	PREPARACIÓN DE LAS PIEZAS ANTES DEL CINCADO.....	33
1.6.1.2.	ELECTRÓLISIS	34
1.6.1.3.	TOXICIDAD.....	35
1.7.	TROPICALIZADO.....	36

1.8.	COBRE.....	37
1.8.1.	COBREADO.....	37
1.8.1.1.	ELECTRÓLISIS	38
1.8.1.2.	TOXICOLOGÍA	43
1.9.	NÍQUEL.....	43
1.9.1.	NIQUELADO	44
1.9.1.1.	PREPARACIÓN DE LAS PIEZAS ANTES DEL NIQUELADO.	45
1.9.1.2.	ELECTRÓLISIS	46
1.9.1.3.	TOXICOLOGÍA	49
1.10.	DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO	49
1.10.1.	FUENTE DE CORRIENTE.....	49
1.10.2.	MEDICIÓN DE LA CORRIENTE ELECTRICA.....	50
1.10.3.	ÁNODOS	51
1.10.4.	TANQUES O CUBAS ELECTROLÍTICAS.....	52
1.10.5.	SISTEMA DE ABSORCIÓN DE GASES	53
1.10.6.	CÁLCULOS ELECTROQUÍMICOS	55
1.10.6.1.	PESO DE UN DEPÓSITO ELECTROQUÍMICO	55
1.10.6.2.	TIEMPO DE ELECTRÓLISIS	57
1.10.6.3.	ESPESOR DEL METAL DEPOSITADO	59

1.10.7.	RENDIMIENTO DE LAS ELECTRODEPOSITACIONES	59
---------	--	----

CAPÍTULO II

2.	PARTE EXPERIMENTAL.....	62
2.1.	MUESTREO	62
2.1.1.	FRECUENCIA Y NÚMERO DE MUESTRAS	64
2.1.2.	DIAGNÓSTICO.....	64
2.2.	METODOLOGÍA	65
2.2.1.	MÉTODOS Y TÉCNICAS	65
2.2.1.1.	MÉTODOS.....	65
2.2.1.2.	TÉCNICAS	67
2.2.2.	DENSIDAD DE LAS SOLUCIONES DE SULFATO DE COBRE.....	69
2.2.3.	DENSIDAD DE LOS BAÑOS ELECTROLÍTICOS.....	69
2.3.	2.4. DATOS ADICIONALES.....	70
2.3.1.	POTENCIAL DE HIDRÓGENO DE LAS SOLUCIONES DE SULFATO DE COBRE.....	70
2.3.2.	POTENCIAL DE HIDRÓGENO DE LOS BAÑOS ELECTROLÍTICOS.....	70

CAPÍTULO III

3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA PILOTO PARA RECUBRIMIENTOS METÁLICOS.	72
----	--	----

3.1.	GENERALIDADES.....	72
3.2.	CÁLCULOS.....	73
3.2.1.	PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES	73
3.2.2.	CAPACIDAD MÁXIMA DE LAS CUBAS	74
3.2.3.	CAPACIDAD DE VENTILACIÓN DEL SISTEMA	75
3.2.4.	CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL CONDUCTO	78
3.2.4.1.	SELECCIÓN DEL TIPO DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS.....	80
3.2.4.2.	DISTRIBUCIÓN DE DUCTOS	81
3.2.4.3.	CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL VENTILADOR.....	81
3.2.4.4.	SELECCIÓN DEL VENTILADOR	87
3.2.5.	CÁLCULO DEL RENDIMIENTO DEL BAÑO Y ESPESOR DEL DEPÓSITO	87
3.2.5.1.	RENDIMIENTO DEL BAÑO	87
3.2.5.2.	ESPESOR DEL DEPÓSITO.....	88
3.2.5.3.	SUPERFICIE O ÁREA CATÓDICA	88
3.3.	RESULTADOS.....	89
3.3.1.	CINCADO.....	89
3.3.2.	COBREADO ÁCIDO 0,1 M.....	92
3.3.3.	COBREADO ÁCIDO 0,2 M.....	97

3.3.4.	COBREADO ÁCIDO 0,8 M.....	102
3.3.5.	COBREADO ALCALINO	107
3.3.6.	NIQUELADO	110
3.4.	PROPUESTA.....	115
3.4.1.	RECTIFICADOR.....	115
3.4.2.	CALEFACCIÓN.....	115
3.4.3.	BAÑOS ELECTROLÍTICOS.....	116
3.4.4.	CUBAS ELECTROLÍTICAS.....	119
3.4.5.	ARMADURA DE CONDUCCIÓN.....	120
3.4.6.	ÁNODOS	121
3.4.7.	CÁTODOS.....	122
3.4.8.	MESA PORTA CUBAS.....	123
3.4.9.	SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE GASES.....	123
3.4.10.	CONEXIONES ELÉCTRICAS.....	124

CAPÍTULO IV

4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	134
4.1.	CONCLUSIONES	134
4.2.	RECOMENDACIONES.....	135

BIBLIOGRAFÍA137

ANEXOS.139

ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA	Pp:
Tabla 1.1 Fuerza Electromotriz	9
Tabla 1.2 Propiedades físicas del cinc.	32
Tabla 1.3 Recomendaciones de adición para baños de cinc.	35
Tabla 1.4 Preparación y condiciones de trabajo para cromatizado B7.	36
Tabla 1.5 Propiedades físicas del cobre.	37
Tabla 1.6 Recomendaciones de adición para baños de cobre.	39
Tabla 1.7 Propiedades físicas del níquel.	44
Tabla 1.8 Recomendaciones de adición para baños de níquel.	48
Tabla 2.1 Tabla de registro de datos.	63
Tabla 2.2 Determinación de la densidad de los baños electrolíticos	67
Tabla 2.3 Determinación del potencial de hidrógeno pH de los baños electrolíticos.	68
Tabla 2.4 Densidad de las soluciones preparadas.	69
Tabla 2.5 Densidad de los baños utilizados.	69
Tabla 2.6 pH de las soluciones preparadas	70
Tabla 2.7 pH de los baños utilizados.	70
Tabla 3.1 Valores de cálculo de pérdidas.	86
Tabla 3.2 Influencia del voltaje sobre las piezas cincadas.	89
Tabla 3.3 Influencia del tiempo sobre las piezas cincadas.	90
Tabla 3.4 Influencia del voltaje sobre las piezas cobreadas con baño ácido 0,1 M.	92

Tabla 3.5 Influencia del tiempo sobre las piezas cobreadas con baño ácido 0,1 M.	93
Tabla 3.6 Influencia de la temperatura sobre las piezas cobreadas con baño ácido 0,1 M. .	94
Tabla 3.7 Influencia del voltaje sobre las piezas cobreadas con baño ácido 0,2 M.	97
Tabla 3.8 Influencia del tiempo sobre las piezas cobreadas con baño ácido 0,2 M.	98
Tabla 3.9 Influencia de la temperatura sobre las piezas cobreadas con baño ácido 0,2 M. .	99
Tabla 3.10 Influencia del voltaje sobre las piezas cobreadas con baño ácido 0,8 M.	102
Tabla 3.11 Influencia del tiempo sobre las piezas cobreadas con baño ácido 0,8 M.	103
Tabla 3.12 Influencia de la temperatura sobre las piezas cobreadas con baño ácido 0,2 M.	104
Tabla 3.13 Influencia del voltaje sobre las piezas cobreadas con baño alcalino.	107
Tabla 3.14 Influencia del tiempo sobre las piezas cobreadas con baño alcalino.	108
Tabla 3.15 Influencia del voltaje sobre las piezas niqueladas.	110
Tabla 3.16 Influencia del tiempo sobre las piezas niqueladas.	111
Tabla 3.17 Influencia de la temperatura sobre las piezas niqueladas.	112
Tabla 3.18 Formulación del baño para cincado usado en la Planta Piloto.	117
Tabla 3.19 Formulación del baño alcalino para cobreado usado en la Planta Piloto.	117
Tabla 3.20 Formulación del baño para niquelado usado en la Planta Piloto.	118
Tabla 3.21 Composición química del acero A36.	122
Tabla 3.22 Propuesta de diseño.	125
Tabla 3.23 Costos de inversión.	127
Tabla 3.24 Costos de operación.	128

ÍNDICE DE FIGURAS.

FIGURA	Pp:
Figura 1.1 Pila de Daniell	5
Figura 1.2 Proceso de Electrólisis.....	7
Figura 1.4 Procesos electrolíticos utilizados en el país.	29
Figura 1.5 Conexión del amperímetro y voltímetro en una celda electroquímica.....	50

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

GRÁFICO	Pp:
Gráfico 1 Influencia del voltaje sobre el espesor del depósito en las piezas cincadas.	91
Gráfico 2 Influencia del tiempo sobre el espesor del depósito en las piezas cincadas.	91
Gráfico 4 Influencia del voltaje sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño ácido 0,1 M.	95
Gráfico 5 Influencia del tiempo sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño ácido 0,1 M.	95
Gráfico 6 Influencia de la temperatura sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño ácido 0,1 M.	96
Gráfico 7 Influencia del voltaje sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño ácido 0,2 M.	100
Gráfico 8 Influencia del tiempo sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño ácido 0,2 M.	100
Gráfico 9 Influencia de la temperatura sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño ácido 0,2 M.	101
Gráfico 10 Influencia del voltaje sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño ácido 0,8 M.	105
Gráfico 11 Influencia del tiempo sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño ácido 0,8 M.	105

Gráfico 12 Influencia de la temperatura sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño ácido 0,8 M.....	106
Gráfico 13 Influencia del voltaje sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño alcalino.	109
Gráfico 14 Influencia del voltaje sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño alcalino.	109
Gráfico 15 Influencia del voltaje sobre el espesor del depósito en piezas niqueladas.	113
Gráfico 16 Influencia del tiempo sobre el espesor del depósito en piezas niqueladas.	113
Gráfico 17 Influencia de la temperatura sobre el espesor del depósito en piezas niqueladas.	114

INDICE DE FOTOS.

FOTO	Pp:
Foto 1 Rectificador utilizado en la planta piloto.....	115
Foto 2 Baños preparados utilizados para la planta piloto.	118
Foto 3 Preparación de las soluciones de CuSO_4	119
Foto 4 Cubas seleccionadas para la planta piloto	120
Foto 5 Ánodos usados en la planta piloto	121
Foto 6 Cátodos usados en la planta piloto	122
Foto 7 Ventilador utilizado para la extracción de gases de la planta piloto	124
Foto 8 Amperímetro y voltímetro usados en la planta piloto	125

ÍNDICE DE ANEXOS.

ANEXO	Pp:
Anexo 1 Datos experimentales obtenidos de Metalquímica Galvano.	140
Anexo 2 Velocidades mínimas de aire recomendadas.	141
Anexo 3 Límites máximos permisibles para gases, vapores y polvos contenidos en el aire de zonas de trabajo.	142
Anexo 4 Presiones dinámicas.	143
Anexo 5 Coeficiente de pérdidas a la entrada de la cámara de absorción de gases.	144
Anexo 6 Coeficiente de pérdidas en la tubería.	145
Anexo 7 Coeficiente de pérdidas por accesorios (codos).	146
Anexo 8 Coeficiente de pérdidas por accesorios (Filtro)	147
Anexo 9 Catálogo para la selección del ventilador.	148
Anexo 10 Equivalentes electroquímicos y pesos específicos.	149
Anexo 11 Resultados de las pruebas de cincado	150
Anexo 12 Resultados de las pruebas de cobreado ácido 0,1 M.	151
Anexo 13 Resultados de las pruebas de cobreado ácido 0,2 M.	152
Anexo 14 Resultados de las pruebas de cobreado ácido 0,8 M.	153
Anexo 15 Resultados de las pruebas de cobreado alcalino.	154
Anexo 16 Resultados de las pruebas de niquelado	155
Anexo 17 Planta piloto para recubrimientos metálicos.	156

Anexo 18 Manual de operación	157
Anexo 19 Planos de la planta piloto para recubrimientos metálicos	160

RESUMEN.

El objetivo de esta investigación es Diseñar y Construir una Planta Piloto para Recubrimientos Metálicos (cobreado, niquelado y cincado), para el Laboratorio de Corrosión, Facultad de Ciencias, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, que tendrá fines didácticos, pues permitirá a los alumnos realizar pruebas de laboratorio en el área de corrosión. Se realizó pruebas a nivel experimental identificando las variables del proceso: concentración, voltaje, temperatura y tiempo. Se empleó un muestreo sistemático obteniendo varias piezas recubiertas de las cuales se escogieron aquellas que presentaron las mejores características sensoriales y de duración. Luego de realizar los cálculos de ingeniería se construyó la Planta Piloto formada por: un rectificador de corriente, una mesa portacubas, una cámara extractora de gases con un ventilador centrífugo incorporado, cubas de plástico, calentadores sumergibles, ánodos y baños para cada proceso. Los resultados obtenidos nos permitieron determinar las condiciones óptimas para realizar: cobreado, niquelado y cincado. En el caso del cobreado las mejores condiciones son: temperatura ambiente y 4 voltios durante 9 minutos. Para el niquelado el baño se calienta hasta 50 °C y se usa 6 voltios por unos 5 minutos. Mientras para el cincado se tuvieron mejores resultados al someterlo a 5 voltios, temperatura ambiente y 8 minutos. De esta manera se ha verificado la tendencia directamente proporcional entre el voltaje, la temperatura, el tiempo, la concentración y el espesor del recubrimiento. Se recomienda el uso de la Planta Piloto con las debidas precauciones descritas en el manual de operación.

SUMMARY.

The objective of this research is to design and build a Pilot Plant for metallic coatings (copper plating, nickel and zinc) for Corrosion Laboratory, Faculty of Science at High Polytechnic School of Chimborazo which will have didactic purposes and therefore, will allow student to perform laboratory tests in the Area of Corrosion. Testing was performed on an experimental level in order to identify variables of process: concentration, voltage, temperature and time. It was used a systematic sampling coated obtaining various pieces from which were selected those that showed the best sensory characteristics and duration. After performing engineering calculations Pilot Plant was constructed consisting of: a rectifier, a table port cubes, an extraction gas chamber built with a centrifugal fan, plastic cubes, submersible heaters, anodes and bathrooms for each process. The results obtained allowed us to determine the optimal conditions for: copper plating, nickel and zinc. In the case of copper plating the best conditions are: temperature environment and 4 volts for 9 minutes. For nickel, the bath is heated to 50°C and used 6 volts for about 5 minutes, as for zinc was performed better results when it was subjected to 5 volts, temperature environment and 8 minutes. In this way the trend has been verified directly proportional between voltage, temperature, time, concentration and the coating thickness: It is recommended the use of Pilot Plant with due precautions described in the Operation Manual.

INTRODUCCIÓN.

Uno de los problemas de mayor envergadura a nivel productivo e industrial es la corrosión; fenómeno natural que provoca el desgaste o pérdida de material de las superficies metálicas, imposible de eliminarlo en su totalidad. Estas pérdidas de material ocasionan anualmente costos extras elevados en las empresas, los cuales perjudican notablemente en el desempeño de las mismas. Para contrarrestar su efecto destructivo se han desarrollado una serie de procesos, entre los que destacan los recubrimientos metálicos.

Ésta técnica comprende el conjunto de operaciones necesarias para poder recubrir la superficie de una pieza, con una sustancia generalmente metálica. Se aprovecha para ello la acción de la corriente eléctrica que al atravesar una solución química adecuada, logra hacer desprender de esta última, partículas metálicas que se fijan sobre la pieza a galvanizar. Este proceso no solo mejora la apariencia externa de los metales, sino que, también permiten prolongar el tiempo de vida útil de los mismos y así ahorran cientos de dólares anuales, además de facilitar el trabajo del hombre.

El objetivo de este trabajo es estudiar, analizar, diseñar y construir una planta piloto para obtener recubrimientos metálicos tales como: cincado, cobreado y niquelado. Las variables a tomar en cuenta para el proceso son: voltaje, temperatura, tiempo del proceso, concentración, densidad y pH del electrolito, mismos que varían de acuerdo al tipo de material y al recubrimiento que deseamos obtener.

ANTECEDENTES

La idea del recubrimiento metálico nace para controlar y evitar la corrosión, empleando metales nobles que protegen a los metales, surgiendo así la galvanotecnia. La primera aplicación práctica data del siglo XIX, con el recubrimiento de medallas de cobre, mediante polvo de oro. La técnica fue mejorando paulatinamente, logrando después una copia de objetos plásticos, procedimiento conocido en la actualidad como galvanoplastia.

La evolución de la galvanización siguió los pasos de la industria y con la creación de nuevas fuentes de energía eléctrica, fue posible emplear nuevos métodos de trabajo, llegándose a desarrollar un proceso completo. En la actualidad la industria moderna ha encontrado múltiples empleos de los recubrimientos metálicos, con fines útiles y decorativos.

En el país encontramos pocas industrias que se dedican a recubrimientos sin embargo no es un área muy difundida, en la ciudad no existen lugares de producción únicamente de comercialización donde los materiales recubiertos son importados de otros países. En cuanto a nuestra realidad próxima en la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias de la Escuela Politécnica de Chimborazo, no existe un equipo que permita un trabajo técnico – práctico en el laboratorio de Corrosión relacionado a los recubrimientos metálicos y que pueda ser aprovechado para los fines didácticos respectivos.

JUSTIFICACIÓN.

En la época actual los recubrimientos metálicos han encontrado una extraordinaria difusión en la elaboración de productos con fines decorativos, o en la reproducción de recubrimientos superficiales resistentes al desgaste y a la corrosión.

La necesidad de que la Facultad de Ciencias y en especial la Escuela de Ingeniería Química cuente con laboratorios debidamente equipados, y además que el rol actual de las Universidades no sólo hace énfasis en la formación científica-técnica que el estudiante pueda recibir, sino que el real compromiso se orienta a la formación de estudiantes emprendedores, son motivos más que suficientes para que como futuros profesionales de la Ingeniería Química se contribuya al desarrollo de la misma mediante el diseño y construcción de una planta piloto para recubrimientos metálicos en la Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias, de la Escuela Superior politécnica de Chimborazo, que permite observar de manera práctica los fenómenos que se producen durante este proceso e incentivar de esta manera al estudiante a la investigación en el campo de recubrimientos metálicos.

De esta manera, se pretende contribuir al desarrollo del aprendizaje, adaptando la fundamentación teórica a la aplicación práctica y buscando poder brindar a la sociedad profesionales de alta competitividad que respondan a los requerimientos de la corriente de globalización.

OBJETIVOS

GENERAL

- Realizar el Diseño y Construcción de una planta piloto para recubrimientos metálicos.

ESPECÍFICOS

- Determinar las diferentes variables del proceso.
- Efectuar los cálculos de ingeniería para el diseño de la planta piloto y su respectivo dimensionamiento.
- Ejecutar el ensamblaje y armado de la planta piloto.
- Verificar el funcionamiento de la planta piloto.
- Realizar el manual de operación de la planta piloto.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO

1.1. NOCIONES GENERALES

1.1.1. ELECTROQUÍMICA

Es una parte de la físico-química, consiste en el estudio de las reacciones químicas que producen efectos eléctricos y de los fenómenos químicos causados por la acción de las corrientes o voltajes. Estudia la estructura, propiedades y fenómenos que ocurren en los electrodos y en los conductores electrolíticos.

1.1.2. CORRIENTE ELÉCTRICA

“Si dos cuerpos de carga igual y opuesta se conectan por medio de un conductor metálico, por ejemplo un cable, las cargas se neutralizan mutuamente. Esta neutralización se lleva a cabo mediante un flujo de electrones a través del conductor, desde el cuerpo cargado negativamente al cargado positivamente. En cualquier sistema continuo de conductores, los electrones fluyen desde el punto de menor potencial hasta el punto de mayor potencial. Un sistema de esa clase se denomina circuito eléctrico. La corriente que circula por un circuito se denomina corriente continua (c.c.) si fluye siempre en el mismo sentido y corriente alterna (c.a.) si fluye alternativamente en uno u otro sentido.

El flujo de una corriente continua está determinado por tres magnitudes relacionadas entre sí. La primera es la diferencia de potencial en el circuito, que en ocasiones se denomina fuerza electromotriz (fem), tensión o voltaje. La segunda es la intensidad de corriente. Esta magnitud se mide en amperios. La tercera magnitud es la resistencia del circuito. Normalmente, todas las sustancias, tanto conductores como aislantes, ofrecen cierta oposición al flujo de una corriente eléctrica, y esta resistencia limita la corriente. La unidad empleada para cuantificar la resistencia es el ohmio (Ω), que se define como la resistencia que limita el flujo de corriente a 1 amperio en un circuito con una fem de 1 voltio.”¹

1.1.3. CONDUCTORES DE CORRIENTE ELÉCTRICA

Un conductor eléctrico es cualquier material que ofrezca poca resistencia al flujo de electricidad, como las disoluciones de la mayoría de los ácidos inorgánicos, bases y sales. En contraste un mal conductor o aislador eléctrico es todo material que impida el paso de la corriente eléctrica, como las disoluciones de azúcar, alcohol, glicerina y otras sustancias orgánicas. Ya que todas las sustancias conducen electricidad en mayor o en menor medida, la diferencia entre un conductor y un aislante, es de grado más que de tipo. Un buen conductor de electricidad, como la plata o el cobre, puede tener una conductividad mil

¹RUIZ, J., Recubrimientos electrolíticos aplicados a prácticas del laboratorio de tratamientos superficiales de procesos de producción mecánica., Ecuador., 2006., Pp 3.

millones de veces superior a la de un buen aislante, como el vidrio o la mica. En los conductores sólidos la corriente eléctrica es transportada por el movimiento de los electrones; y en disoluciones y gases, lo hace por los iones.

En función de los conceptos anteriormente expuestos, los conductores se clasifican en:

- a. Conductores de primera clase.**-Permiten fluir la electricidad sin sufrir alteración, por ejemplo los metales.
- b. Conductores de segunda clase o electrolitos.**-Se ionizan y entonces conducen la corriente eléctrica, como las soluciones acuosas de ácidos, bases y sales, también las sales fundidas. Se clasifican a su vez en:
 - **Fuertes.**-Proporcionan disoluciones altamente conductoras como el ácido nítrico (HNO_3) o el cloruro de sodio (NaCl).
 - **Débiles.**-Producen disoluciones de baja conductividad como el cloruro mercurioso (HgCl_2) o el ácido etanoico (CH_3COOH).

1.1.4. ELECTROLITOS

“En dependencia a la facilidad con la que las sustancias se disuelven en un disolvente y en particular en el agua y como resultado forman partículas cargadas se les clasifica en sustancias electrolitas o no electrolitas.”²

²MOREANO, S., Electroquímica Texto Básico., 2000., Pp. 14.

Los ácidos, bases y sales sólidas son malos conductores de la electricidad, pero al disolver cualquiera de ellas en agua, la solución resultante es conductora, esto se debe a que cuando una de estas sustancias se disuelve, se disocia en partículas con carga eléctrica (positiva o negativa) llamadas iones a ésta disociación se la denomina ionización. Así un ión se define como átomo o grupo de átomos con carga eléctrica. Un átomo que pierde un electrón forma un ión de carga positiva, llamado catión; un átomo que gana un electrón forma un ión de carga negativa, llamado anión.

Cualquier sustancia que produce iones en solución es un electrolito. Las sales son iónicas aún en estado sólido, pero cuando se disuelven o se funden, los iones se separan y adquieren libertad de movimiento. La conducción electrolítica se debe a la movilidad iónica en estado líquido.

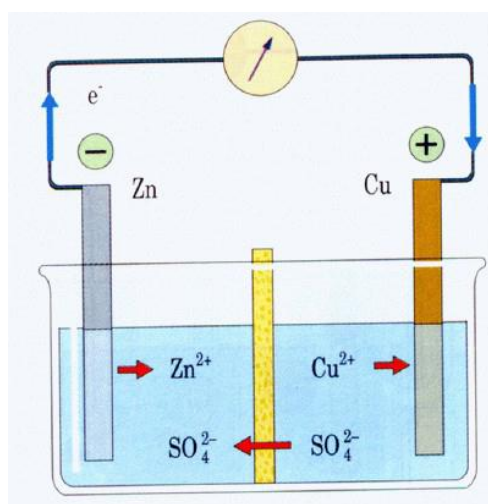
1.1.5. SISTEMAS ELECTROQUÍMICOS

“Un sistema, pila o celda electroquímica, está constituida de: electrodos, un electrolito que es la disolución conductora donde se encuentran sumergidos los electrodos, un contacto externo en el trayecto del cual, se coloca un galvanómetro para determinar la circulación de

la corriente, y finalmente para que se establezca el circuito completo un contacto interno, que puede ser directo o a través de un puente salino.”³

La mejor representación de una pila electrolítica es la pila de Daniell, formada por una lámina de cobre y otra de zinc introducidas en una disolución acuosa de sulfato de cobre. Ambas láminas, llamadas electrodos, se unen mediante un conductor electrónico (por ejemplo un hilo de cobre). En esta situación, los átomos de zinc se oxidan, pierden electrones y pasan a la disolución como iones positivos. Simultáneamente, los iones positivos de cobre que están en la disolución se reducen, ganan electrones y se depositan como átomos de cobre metálico sobre el electrodo de cobre.

Figura 1.1 Pila de Daniell



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/17472534/Pila-de-Daniel#download>

³MOREANO, S., Electroquímica Texto Básico., 2000., Pp. 6 y 7.

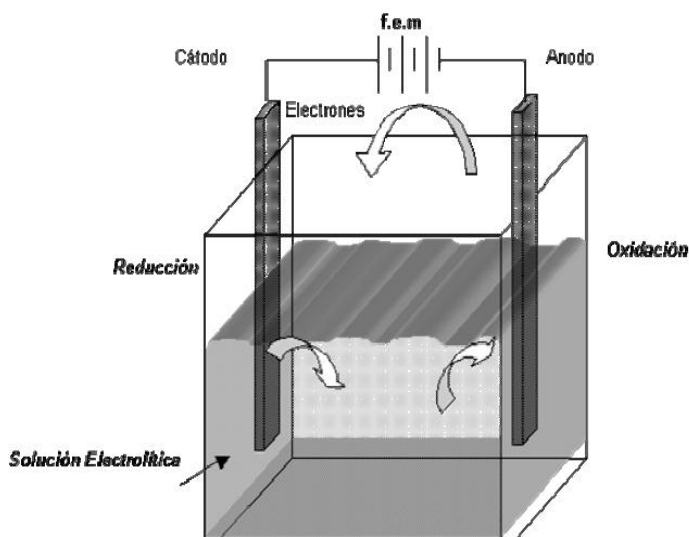
Existen dos tipos de celdas o pilas electroquímicas; aquellas que generan una corriente eléctrica como resultado de un proceso químico espontáneo dentro de la pila a las que se les ha denominado como pilas o sistemas galvánicos, por ejemplo, las pilas secas, las baterías de carros etc., y aquellas que requieren de una energía externa para que se produzca el proceso químico dentro de la pila, a las que se les ha dado la denominación de sistemas electrolíticos.

En un sistema electroquímico los electrodos pueden encontrarse en recipientes separados o en un mismo recipiente y compartir el mismo electrolito sin que el principio básico de funcionamiento del sistema electroquímico se altere. En estos casos lo que hay que tener en cuenta, es que sean compatibles los electrodos con el electrolito de tal manera que no se presenten alteraciones en el propio sistema o quizás reacciones químicas y violentas entre los electrodos y el electrolito.

1.1.6. ELECTRÓLISIS

Proceso electroquímico que consiste en hacer pasar corriente continua a través de una solución de un ácido, de una base o una sal, produciendo una descomposición química de dicha solución.

Figura 1.2Proceso de Electrólisis



Fuente:RUIZ, J., Recubrimientos electrolíticos aplicados a prácticas del laboratorio de tratamientos superficiales de procesos de producción mecánica., Ecuador., 2006., Pp. 6.

Los polos sumergidos de entrada y salida de la corriente en un baño son los electrodos. El electrodo de entrada de corriente (positivo) se denomina ánodo y el de salida (negativo) se denomina cátodo; los productos de la descomposición llamados iones, se sitúan sobre los electrodos, dirigiéndose los aniones (iones negativos) al ánodo y los cationes (iones positivos) al cátodo. Ejemplos de descomposición:

<i>Ácidos</i>	<i>Ánodo</i>	<i>Cátodo</i>
Ácido clorhídrico	Cl^-	H^+
Ácido sulfúrico	SO_4^-	2H^+
Ácido nítrico	NO_3^-	H^+

Bases

Potasa Cáustica (KOH)	OH^-	K^+
Sosa Cáustica (NaOH)	OH^-	Na^+

Sales

Sulfato de Cobre (CuSO_4)	SO_4^{-2}	2Cu^{+2}
Sulfato de Níquel (NiSO_4)	SO_4^{-2}	2Ni^{+2}

Según sea el ánodo atacable o no, los productos obtenidos a través de la electrólisis resultan diferentes. Por ejemplo: para la electrólisis del sulfato de cobre, (depositándose el cobre sobre el cátodo y el radical sulfato yéndose hacia el ánodo) si el ánodo es atacable (si es de cobre), se forma nueva cantidad de sulfato de cobre que realimenta la solución y compensa la pérdida de cobre por el depósito sobre el cátodo. Por el contrario, si el ánodo no es atacable (de platino o de carbono, por ejemplo), el radical sulfato se combina con el agua y el electrolito para regenerar ácido sulfúrico con desprendimiento de oxígeno. El electrolito se empobrece en sulfato de cobre y la acidez aumenta. Un ánodo puede también resultar inatacable debido a fenómenos de pasividad. Por ejemplo, sucede a menudo en los baños de niquelado que los ánodos de níquel electrolítico no son atacados o lo son defectuosamente. En estas últimas condiciones la solución se empobrece en níquel y la acidez aumenta.

“Entre los fenómenos que influyen sobre la electrólisis, tenemos la polarización; para ello se necesita conocer que existe una diferencia de potencial entre un metal y una solución de

una de sus sales en la que haya sido sumergido. Bajo estas condiciones, algunos metales muestran mayor tendencia que otros, a formar parte de la solución. Por ejemplo el cobre (Cu) que es positivo, no pasa a la solución, mientras tanto el zinc (Zn) que es negativo si lo hace.

Los metales presentan mayor o menor tendencia a formar parte de la solución, existe una clasificación de acuerdo a la fuerza electromotriz correspondiente a cada uno de ellos, estando sumergidos en una de sus sales (cloruro o sulfato), refiriéndose los resultados al electrodo de hidrógeno cuya fuerza electromotriz se ha considerado nula.⁴

Tabla 1.1 Fuerza Electromotriz

Reacciones del electrodo	Potencial de electrodo estandar E° (V)
$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Au}$	+1,420
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1,229
$\text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pt}$	+1,2
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$	+0,800
$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	+0,771
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$	+0,401
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	+0,340
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	0
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$	-0,126
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	-0,136
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}$	-0,250

⁴RUIZ, J., Recubrimientos electrolíticos aplicados a prácticas del laboratorio de tratamientos superficiales de procesos de producción mecánica., Ecuador., 2006., Pp.7.

$\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow$	Co	-0,277
$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow$	Cd	-0,403
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow$	Fe	-0,440
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow$	Cr	-0,744
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow$	Zn	-0,763
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow$	Al	-1,662
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow$	Mg	-2,363
$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow$	Na	-2,714
$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightarrow$	K	-2,294

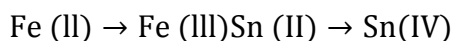
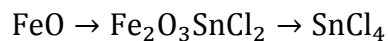
FUENTE: <http://www.scribd.com/doc/55057172/5/Serie-de-fuerza-electromotriz>

De esta tabla podemos indicar por ejemplo, el zinc y el hierro sumergidos en una solución de sulfato de cobre desplazarán a este último de la solución, serán por otra parte más fáciles de disolver, actuando como ánodos, el zinc o el hierro que el cobre o la plata.

La polarización se manifiesta a través de una tensión o fuerza electromotriz suplementaria que hay que vencer para que la electrólisis siga su curso normal, lo que conduce a elevar el potencial electrolítico o fuerza electromotriz. La polarización se atenúa por los fenómenos de difusión de una u otra zona, de emigración de los iones, por la agitación del electrolito y la elevación de la temperatura. En la práctica para que se produzca la electrólisis, es necesaria una fuerza electromotriz suficiente para vencer la resistencia óhmica del baño, para garantizar la descarga de los iones sobre el ánodo y el cátodo y para vencer la polarización.

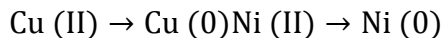
1.1.7. OXIDACIÓN Y REDUCCIÓN

“El término de oxidación se usa para indicar la combinación de una sustancia con el oxígeno. Sin embargo, en términos generales la oxidación se refiere al incremento de la valencia del elemento en el sentido positivo. Ejemplo:



En consecuencia, todo proceso que implique incremento de la valencia en el sentido positivo por la pérdida de electrones se conoce como oxidación y por lo tanto se dice que el compuesto se ha oxidado.

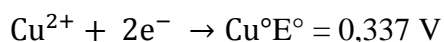
El término de reducción se usa para indicar la combinación de una sustancia con el hidrógeno. Sin embargo, en términos más amplios, la reducción es el proceso inverso de la oxidación y por lo tanto implica la reducción del valor del número de su valencia en el sentido positivo por la ganancia de electrones. Ejemplo:



De lo arriba indicado se deduce que, el oxidante está en capacidad de oxidar a otro compuesto mientras que el mismo se reduce; por su parte el reductor está en capacidad de reducir a otro compuesto mientras que el mismo se oxida.

Para saber de entre dos compuestos cual es oxidante y cual es reductor, se puede hacer uso de los potenciales estándares de sus semirreacciones, indicado en la Tabla 1.1, de acuerdo a las tablas de los potenciales, oxidante es aquel compuesto que presenta un potencial mayor considerando inclusive el signo y reductor el que posee un potencial menor.

Al considerar el hierro y el cobre con el propósito de ver cuál será oxidante y cual reductor de entre ellos se presentan las correspondientes semirreaccion.



Al comparar los potenciales de las semirreacciones del cobre y del hierro, se puede deducir que el cobre es oxidante y el hierro el reductor, por lo tanto el cobre se reducirá de Cu^{2+} a Cu° mientras que el hierro al ser reductor se oxidará de Fe° a Fe^{2+} . Por lo expuesto es que cuando se introduce una barra de hierro, en una solución de cobre, sobre la superficie del

hierro en forma espontánea se deposita el cobre lo que se manifiesta por una película café rojizo que se forma sobre el hierro.”⁵

1.1.8. POLARIZACIÓN

“Se entiende por polarización cualquier variación del potencial del electrodo provocada por una sustancial variación de la superficie del mismo. Los fenómenos que provocan la polarización son: la tensión de polarización, la polarización de concentración y la pasividad del ánodo.”⁶

1.2.LEY DE FARADAY

“En los procesos electrolíticos como es el caso de los depósitos metálicos; la corriente eléctrica aplicada al sistema desde el exterior por medio de los conductores llamados electrodos y en forma específica ánodo al que está conectado al polo positivo (+) y cátodo al que está conectado al polo negativo (-), y que pasa a través de la solución a la que se le denomina electrolito o simplemente baño, hace posible que se den en los electrodos en correspondencia a sus cargas los respectivos transformaciones químicas, esto es, en el

⁵ MOREANO, S., Electroquímica Texto Básico., 2000., Pp. 18 y 19.

⁶BALANA, J., Iniciación a la Práctica Galvánica., 1970., Pp. 111.

cátodo la reducción y en el ánodo la oxidación. El principio fundamental de la electrólisis es la conocida Ley de Faraday, la que puede expresarse mediante los siguientes enunciados:

1. La cantidad de sustancia que reacciona ya sea en el ánodo o en el cátodo durante la electrólisis, es proporcional a la cantidad de corriente (electricidad) que circula a través del sistema.
2. Para que en cada uno de los electrodos reaccione una cantidad de sustancia igual a un equivalente químico, es necesario que a través del sistema atraviese una cantidad de corriente igual a un Faraday ósea un mol de electrones. Numéricamente F es igual al producto del número de Avogadro por la carga del electrón ($N_A e^-$) y aproximadamente es igual a 96500 Coulombios.

En base a lo anotado se puede deducir que para determinar la cantidad de sustancia depositado en el Cátodo (depositación), a lo que se conoce como eficiencia catódica, es necesario medir exactamente la cantidad de corriente que ha circulado a través del sistema.”⁷

⁷MOREANO, S., Electroquímica Texto Básico., 2000., Pp. 20.

1.2.1. PRIMERA LEY DE FARADAY

La masa de un elemento depositada en un electrodo es proporcional a la cantidadde electricidad que pasa a través de la solución del electrolito o del electrolitofundido.

$$g = E_q \times I \times t \quad (\text{Ec. 1.1})$$

Donde:

g = masa

E_q = Equivalente electroquímico es una constante que depende del catión.

I = intensidad de corriente

t = tiempo.

1.2.2. SEGUNDA LEYDE FARADAY

Las masas de elementos que se depositan en los electrodos son proporcionales a los equivalentes químicos.

$$E_q = P_a / \text{val} \quad (\text{Ec. 1.2})$$

Dónde:

E_q = Equivalente Electroquímico.

P_a = Peso atómico.

val= Valencia.

1.3.CORROSIÓN

Es un fenómeno espontáneo y gradual de decaimiento tecnológico o también, es la destrucción o deterioro químico o electroquímico de un metal que se lleva a cabo por acción del medio que lo rodea. Para proteger los metales expuestos a la atmósfera, se recurre a menudo a las aplicaciones de recubrimientos, que pueden ser de distinta naturaleza: de pintura, metálicos, de conversión, etc. La capacidad protectora de estos recubrimientos disminuye con el tiempo en función de una serie de variables, entre las que ejerce un papel principal la contaminación atmosférica.

1.4.ELECTRODEPOSITACIONES O GALVANOTECNIA

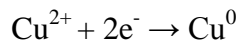
Con la denominación de electrodeposiciones o galvanotecnia se conocen a los procesos electroquímicos, que posibilitan el que sobre una superficie, se depositen partículas de otra sustancia. Estos procedimientos se los utilizan a nivel industrial y con diferentes fines, ya sea como un método de protección de materiales fundamentalmente de tipo ferroso o con fines decorativos para dotarles a las piezas recubiertas mejor vistosidad y lógicamente

mayor resistencia a las agresiones del medio. Los recubrimientos electroquímicos sobre los materiales metálicos, son considerados como excelentes métodos de protección contra la corrosión.

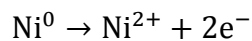
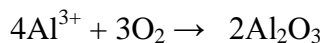
1.4.1. PRINCIPIOS QUE RIGEN LAS ELECTRODEPOSITACIONES

Las sales, los ácidos, las bases cuando se encuentran en solución y aún el agua se disocian en partículas cargadas denominadas iones; unas con carga positiva y otras con carga negativa. Cuando a esta solución a través de los electrodos se aplica un potencial, los iones cargados positivamente conocidos como cationes, se desplazan hacia el electrodo con carga opuesta conocido como cátodo(-), mientras que los iones cargados negativamente conocidos como aniones, se movilizan hacia el electrodo de carga opuesta conocido como ánodo (+).

“El proceso que a nosotros nos interesa, puede ser el que tiene lugar en el cátodo (-), quien se encuentra con una concentración relativamente alta de electrones y que al llegar hacia él los iones cargados positivamente, éstos aceptan los electrones, transformándose en átomos neutros, los mismos que se adhieren a la superficie del electrodo en forma de una fina película sobre la superficie del electrodo, que viene a ser el recubrimiento electroquímico. A éste proceso se le conoce como reducción electroquímica o simplemente catodizado. Ejemplo:



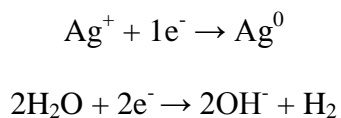
Pueden ser también de interés, los procesos que tienen lugar en el ánodo (+), el mismo que se encuentra en déficit de electrones que puede ser compensado, ya sea, por parte de los iones de la solución formándose de esta manera sobre la superficie del electrodo una capa de sustancia oxidada, o desprendiendo hacia la solución iones positivos (cationes). En cualquier caso, lo que tiene lugar en el ánodo es una oxidación electroquímica o anódica. Ejemplo:



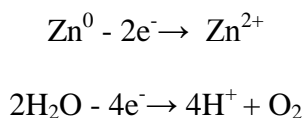
En el caso del aluminio como se indica en la reacción del ejemplo, la posibilidad de formar una capa de óxido es muy aplicable a nivel industrial, como un medio de protección. En el caso del níquel, éste se desprende del electrodo en forma de iones, proceso que no es tan deseable ya que significa un desgaste del ánodo, por lo que se denomina también electrodo de desgaste, esto ocurre por lo general en los procesos de niquelado, razón por la cual en estos procesos es necesario tomar ciertas prevenciones para que este fenómeno aunque no se pueda eliminar por lo menos se minimice al máximo.

Para generalizar y explicar los procesos que tienen lugar en los sistemas electroquímicos, se ha convenido en considerar, que los electrones circulen de izquierda a derecha, por lo que el electrodo de la derecha al que se le denomina cátodo está en exceso de electrones. Los

iones positivos y las moléculas de agua en caso de soluciones acuosas pueden acercarse al cátodo y aceptar electrones; experimentándose de esta manera una reducción. Ejemplo:



El electrodo de la izquierda al transferir los electrones hacia el cátodo, queda cargado positivamente y se lo denomina ánodo (+). El ánodo está en capacidad de entregar al cátodo electrones gracias a que al acercarse hacia él los iones o inclusive el agua de la solución estos entregan sus electrones al electrodo. Otra alternativa puede ser, que el propio electrodo forme o genere iones positivos para lo cual los átomos neutros que constituyen el electrodo pierdan electrones los cuales a su vez pueden ser transferidos al cátodo. Ejemplo:



Cuando la diferencia de potencial es relativamente baja la depositación se realiza en forma regular formando preferentemente los respectivos cristales, pero cuando la diferencia de potencial se incrementa significativamente los depósitos experimentan una distribución aleatoria y amorfa sin orientación.

Las propiedades de los depósitos como la dureza, la resistencia a la tensión mecánica y la ductibilidad, para un metal dado, es característica de ese metal. En general los depósitos

finos en grano, son más tersos, más brillantes y duros, y también bastante resistentes aunque menos dúctiles que los depósitos de grano grueso.”⁸

1.4.2. VARIABLES QUE DETERMINAN LAS APLICACIONES ELECTROLÍTICAS

El operar bajo el control de ciertos parámetros es importante dado que aquello permite alcanzar en lo posible los mejores resultados. Dentro de las electrodeposiciones es recomendable por ejemplo, tener conocimiento de ciertas condiciones de operación, tales como la composición y concentración de los baños, pH, temperatura de las soluciones, densidad de corriente, el poder de penetración y la agitación.

1.4.2.1. 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. Se expresa en Amp/cm^2 , Amp/dm^2 o Amp/pie^2 . 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. De modo general, el aumento de la densidad afina el grano hasta cierto límite, puesto que, cuando la densidad de corriente

⁸ MOREANO, S., Electroquímica Texto Básico., 2000., Pp. 10-12.

excede este valor hay una tendencia a la producción de depósitos rugosos y arborescentes. Un incremento posterior en la densidad de corriente proporcionaría inclusive depósitos esponjosos o quemados.

“Es importante recordar que la densidad de corriente aceptable varía con las condiciones del baño. Por ejemplo, en un baño de niquelado frío (a temperatura ambiente) no es posible pasar de un amperio por decímetro cuadrado, mientras que en un baño caliente se puede alcanzar una densidad de corriente varias veces mayor.”⁹

1.4.2.2. COMPOSICIÓN DE LOS BAÑOS

Un baño electrolítico está formado por la sal del metal a depositar y diversas sustancias, en mayor o menor grado; la adición de estos tiene como objeto aportar mejoras; por ejemplo: aumentar la conductibilidad de la solución, afinar el grano del metal depositado, facilitar la corrosión de los ánodos, etc. Los baños de recubrimiento electrolítico pueden ser: ácidos o alcalinos. Los baños ácidos contienen sulfatos, cloruros, fluoroboratos y/o sulfamatos de los metales a depositar. Los baños alcalinos se componen sobre la base de complejos de hidróxidos o cianuros.

Las sales solubles de los ácidos fuertes como el sulfúrico, el clorhídrico y el nítrico, tienen comportamiento semejante. Los nitratos se usan menos en virtud de que el ión NO_3^- puede

⁹RUIZ, J., Recubrimientos electrolíticos aplicados a prácticas del laboratorio de tratamientos superficiales de procesos de producción mecánica., Ecuador., 2006., Pp 12.

reducirse en el cátodo formando amoníaco NH_3 y cambiando así el pH del baño. Entre las sales comunes de los metales pesados, los cloruros son mejores conductores que los sulfatos, por eso es aconsejable añadir ácido sulfúrico a un baño de sulfato cúprico. En forma similar, la conductividad de los baños con cianuro puede verse considerablemente incrementada añadiendo hidróxido de sodio o de potasio. Los cloruros, como el cloruro de sodio, el amónico, liberan cloro, que se dirige al ánodo, estos facilitan el ataque del mismo.

En virtud de que los metales pueden depositarse únicamente a partir de soluciones que tienen disueltos compuestos de esos metales, parece ser aconsejable trabajar con soluciones saturadas. Entre las ventajas que tenemos por el uso de soluciones fuertes, tenemos: primero que la conductividad es mayor, segundo, la posibilidad de alcanzar una alta densidad de corriente y tercero una eficiencia catódica más elevada.

Las desventajas por su lado, son: el elevado costo inicial de preparación de los baños y la obtención de baños corrosivos y viscosos, segundo la tendencia de cristalización sobre las paredes del tanque y los electrodos debido a la evaporación o a descensos de la temperatura y tercero un probable descenso en la eficiencia anódica. En la práctica se utilizan concentraciones intermedias.

“De manera general, el aumento en la concentración de las sales en solución, que constituyen el electrolito, permite elevar la densidad de la corriente, más aún si este aumento se acompaña de la elevación de la temperatura y agitación; por ejemplo en una solución de sulfato de cobre diluido no se puede pasar de la densidad de 1 Amp/dm^2 ,

mientras tanto en una solución concentrada con agitación del baño se puede alcanzar de 20 a 25 Amp/dm². Además se debe tener en cuenta que el aumento, hasta cierto límite, de la concentración incrementa la conductibilidad de los baños.”¹⁰

Si la concentración del ion metálico sería la única consideración que tuviéramos que hacer, sería de esperarse que obtuviéramos resultados muy similares ya sea con cloruros y con los sulfatos de un metal dado. Sin embargo, en la realidad encontramos que existen marcadas diferencias en el comportamiento en los baños al cloruro o al sulfato. Los aniones en un baño, pueden incidir en su operación afectando la forma de los coloides en la película catódica.

- **ADITIVOS.-** Los aditivos más efectivos usados desde el inicio, fueron las proteínas coloidales como, por ejemplo: la cola y la albúmina. La adición de tales agentes es útil en los baños ácidos para metales como el cobre, el plomo, el cinc y el estaño, ya que la ausencia de estos aditivos conducen a depósitos cristalinos muy rugosos.
- **SUSTANCIAS ORGÁNICAS.-** Son compuestos tales como los ácidos, aril-sulfónicos, que no producen de por si depósitos brillantes, sino que tienden a incrementar la solubilidad y la potencia de abrillantamiento de otros compuestos orgánicos.

¹⁰RUIZ, J., Recubrimientos electrolíticos aplicados a prácticas del laboratorio de tratamientos superficiales de procesos de producción mecánica., Ecuador., 2006., Pp. 12.

- **OTROS COMPUESTOS ORGÁNICOS.-** Se trata de compuestos como los formiatos, los aldehídos, las cetonas y las aminas poliarilamigenas que pueden dar depósitos brillantes.
- **AGENTES HUMECTANTES.-** El peróxido de hidrógeno se usa comúnmente para evitar la formación de burbujas en los baños níquelicos y para oxidar algunos de los aditivos reduciendo su acción o haciéndolos ineficaces. Los agentes humectantes, que son sustancias que disminuyen la tensión superficial de una solución dan como consecuencia un marcado descenso en la tendencia de formar burbujas de hidrógeno que se peguen a la superficie metálica.

1.4.2.3. ACIDEZ CONCENTRACIÓN EN IONES HIDRÓGENO

El pH es la cantidad de iones hidrógeno activos en una solución ácida, es un concepto que se debe tener claro por su importancia. Un ácido puede encontrarse más o menos disociado, por ejemplo el ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico, se disocian fuertemente, mientras que el ácido bórico y el acético se disocian débilmente. El exceso de iones hidrógeno da malos resultados en diversas aplicaciones electrolíticas como las del níquel y del zinc, en estos casos el pH debe ser supervisado.

Cuando la experiencia ha mostrado que un cierto valor o gama de pHs proporcionan un comportamiento adecuado del baño, o bien, que la medida de un pH muestra que éste es demasiado alto o demasiado bajo, entonces se debe ajustar el pH al valor deseado; esto se

lleva a cabo añadiendo ácido si el pH es demasiado alto, y álcali si es demasiado bajo. En general, estas adiciones deben hacerse seleccionando en tal forma que no exista otro cambio marcado en la composición del baño. Si éste contiene cloruros o sulfatos, la adición de ácidos clorhídrico o sulfúrico respectivamente, cambiará ligeramente el contenido de los cloruros y de los sulfatos. Si el baño contiene sales de sodio o de amonio, es lógico que agreguemos hidróxidos de sodio o de amonio. La cantidad de ácido o de álcali que se necesita para proporcionar un cambio en el pH, depende de la composición del baño y especialmente de sus propiedades tampones.

Todos los baños con cianuro son alcalinos, con valores de pH alrededor de 9, como los baños de plateado, los cuales no contienen mucho cianuro libre, en tanto que los de cadmizado o los de cincado que contienen bastante cianuro y álcalis libres, el pH llega hasta 13. Todos los baños con cianuro, contienen carbonato de sodio formado por la descomposición del cianuro. Los carbonatos se hidrolizan también dando soluciones alcalinas. Puesto que los cianuros y los carbonatos no proporcionan valores de pH muy superiores a 11 cualquier pH superior a este, indicará la presencia real de un álcali libre.

El control de los baños con cianuro mediante medidas de pH es no solo útil, sino práctico, aunque si bien, se requiere aún mucha investigación para explicar y predecir los efectos que esta variable pueda ejercer sobre un baño particular.

1.4.2.4. TEMPERATURA

Un incremento de la temperatura ocasiona un aumento del tamaño de los cristales. Este incremento en la talla de los cristales corresponde a una disminución de la polarización para más altas temperaturas.

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. Las altas temperaturas incrementan la movilidad de los iones metálicos y disminuye la viscosidad de la solución, reaprovisionando más rápidamente la película catódica, lo cual reduce también la tendencia a la formación de estructuras arborescentes. Otra ventaja de las temperaturas elevadas es de que se presenta menor absorción de hidrógeno por los depósitos y menor tendencia a producir fisuras; aspecto de especial importancia fundamentalmente en el hierro, níquel y cobalto.

“Algunos baños de niquelado, concentrados en sulfato, actúan a temperaturas del orden de 50°C. De modo general la temperatura de un baño tiene gran importancia, para los baños actuando en frío no debe descender a los 15°C.”¹¹

¹¹RUIZ, J., Recubrimientos electrolíticos aplicados a prácticas del laboratorio de tratamientos superficiales de procesos de producción mecánica., Ecuador., 2006., Pp. 14.

1.4.2.5. AGITACIÓN

La agitación es de gran importancia, pues impide el empobrecimiento de iones metálicos de la zona catódica, también restringe, en mayor o menor medida, la adherencia de burbujas gaseosas sobre el cátodo, provocando picaduras en las superficies. La agitación también permite mezclar la solución e impide la estratificación de soluciones más pesadas que se van al fondo del tanque.

El resultado neto de la agitación es que permite una densidad de corriente más alta con el propósito de producir un depósito con una estructura dada, y es de mayor beneficio para depósitos pesados. Por lo general, el agitar las soluciones galvánicas permite aumentar la uniformidad de su composición y el uso de densidades de corriente lo más altas posibles. Pese a los beneficios de la agitación, esta pone en suspensión las impurezas del baño, las cuales hacen que el recubrimiento resulte rugoso o incluso picado; para evitar estas dificultades se procede a filtrar las soluciones agitadas.

1.5. RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS

El principio de los métodos de recubrimiento electrolítico o químicos, también denominados galvánicos, consiste en depositar por vía electroquímica, finas capas de metal sobre la superficie de una pieza sumergida en una solución de agua con iones metálicos o

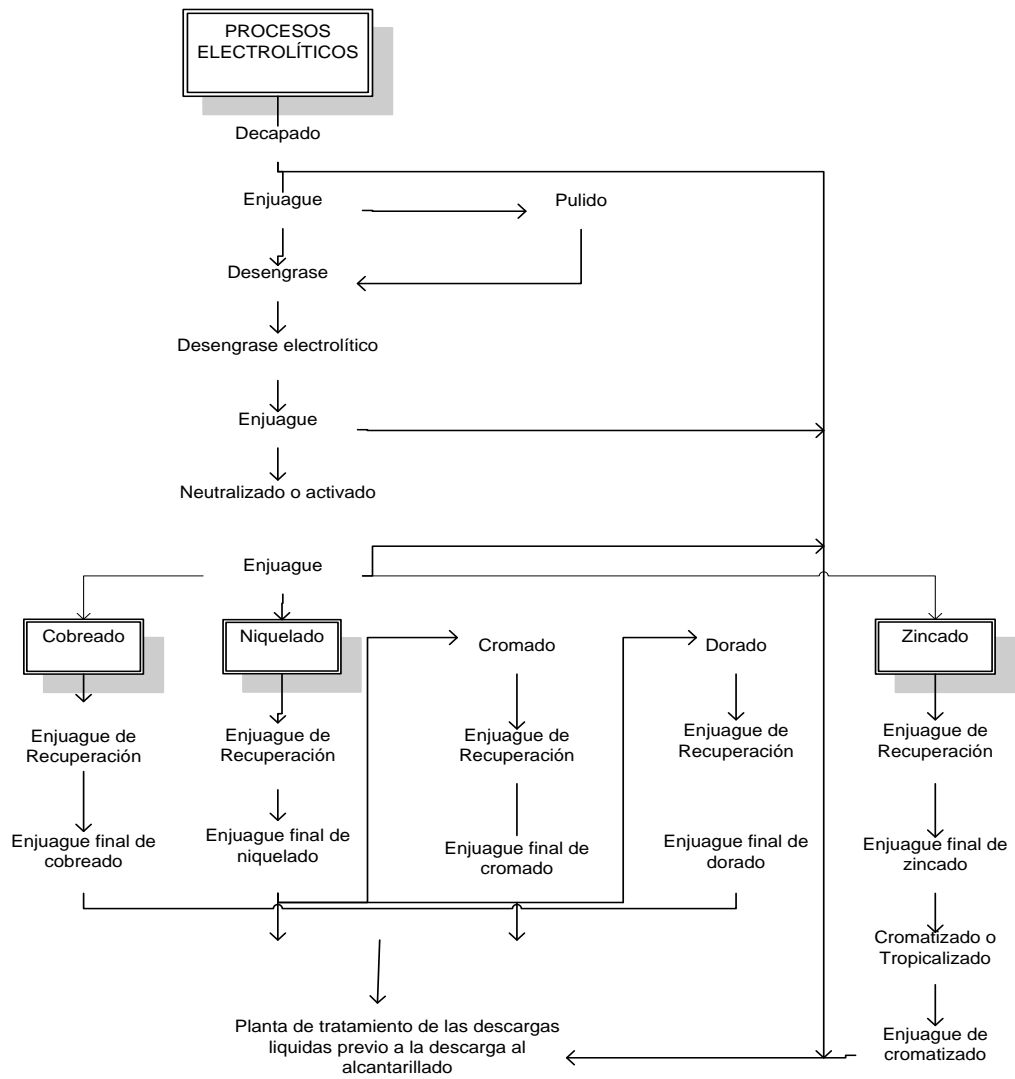
electrolito, al conectar una fuente externa de corriente directa. Las capas formadas generalmente son de un espesor entre 1 y 100 μm . El metal que constituye la capa se encuentra en el electrolito en forma de iones.

1.5.1. APLICACIONES

- **Protección con efecto decorativo.**-Se da a la superficie un aspecto agradable a la vista con una protección frente a los agentes corrosivos. Son frecuentes en recubrimientos de níquel-cromo en la industria automotriz.
- **Decoración sin efecto de protección.**-Decoración de piezas por recubrimiento con una débil capa metálica conseguida frecuentemente sin corriente, como el dorado y plateado. Estos acabados se emplean en bisutería.
- **Protección sin efecto decorativo.**- Se busca solo la protección contra la corrosión. El cincado, cadmiado y estañado se utilizan a este fin. Ante ciertos agentes físicos y químicos se utilizan recubrimientos de cromo duro, níquel o plomo.
- **Modificaciones de las propiedades físicas.**- Su propósito es obtener propiedades distintas a las del sustrato. Endurecimiento superficial por deposición de cromo duro o níquel químico. Revestimiento y tratamiento de conversión para aumentar la adherencia y la protección con pinturas y lacas.

1.5.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

Figura 1.3 Procesos electrolíticos utilizados en el país.



Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

1.5.3. PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES PARA LAS ELECTRODEPOSITACIONES

Previo a que se deposite la capa metálica, la superficie a cubrir debe estar libre de impurezas, tales como grasa y óxidos. Para ello, se aplican procedimientos de preparación como el pre-tratamiento mecánico de las superficies como lo es el pulido y los métodos químicos de pre-tratamiento de superficies: el desengrasado mediante limpiadores alcalinos, hidrocarburos clorados, o por vía electrolítica; así como el decapado. Antes de que una pieza se incorpore al proceso de pulido, desengrasado y recubrimiento, debe realizarse una inspección previa para asegurar que la pieza no presente defectos inaceptables que no se puedan corregir durante el recubrimiento.

Los métodos mecánicos de preparación: incluyen principalmente el esmerilado y pulido. Estos pasos de trabajo eliminan asperezas o deformaciones superficiales y ensuciamientos gruesos.

- a) **Desengrase con solventes.-** Se lleva a cabo para eliminar los restos de grasa y aceite de la superficie de la pieza. Los limpiadores con solventes permiten un mejor humedecimiento de la superficie que aquellos a base de agua. El método clásico para eliminar el aceite y la grasa de una superficie es el desengrasado a vapor.

Consiste en calentar un solvente limpiador, generalmente hidrocarburos clorados, para obtener una fase de vapor caliente, en la que se introducen las piezas.

b) Decapado.- El decapado con ácido se utiliza para eliminar impurezas y óxidos a través de un ataque químico, el cual frecuentemente se aplica después de un lavado alcalino. El tipo y la concentración del ácido, su temperatura y el tiempo de tratamiento, varían con la clase y la cantidad de óxido que se va a limpiar. Se utilizan diferentes ácidos, solos o mezclados, entre ellos se encuentran el ácido nítrico, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico y ácido fosfórico. Sobre el hierro, los ácidos principalmente usados son el clorhídrico y el sulfúrico. En general el ácido clorhídrico es más eficaz debido a que disuelve el óxido de hierro rápidamente y sus sales son más solubles, aunque es más caro, por lo que para escalas más grandes se reemplaza por el ácido sulfúrico. En la preparación de cinc y de los vaciados para tratamiento galvánico, es costumbre utilizar HCl diluido durante 10 a 15 segundos. El tratamiento de otros metales implica el uso de ácidos adecuados; para el aluminio y sus aleaciones se utiliza el ácido nítrico, para el plomo el ácido fluobórico (HBF_4). En cualquier caso se sumerge las piezas en la solución por un periodo determinado después del cual se enjuaga para detener la acción química, sino el baño de decapado puede terminar por picar las superficies, ocasionando la pérdida de material.

c) El activado.- También llamado neutralizado e inclusive decapado suave, se utiliza para eliminar la pequeña capa de óxido que se ha formado sobre la superficie del

metal una vez que la superficie ha sido tratada o lavada en sucesivas etapas. Esa pequeña capa de óxido hace que la superficie sea pasiva y por lo tanto mal conductora. Las soluciones empleadas son por lo general ácidos muy diluidos. Los activados permiten asimismo eliminar manchas generadas por compuestos orgánicos y/o inorgánicos.

1.6.CINC

El cinc presenta un buen comportamiento contra la corrosión en atmósfera rural y marina salvo en niebla salina, su resistencia es menor en las atmósferas industriales. Buena resistencia en contacto con agua de mar. Resiste a las sales minerales y orgánicas neutras. El cincado también se utiliza como tratamiento superficial antes de un recubrimiento de pintura. Su resistencia al agua natural es débil. No resiste a los ácidos y bases.

Tabla 1.2Propiedades físicas del cinc.

Densidad	7,1 Kg/dm ³
Punto de Fusión	419 °C
Temperatura límite de empleo	350 °C

Fuente: RUIZ, J., Recubrimientos electrolíticos aplicados a prácticas del laboratorio de tratamientos superficiales de procesos de producción mecánica., Ecuador., 2006., Pp. 45.

1.6.1. CINCADO

El cincado es el método de recubrimiento superficial para mejorar la resistencia a la corrosión del acero y de las aleaciones de hierro. Existe diferencia en la aplicación de los términos cincado y galvanizado; el cincado consiste en recubrir las superficies mediante vía electrolítica. Mientras el galvanizado permite el recubrimiento de piezas de acero o de hierro fundido mediante su inmersión en un baño de zinc fundido; de acuerdo a las características que deba presentar la protección anticorrosiva con cinc, se aplican diferentes técnicas de protección.

1.6.1.1. PREPARACIÓN DE LAS PIEZAS ANTES DEL CINCADO

Del cumplimiento de condiciones básicas depende en gran medida el éxito del recubrimiento, así las piezas a galvanizar deben estar exentas de contaminantes, tales como: restos de pintura, escoria de soldadura, productos anti-salpicaduras (soldadura), grasas y aceites, etc. La composición química del acero influye decisivamente sobre el espesor y la estructura de los recubrimientos cincados.

Para realizar este recubrimiento, en primer lugar se debe hacer la inspección del material, las sustancias contaminantes más corrientes son grasas, aceites, jabones, polvo, restos de capas de pintura y residuos de productos utilizados en operaciones mecánicas o de

soldadura. El decapado en ácido clorhídrico diluido, elimina por completo los productos de corrosión, pero no así algunas de las sustancias contaminantes. Los restos de aceites y grasas que queden sobre la superficie del acero pueden ocasionar defectos en el recubrimiento cincado (zonas sin recubrir). El empleo de distintas clases de acero en una misma construcción metálica puede dar lugar a diferencias en el aspecto del recubrimiento que se obtiene sobre cada una de ellas, debido a las diferencias de composición química.

1.6.1.2. ELECTRÓLISIS

Durante el proceso de electrólisis en el cincado se presentan un sin número de impurezas, las cuales deben ser eliminadas del baño; existe en el mercado purificadores que mantienen las soluciones de baños de cinc en perfectas condiciones, eliminando impurezas metálicas de cobre, plomo y cadmio que ingresan en el baño ya sea por los ánodos, por las sales o por residuos de material.

Además del purificador para el baño de cinc, encontramos en el mercado un producto conocido como brillo de cinc, el cual suple la necesidad de crear superficies de buena calidad y excelente brillo. Contribuye al recubrimiento permitiendo mayor adherencia de la película y un excelente poder de penetración. Además recibe fácilmente cualquier tipo de tratamiento cromatizante.

Tabla 1.3 Recomendaciones de adición para baños de cinc.

BAÑOS CON CIANURO DE CINC		BAÑOS CON ÓXIDO DE CINC	
COMPUESTO	COMPOSICIÓN	COMPUESTO	COMPOSICIÓN
Zn(CN) ₂	33,5 g/l	ZnO	32 g/l
NaCN	44,5 g/l	NaCN	56 g/l
NaOH	80 g/l	NaOH	80 g/l
R- Cianuro de Sodio / Cinc Metal	2,3 – 2,4	R-Cianuro de Sodio / Cinc Metal:	2 -2,1
Cinc Glanzer	4-6 ml /l	Cinc Glanzer	4-6 ml/l

Fuente: Boletín técnico de la Industria Metalquímica Galvano, 2011.

1.6.1.3. TOXICIDAD

“Cuando se trabaje con soluciones de cinc a base de cianuros, se recomienda tener mucho cuidado. Usar guantes de caucho, mascarilla y lentes de protección. Lavarse muy bien las manos luego de su manipulación, es corrosivo a la piel e irrita las mucosas nasales.**Esvenenoso.**”¹²

¹²Boletín técnico de la Industria Metalquímica Galvano, 2011.

1.7.TROPICALIZADO

Consiste en un baño de inmersión, posterior al cincado, el cual le da a la superficie un aspecto decorativo brillante.

- Cromatizado B7.- Es un producto concentrado, en forma de polvo que produce una película convertidora de cromato azul claro sobre piezas galvanizadas electrolíticamente. Este proceso tiene una protección a la corrosión que puede ir de 30 a 100 horas de resistencia a la prueba de chorro sal neutro. Además forma una base excelente para pintura y tiene una apariencia agradable para aplicaciones decorativas.

Tabla 1.4Preparación y condiciones de trabajo para cromatizado B7.

Cromatizado B7	5-10 g/l
Ácido nítrico	10 – 15 cm ³ /l
Temperatura	Ambiente
Tiempo de inmersión	5-60 segundos (agitando)

Fuente:RUIZ, J., Recubrimientos electrolíticos aplicados a prácticas del laboratorio de tratamientos superficiales de procesos de producción mecánica., Ecuador., 2006., Pp. 79.

1.8.COBRE

El cobre es por excelencia un buen conductor de calor. Sus principales características físicas se pueden observar a continuación en la Tabla 1.5

Tabla 1.5 Propiedades físicas del cobre.

Densidad	8,9 Kg/dm ³
Punto de fusión:	1080 °C
Calor específico	0,09 cal/gr °C (0 a 100 °C)
Temperatura límite de empleo	300° C

Fuente:RUIZ, J., Recubrimientos electrolíticos aplicados a prácticas del laboratorio de tratamientos superficiales de procesos de producción mecánica., Ecuador., 2006., Pp. 49.

1.8.1. COBREADO

Frecuentemente, el cobre forma la primera capa en un sistema de capas de recubrimiento, puesto que es fácil de depositar en metales y plásticos, ya que presenta una elevada conductividad; además, la capa de cobre es muy resistente, económica de aplicar y forma una buena base adhesiva para otros metales.

“Las aplicaciones electrolíticas del cobre están bien realizadas cuando presentan un color rosa salmón. A partir de un espesor de 10m m (micrón, equivalente a una milésima de milímetro), su porosidad es muy débil. El cobre expuesto al aire seco, en una habitación por ejemplo, se empaña con bastante lentitud, pero en presencia del aire húmedo se cubre con mayor o menor rapidez de verdete.”¹³

1.8.1.1. ELECTRÓLISIS

El cobre es, según sean las sales, monovalente o bivalente. En la práctica, las dos sales más utilizadas para la preparación de los baños de cobreado son el sulfato cúprico $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (cobre bivalente), y el cianuro cuproso CuCN (cobre monovalente). Conviene advertir que los baños ácidos al sulfato no son directamente utilizables para las aplicaciones de cobre sobre hierro u otros metales situados por encima del cobre en la serie de fuerzas electromotrices, puesto que se obtienen recubrimientos esponjosos y sin adherencia.

Se emplean, pues, muy ampliamente baños al cianuro, que permiten obtener buenas aplicaciones sobre el acero, el hierro fundido, etc. En la Tabla 1.6 se menciona las concentraciones que debe de tener un baño para cobre ácido y cobre alcalino.

¹³RUIZ, J., Recubrimientos electrolíticos aplicados a prácticas del laboratorio de tratamientos superficiales de procesos de producción mecánica., Ecuador., 2006., Pp. 49.

Tabla 1.6 Recomendaciones de adición para baños de cobre.

BAÑO ÁCIDO		BAÑO ALCALINO	
COMPUESTO	COMPOSICION	COMPUESTO	COMPOSICION
CuSO ₄	250 g/l	CuCN	63 g/l
H ₂ SO ₄	100 g/l	NaCN	85 g/l
Cl ⁻	Menor 1 g/l	NaCO	7 g/l
Aditivos	6 g/l		

Fuente:Boletín técnico de la Industria Metalquímica Galvano, 2011

a) BAÑOS ÁCIDOS

El baño ácido más simple para cobreado está compuesto de sulfato de cobre y el ácido sulfúrico. La sal proporciona los iones de metal y el ácido sirve para reducir la resistividad, disminuir la concentración del ion metálico, aumentar la corrosión del ánodo y evitar la precipitación de sales básicas cuprosas y cúpricas. Las concentraciones permisibles del sulfato de cobre y del ácido están limitadas por el hecho de que el aumento de ácido sulfúrico disminuye la solubilidad del sulfato de cobre. La gran pureza del cobre no es indispensable pues pequeñas cantidades níquel, cinc o arsénico, prácticamente no tienen efecto en el depósito o las propiedades del cobre en soluciones ácidas de sulfato.

Las reacciones involucradas en este tipo de recubrimiento para el cobre ácido se muestran a continuación:

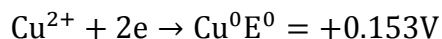
El sulfato de cobre se disocia en el baño:



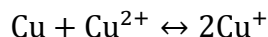
El cobre se oxida de Cu^0 a Cu^{2+} en el ánodo



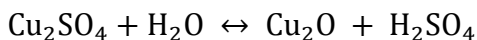
Posteriormente los iones Cu^{2+} se desplazan en la solución para finalmente llegar al cátodo donde se reducen en la superficie catódica en Cu^0 metálico.



“En la solución ácida, el cobre se encuentra presente de preferencia con valencia dos. El potencial estándar del cobre es $E^0 \text{Cu}/\text{Cu}^{2+} = 0,337 \text{V}$. Sin embargo, en la solución en pequeñas cantidades se encuentran también iones de cobre de valencia (I), estableciéndose un equilibrio entre los iones bivalentes y monovalentes.



Es posible también la hidrólisis del cobre (I), en medio neutro, con la formación del óxido de cobre (I).”¹⁴



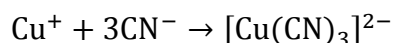
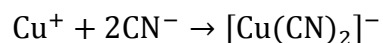
¹⁴ MOREANO, S., Electroquímica Texto Básico., 2000., Pp. 49.

“Estos baños funcionan a temperaturas que oscilan entre 20 y 50°C con una densidad de corriente de 1 a 4 Amp/dm². Con agitación por aire y a la temperatura de 45 a 50°C se pueden alcanzar densidades de corriente del orden de 10 Amp/dm². A la temperatura de 20° C (sin agitación) la densidad a admitir es de 1 a 1,5 Amp/dm².”¹⁵

Para baños más cargados de sulfato y de ácido sulfúrico, también se utiliza una densidad de corriente de 2 a 10 Amp/dm², y son empleadas cuando se trata de lograr aplicaciones muy espesas.

b) BAÑOS ALCALINOS

A diferencia de los baños de sulfatos, en los electrolitos al cianuro el cobre se encuentra formando compuestos complejos, dentro de los cuales se pueden indicar los iones complejos *tipos* $[\text{Cu}(\text{CN})_2]^-$, $[\text{Cu}(\text{CN})_3]^{2-}$ entre otros.



¹⁵RUIZ, J., Recubrimientos electrolíticos aplicados a prácticas del laboratorio de tratamientos superficiales de procesos de producción mecánica., Ecuador., 2006., Pp. 51.

El exceso del cianuro libre sirve para garantizar la estabilidad de los iones complejos y mejorar la estructura del depósito, incrementar la distribución del electrólito y estabilizar una pasividad de los ánodos. Sin embargo, un demasiado exceso de cianuro libre, conduce a una reducción del rendimiento por corriente del cobre. Para mantener estable el pH del electrólito se añade NaOH o carbonato de sodio. En calidad de activador del ácido a menudo se añaden sales de tartrato de sodio y potasio o de tiocianatos.

Las desventajas de los electrólitos de cianuro, a más de considerarse a los compuestos de cianuro altamente venenosos, se refieren a la inestabilidad de su composición como resultado de la reacción del cianuro de sodio o potasio con el dióxido de carbono y el desprendimiento del cianuro de hidrógeno y también la necesidad de un constante control, mantenimiento y corrección del electrolito.

Se aplica una densidad de corriente de 0,5 a 1,6 Amp/dm². Un exceso de corriente en los baños al cianuro provoca recubrimientos oscuros y rugosos. Cuando a la solución le falta cianuro se obtiene un recubrimiento marcado de vetas oscuras, pero el exceso de cianuro o la falta de cobre conduce a aplicaciones lentas e incluso polvorientas. Una densidad de corriente muy elevada provoca recubrimientos deslucidos, estriados de negro e incluso granulados, pero esto también puede ser provocado por una porción insuficiente del ácido sulfúrico si la densidad de corriente es negativa.

Cuando los ánodos funcionan bien en baño ácido, presentan una apariencia clara y mate. Los ánodos brillantes indican un exceso de ácido, de igual modo que los ánodos oscuros indican una densidad de corriente muy elevada. Cuando los ánodos trabajan bien en un baño de cianuro, se recubren de un ligero verdete, que es, por otra parte, fácilmente soluble en un exceso de cianuro.

1.8.1.2. TOXICOLOGÍA

Las soluciones delos baño y abrillantadores son preparados orgánicos, que en contacto con la piel, la irritan. En caso de contacto con la piel, se debe lavar con abundante agua fría. Usar guantes de caucho, mascarilla y lentes de protección. Lavarse muy bien las manos luego de su manipulación.

1.9.NÍQUEL

El níquel ofrece una buena resistencia a la corrosión. Resiste muy bien a los álcalis (sosa y potasa), a las sales alcalinas (carbonato sódico, sulfato potásico) y a las soluciones de sales orgánicas (ácido acético, ácido tartárico, etc.). En caliente prácticamente no se oxida antes de alcanzar temperaturas en el orden de 700°C.

Tabla 1.7Propiedades físicas del níquel.

Densidad	8,9 Kg/dm ³
Punto de fusión:	1450 °C
Calor específico	0,11cal/gr °C

Fuente:RUIZ, J., Recubrimientos electrolíticos aplicados a prácticas del laboratorio de tratamientos superficiales de procesos de producción mecánica.,Ecuador.,2006., Pp.53-54.

1.9.1. NIQUELADO

Es un procedimiento de metalización que se lleva a cabo con fines de protección superficial en las piezas, así como decorativos y de recubrimiento previo antes del cromado o de otros acabados. Los recubrimientos de níquel decorativos son siempre de poco espesor, en un rango de 1-40µm aproximadamente. También se hacen aplicaciones gruesas de níquel, que pueden alcanzar varios milímetros de espesor, esta aplicación se realiza para proteger a las piezas contra la corrosión, el desgaste ó cuando se trata de rellenarlas (alabes de turbinas, hélices, ejes de bombas, varillas de émbolos, etc.).

Los objetos de cobre y aleaciones de cobre se niquelan directamente; este procedimiento también es posible con objetos de estaño, zinc, plomo, hierro y acero, sin embargo, en estos casos se tienen que cobrizar previamente.

1.9.1.1. PREPARACIÓN DE LAS PIEZAS ANTES DEL NIQUELADO.

“Los recubrimientos de níquel requieren una buena preparación de las piezas, de acuerdo al tipo de aleación a recubrir, especialmente cuando se requieren espesores grandes y complementados con un recubrimiento electrolítico de cromo.

Cobre: Igualmente que el latón después del desengrase alcalino (con piezas en el cátodo), se efectúa un tratamiento anódico y se sumergen en una solución de cianuro sódico al 5%, a la temperatura ordinaria, durante algunos segundos. Finalmente después del lavado, se sumerge en una solución de ácido sulfúrico al 5 – 6 %, a la temperatura aproximada de 60°C durante un instante.

Acero: Después de pasar por desengrase al tricloroetileno, realizar desengrase alcalino en el cátodo y tratar en el ánodo, y tras efectuar el lavado, se sumergen las piezas en una solución clorhídrica del 10 al 15%, a temperatura aproximada de 60°C, durante un periodo de 20 a 30 segundos.

Hierro fundido: Posterior al desengrase al tricloroetileno se procede a un desengrase catódico alcalino seguido de un tratamiento anódico. Se lavan y se colocan las piezas en el ánodo de un baño sulfúrico con una dosis aproximada del 15% de ácido sulfúrico y a

temperatura ordinaria. La densidad de corriente es de 15 a 20 A/dm² y durante aproximadamente 5 minutos.”¹⁶

1.9.1.2. ELECTRÓLISIS

El níquel es un metal que posee en potencial estándar igual a $E^{\circ} \text{Ni}/\text{Ni}^{2+} = -0,23 \text{ V}$ por lo tanto es un reductor con respecto al hidrógeno y con respecto al hierro cuyo potencial estándar es $E^{\circ} \text{Fe}/\text{Fe}^{3+} = -0,37 \text{ V}$ pero gracias a su tendencia a pasivarse adquiere un potencial más positivo y suficientemente estable frente a las condiciones atmosféricas, así como a la acción de las bases y algunos ácidos. En un par galvánico con el hierro el níquel actúa como cátodo y por consiguiente con éxito lo defiende al metal base de la corrosión.

A pesar de existir muchas fórmulas de baños de níquel inclusive para propósitos específicos, prácticamente todas ellas contienen sulfato de níquel, un cloruro, como el cloruro de níquel, que facilita la corrosión de los ánodos y el ácido bórico que hace el papel de tampón oponiéndose a las variaciones del pH. No son muy comunes los baños de níquel

¹⁶RUIZ, J., Recubrimientos electrolíticos aplicados a prácticas del laboratorio de tratamientos superficiales de procesos de producción mecánica., Ecuador., 2006., Pp.54.

alcalinos debido a que se forman una gran cantidad de complejos que repercuten considerablemente en la calidad del baño.

El pH es un factor muy importante en los baños de niquelado. Su valor óptimo dependerá de la composición de electrolito, de su temperatura y de la densidad de corriente. Así para cada baño existe un valor límite del pH. La acidez debe ser verificada con frecuencia.

En el galvanizado con níquel se pueden utilizar baños de sulfamatos o baños Watts con sulfatos de níquel. El baño con sulfamatos generalmente está compuesto de sulfamato de níquel, ácido bórico, bromuro de níquel, ánodos de níquel y aditivos.

En un baño Watts las sales utilizadas con más frecuencia son el sulfato de níquel (NiSO_4), como la principal fuente de iones, y el cloruro de níquel por su efecto despasivizante (que hace activa la superficie de depósito). El ácido bórico tiene la función de sustancia buffer y reduce la formación de defectos a altas densidades de corriente, generados por la acidificación de la solución debida al exceso de iones H^+ . El bromuro de níquel (NiBr_2) se usa para reducir las tensiones internas y disolver los ánodos de níquel. El níquel metálico sirve como ánodo para la corriente eléctrica y libera los iones de níquel que recubrirán a las piezas (niquelado). Las composiciones de los baños de níquel se muestran en la Tabla 1.8.

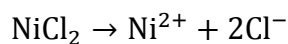
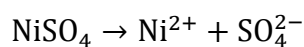
Tabla 1.8 Recomendaciones de adición para baños de níquel.

BAÑO TIPO WATTS		BAÑO ALTO CLORURO	
COMPUESTO	COMPOSICIÓN	COMPUESTO	COMPOSICIÓN
NiSO ₄	300 g/l	NiSO ₄	240 g/l
NiCl ₂	60 g/l	NiCl ₂	90 g/l
H ₃ BO ₃	45 g/l	H ₃ BO ₃	40 g/l
Níquel Galva 5000	4 ml/l		
Níquel Make Up	20 ml/l		
Antipit 230 (Agitación mecánica u por educción)	2 ml/l		
Antipit A-33 (Agitación por aire)	2 ml/l		
pH	4,2-4,8		

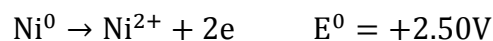
Fuente: Boletín técnico de la Industria Metalquímica Galvano, 2011.

Las reacciones involucradas en este tipo de recubrimiento se muestran a continuación:

Disociación del sulfato de níquel y del cloruro de níquel en agua:



La reacción de oxidación que se lleva a cabo en el ánodo es la siguiente:



Y la reacción de reducción que se lleva a cabo en el cátodo es la siguiente:



1.9.1.3. TOXICOLOGÍA

Los abrillantadores de níquel son productos tóxicos por ingestión y por largos periodos de contacto con la piel, irritan la piel, los ojos y mucosas nasales. Para el manejo de los mismos se recomienda el uso de guantes, gafas para los ojos y ropa de trabajo adecuada.

1.10. DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO

1.10.1. FUENTE DE CORRIENTE

Como la energía eléctrica se distribuye a las plantas en forma de corriente alterna (c.a.) a 110 o 220 voltios, es necesario para poder usarla en las electrodeposiciones rectificarla por ejemplo, cambiándola a corriente directa (c.d.), y también usando un transformador reductor para reducir el voltaje usualmente a 6 o 12 voltios. La corriente modificada que sale del transformador, y que se piensa utilizar en sistemas electrolíticos, es por lo general de bajo voltaje y elevado amperaje. Para rectificar la corriente es necesario entonces hacer pasar la corriente obtenida del transformador a través, del denominado puente de rectificación que está construido a base de una combinación de diodos

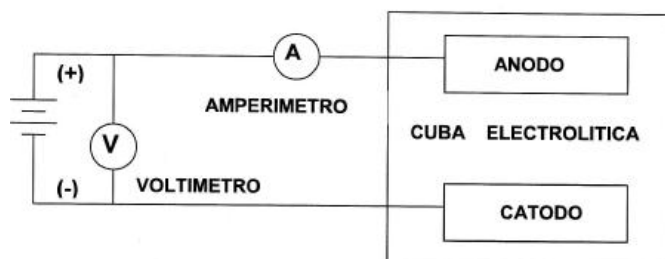
Par evitar confusiones en las polaridades de la corriente directa, se ha convenido en conectar con un conductor negro al polo negativo y con un conductor de cualquier otro color al polo positivo.

1.10.2. MEDICIÓN DE LA CORRIENTE ELECTRICA

Para medir la corriente que fluye por el circuito, en cualquier momento determinado se utiliza el amperímetro, mientras que para medir la diferencia de potencial entre dos partes de un circuito se utiliza el voltímetro.

El amperímetro esta siempre colocado en serie con el tanque, es decir, en el circuito principal, de modo que toda la corriente pasa por él. El voltímetro en cambio, esta siempre conectado en paralelo con respecto al tanque. Lo enunciado se indica en el esquema de la Figura 1.5.

Figura 1.4 Conexión del amperímetro y voltímetro en una celda electroquímica.



Fuente: MOREANO, S., Electroquímica Texto Básico., 2000., Pp. 32.

En base a la corriente que circula por el sistema se puede calcular la densidad de corriente si se conoce el área del o los objetos que se desean recubrir. Este cálculo es bastante aproximado cuando se tratan de piezas de superficies regulares, pero el cálculo se complica cuando los objetos a tratar son de superficies complejas.

En la práctica, sin embargo las condiciones de corriente para los trabajos se establece regulando únicamente el voltaje, siempre que se tenga referencias de las condiciones del baño, la temperatura y las áreas tanto del ánodo y del cátodo (piezas a recubrir).

1.10.3. ÁNODOS

Para la deposición metálica se deben utilizar ánodos los cuales pueden ser, según la aplicación: *solubles, insolubles inertes o insolubles catalizables*. En la gran mayoría de los baños el metal depositado proviene de ánodos solubles que aportan a la solución el material necesario para que las sales disociadas en la misma se vuelvan a formar.

En el caso de los ánodos insolubles, estos cumplen la función de cerrar el circuito eléctrico a través de la solución con el cátodo, pero al no disolverse, no aportan metal al electrolito, provocando una pérdida de dicho contenido en el baño. Esto genera, además, problemas respecto a la concentración y degradación de sales que el mismo contenga.

Referente a los ánodos insolubles catalizables el ejemplo más representativo es el del baño de cromo, en donde no existe otro recurso posible para que el depósito se concrete, ya que en ellos, el ánodo insoluble actúa como catalizante del cromo trivalente convirtiéndolo en hexavalente.

El material del ánodo debe estar libre de cualquier impureza ya que puede dar origen a una contaminación en el baño electrolítico, la codeposición sobre el cátodo, la reacción con los constituyentes de la solución o la formación de un lodo insoluble en la superficie del ánodo.

En los baños electrolíticos los ánodos deben estar recubiertos con fundas de tela resistente a los distintos productos químicos utilizados en la galvanotecnia. El motivo principal es evitar en la solución las partículas metálicas en suspensión provenientes de la corrosión anódica.

1.10.4. TANQUES O CUBAS ELECTROLÍTICAS

Bajo éste encabezado pueden ser considerados los aparatos que se usan para preparar, contener y usar las soluciones galvanizadoras. Primeramente, se considerará el material del que van a ser construidos los tanques, el que en cualquier caso es determinado principalmente por: (1) resistencia al ataque de las soluciones concernientes, (2) fuerza mecánica para las cargas en cuestión y (3) costo; rubro dentro del cual es necesario considerar la inversión de su construcción, mantenimiento y depreciación. Otros factores como conductividad eléctrica y térmica pueden también influir en la elección de materiales.

Los materiales que se han utilizado o sugerido para la construcción de tanques galvanizadores incluyen madera, hierro (o acero), barro cocido resistente, concreto y estearina. Para tanques experimentales pequeños, 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 adecuados. Como aislantes la práctica más común es utilizar tiras de madera impregnadas con cera derretida, asfalto o con goma laca.

Para establecer las dimensiones de la cuba, se debe tomar en consideración los siguientes factores:

- ✓ El tamaño de las piezas a recubrir.
- ✓ Las dimensiones de los soportes o ganchos.
- ✓ La disposición más conveniente del ánodo y el cátodo durante los procesos.
- ✓ La colocación en el interior de la cuba de calentadores sumergibles, como elementos de calefacción.
- ✓ La altura total de la cuba.

1.10.5. SISTEMA DE ABSORCIÓN DE GASES

La función primordial de una instalación de aspiración es captar, el aire, vapor, neblina, gas, etc. Para transportarlo a una zona adecuada; liberando de esta manera en un gran porcentaje la contaminación, producida por el desprendimiento de sustancias, muchas veces tóxicas en los procesos químicos, y especialmente en los electrolíticos.

La descontaminación de la atmósfera, en una zona de trabajo, puede realizarse por aspiración o por arrastre del aire contaminado hacia el exterior en forma natural o forzada. Las campanas de extracción o campanas de gases son los más comúnmente utilizados en los laboratorios donde se liberan productos químicos peligrosos o nocivos. También se utilizan en aplicaciones industriales u otras actividades.

- **Cámaras y campanas extractoras**

El principal requisito que debe cumplir, es el atrapar la máxima cantidad de impurezas con un consumo mínimo de aire, y sin interferir en el proceso. Generalmente suelen tener forma piramidal o cónica y se instalan encima o a un lado de la fuente de impurezas. Están constituidas por:

- ✓ Campana, estructura metálica diseñada para encerrar total o parcialmente una operación generadora de un contaminante.
- ✓ Conductor, por donde se transporta el contaminante.
- ✓ Ventilador, transmite la energía necesaria para la extracción. Pueden ser, centrífugos o axiales.

Generalmente las capotas, cámaras y campanas, están hechas de materiales resistentes a la acción química de los gases o reactivos en contacto con las mismas. Entre los materiales más utilizados tenemos el acero inoxidable, los acrílicos, el vidrio, etc., dependiendo la utilización de los mismos y de las condiciones particulares de cada planta.

1.10.6. CÁLCULOS ELECTROQUÍMICOS

1.10.6.1. PESO DE UN DEPÓSITO ELECTROQUÍMICO

El valor del peso o cantidad de recubrimiento G , se halla restando el peso de la pieza con recubrimiento menos el peso de la pieza sin recubrimiento.

$$G = m_1 - m_2 \quad (\text{Ec. 1.3})$$

Dónde:

G = Peso o cantidad de recubrimiento (gr).

m_1 = Peso inicial de la pieza a recubrir (gr).

m_2 = Peso final de la pieza a recubrir (gr).

El peso del metal depositado durante el proceso de electrólisis G , está en función de: el tipo de material, la intensidad de corriente que atraviesa el electrolito, el tiempo de duración del proceso de electrólisis y el rendimiento del baño.

$$G = E_q \cdot I \cdot t \cdot \eta \quad (\text{Ec. 1.4})$$

Dónde:

G = Cantidad de recubrimiento (gr)

E_q = Equivalente electroquímico del baño electrolítico (g/Amp.h)

I = Intensidad de corriente (Amp)

t = Tiempo de electrólisis (h)

η = Rendimiento de corriente o del baño.

La intensidad de corriente está determinada por:

$$I = \alpha \cdot D \quad (\text{Ec. 1.5})$$

Dónde:

I = Intensidad de corriente (Amp)

α = Superficie catódica (dm^2)

D= Densidad de corriente (Amp/dm^2)

Si relacionamos el peso del recubrimiento con la superficie catódica, se conocerá la cantidad de depósito por dm^2 :

$$G' = \frac{E_q \cdot I \cdot t \cdot \eta}{\alpha} = E_q \cdot D \cdot t \cdot \eta \quad (\text{Ec. 1.6})$$

Dónde:

G' = Cantidad de depósito por decímetro cuadrado (gr/dm^2)

E_q = Equivalente electroquímico del baño electrolítico ($\text{g}/\text{Amp}\cdot\text{h}$)

D= Densidad de corriente (Amp/dm^2)

t= Tiempo de electrólisis (h)

η = Rendimiento de corriente o baño electrolítico.

1.10.6.2. TIEMPO DE ELECTRÓLISIS

Es muy necesario conocer el tiempo a una densidad de corriente determinada, necesario para llevar una electrólisis a obtener un depósito de cierto espesor de un metal con peso

específico conocido y con un rendimiento de corriente práctico. Esto consideramos tiempo de deposición y tenemos que:

$$t = \frac{s \cdot d}{E_q \cdot D \cdot \eta} \quad (\text{Ec. 1.7})$$

Dónde:

t= tiempo de electrólisis (h)

s= Espesor del recubrimiento (mm)

d= Peso específico del metal depositado(gr/cm^3)

E_q = Equivalente electroquímico del baño electrolítico (g/Amp.h)

D= Densidad de corriente (Amp/dm^2)

η = Rendimiento de corriente o baño electrolítico.

Si se desea saber cuánto tiempo necesita para una determinada cantidad G' de depósito se aplica la fórmula:

$$t = \frac{G'}{E_q \cdot D \cdot \eta} \quad (\text{Ec. 1.8})$$

Dónde:

G' = Cantidad de depósito por decímetro cuadrado (gr/dm^2)

1.10.6.3. ESPESOR DEL METAL DEPOSITADO

El espesor de un depósito galvánico sobre la superficie catódica está dado por:

$$s = \frac{E_q \cdot I \cdot t \cdot \eta}{\alpha \cdot d} \quad (\text{Ec. 1.9})$$

Sobre un dm^2 de superficie tenemos que:

$$s = \frac{G}{\alpha \cdot d} \quad (\text{Ec. 1.10})$$

Dónde:

s = Espesor del recubrimiento (mm)

G =Cantidad del recubrimiento (gr)

α = Superficie catódica (dm^2)

d = Peso específico del metal depositado (gr/cm^3)

1.10.7. RENDIMIENTO DE LAS ELECTRODEPOSITACIONES

“Para el cálculo de los rendimientos, se va a tomar como ejemplo los procesos electroquímicos de depositación por reducción que tienen lugar en el cátodo, sin minimizar la importancia que tienen las electrodeposiciones que se pueden presentar en el ánodo.

En el cátodo a más de la depositación del metal se presentan a menudo procesos secundarios, que se relacionan con el desprendimiento de hidrógeno, la reducción de metales a valencias más bajas como ocurre con el hierro que pasa de valencia (III) a valencia (II), así como la reducción de sustancias orgánicas que caen al electrolito. Como resultado de aquello la cantidad total de electricidad que se ha utilizado en la depositación de la sustancia principal, es superior a la cantidad de electricidad calculada de acuerdo a los principios de la Ley de Faraday.

Expresado de otra manera la cantidad de sustancia principal depositada en el cátodo no corresponde a la cantidad de corriente que ha circulado a través del sistema electroquímico, presentándose por lo general que la cantidad de sustancia electrodepositada en la práctica es siempre menor a la que se debería esperar teóricamente calculada en concordancia a la Ley de Faraday.”¹⁷

¹⁷MOREANO, S., Electroquímica Texto Básico., 2000., Pp. 23.

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2. PARTE EXPERIMENTAL

Este estudio se realizó en base a parámetros de diseño establecidos en la literatura como son el control de variables dentro del proceso de electrodeposición, siendo las mismas elconcentración, voltaje, tiempo y temperatura, pues son las variables más fáciles de controlar a nivel de laboratorio.

La parte experimental consta de dos etapas: la una se refiere a la determinación de las variables dentro del proceso, la otra consiste en la obtención de datos válidos para obtener las debidas conclusiones con respecto a la influencia de cada una de las variables dentro del proceso. Complementario a esto se considera la construcción de una cámara – campana extractora de gases ya que los humos que se generan son tóxicos.

2.1.MUESTREO

Se va a emplear un muestreo sistemático, es decir programado en base a mediciones de las variables que se encuentran involucradas dentro del proceso, lo cual lo realizaremos para cada uno de los baños electrolíticos.

Un modelo para la recolección de datos se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 2.1Tabla de registro de datos.

Baño :

pH:

Densidad:

Variable:

Número de probeta	Peso inicial m_1 (gr)	Superficie catódica α (dm ²)	Tiempo t (h)	Temperatura T (°C)	Voltaje (V)	Intensidad I (Amp)	Densidad de corriente D (Amp/dm ²)	Peso final m_2 (gr)	Peso del depósito G (gr)	Rendimiento del baño η	Espesor del depósitos (mm)

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

2.1.1. FRECUENCIA Y NÚMERO DE MUESTRAS

Se tomarán varias muestras para los tres procesos: cincado, cobreado y niquelado, mismas que estarán sometidas a distintas condiciones de voltaje, temperatura y tiempo; con el fin de establecer las condiciones más óptimas para obtener el mejor rendimiento electrolítico en cada proceso.

2.1.2. DIAGNÓSTICO

El problema de la corrosión dentro del área industrial es cada día más perjudicial especialmente en el ámbito económico, ya que los daños causados por éste proceso conlleva a la sustitución de equipos, máquinas y otros.

Es por esta razón que se ha visto la necesidad, como estudiantes de la Escuelade Ingeniería Química de conocer acerca de este campo para controlar el proceso de desgaste de materiales y apoyar laoptimización de los mismos en base a pruebas de cincado, cobreado y niquelado mismos que son considerados recubrimientos electrolíticos.

Para lograr este estudio se ha diseñado y construido una planta piloto para recubrimientos metálicos,se ha logrado analizar las variables más sobresalientes (concentración, temperatura, tiempo y voltaje) mismas que son necesarias para obtener un buen resultado en la protección de los materiales. En base al presente proyecto se logrará poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos por los estudiantes dentro del área de Electroquímica y Corrosión.

2.2.METODOLOGÍA

2.2.1. MÉTODOS Y TÉCNICAS

2.2.1.1. MÉTODOS

En todo proceso de diseño se requiere procedimientos que son formulados de una manera lógica para la adquisición de información y cumplimiento de objetivos. Este estudio tiene carácter experimental de tal forma que permita responder a las interrogantes que se presentan, producto del proceso propio de recubrimientos electrolíticos como su aplicación en el campo industrial, seleccionando los medios más adecuados.

a) INDUCTIVO

Partiendo del diagnóstico que el proceso permite alargar la vida útil y apariencia de los metales, como también del conocimiento de recubrimientos electrolíticos. Para posteriormente determinar las variables de proceso y realizar la caracterización de los materiales, luego de lo cual se procedió a realizar los cálculos de los valores correspondientes al diseño de la planta piloto para su posterior construcción y finalmente la verificación de su funcionamiento.

b) DEDUCTIVO

En el desarrollo del estudio se parte de fundamentos y principios de la Electroquímica y la Corrosión, cuya aplicación nos permite determinar diferentes parámetros necesarios dentro

del diseño y construcción de la planta piloto de recubrimientos, mediante la selección adecuada de los materiales y su respectivo dimensionamiento, lo cual, es de gran ayuda para obtener los cálculos necesarios y la determinación de las variables del proceso con el fin de lograr un diseño apropiado.

c) EXPERIMENTAL

Los métodos utilizados dentro de esta investigación son gravimétricos, volumétricos y físico-químicos.

- Los métodos gravimétricos se basan en la determinación de pesos de las probetas o piezas antes y después del proceso electrolítico.
- Los métodos volumétricos se basan en la determinación de volúmenes para la preparación de baños electrolíticos.
- Los métodos físico-químicos miden las propiedades básicas de los baños a utilizar como el pH, densidad y temperatura.
- Dentro del área experimental también tenemos los ensayos a realizar con los diferentes baños lo cual nos servirá para determinar la eficiencia de cada uno de ellos como también para la validación de la hipótesis planteada.

2.2.1.2. TÉCNICAS

Tabla 2.2 Determinación de la densidad de los baños electrolíticos

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
La densidad de un fluido se define como el cociente de su masa entre el volumen que ocupa.	<ul style="list-style-type: none"> Picnómetro de 10ml. Balanza analítica. 	<ul style="list-style-type: none"> Baño para cobreado ácido (0,1; 0,2; 0,8M). Baño para cobreado alcalino. Baño para niquelado. Baño para cincado. 	<ul style="list-style-type: none"> Pesar el picnómetro completamente limpio y seco. Luego, evitando la formación de burbujas de aire, llenarlo con cada uno de los baños electrolíticos, después colocar la tapa. Pesar el picnómetro lleno con la solución electrolítica. Calcular la masa de la solución electrolítica contenida en el picnómetro, restando la masa del picnómetro vacío, de la masa del picnómetro lleno. Realizar el cálculo pertinente y determinar la densidad conociendo el volumen del picnómetro. 	$\rho = \frac{g}{v} \text{ (gr/ml)}$ $\rho = \frac{m_2 - m_1}{v}$ <p>Dónde:</p> <p>ρ = densidad del fluido.</p> <p>g = masa de fluido electrolítico (gr)</p> <p>m_1 = peso del picnómetro vacío (gr)</p> <p>m_2 = peso del picnómetro con el fluido electrolítico (gr)</p> <p>v = volumen del picnómetro utilizado (ml)</p>

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

Tabla 2.3 Determinación del potencial de hidrógeno pH de los baños electrolíticos

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>El pH es el parámetro que nos indica la alcalinidad o acidez de una sustancia, en un escala numérica de 1 a 14. Si la sustancia es ácida el pH es menor a 7, si es básica mayor a 7, si es igual a 7 es neutro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Papel Tornasol • Vaso de precipitación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baño para cobreado ácido(0,1; 0,2;0,8M) • Baño para cobreado alcalino • Baño para niquelado • Baño para cincado 	<ul style="list-style-type: none"> • Verter una pequeña muestra de cada baño en un vaso de precipitación. • Sumergir una tira de papel tornasol en cada muestra. • Comparar la coloración obtenida en el papel con el muestrario de colores y determinar su valor. 	<p>Lectura directa</p>

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

2.3. DATOS EXPERIMENTALES

2.2.2. DENSIDAD DE LAS SOLUCIONES DE SULFATO DE COBRE

Tabla 2.4 Densidad de las soluciones preparadas.

Concentración (M)	Volumen del picnómetro v(ml)	Peso del picnómetro vacío. m ₁ (gr)	Peso del picnómetro con solución m ₂ (gr)	Peso de la solución m=m ₂ -m ₁ (gr)	Densidad de la solución. $\rho = \frac{g}{v}$
0,1	10	13,1732	23,8449	10,672	1,0672
0,2	10	13,1732	24,8020	11,629	1,1629
0,8	10	13,1732	24,9972	11,824	1,1824

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

2.2.3. DENSIDAD DE LOS BAÑOS ELECTROLÍTICOS.

Tabla 2.5 Densidad de los baños utilizados.

Baños para	Volumen del picnómetro v(ml)	Peso del picnómetro vacío m ₁ (gr)	Peso del picnómetro con solución m ₂ (gr)	Peso de la solución m=m ₂ -m ₁ (gr)	Densidad de la solución $\rho = \frac{g}{v}$
Cobre Alcalino	10	13,1496	24,7945	11,6449	1,16449
Niquelado	10	13,1496	25,8502	12,7006	1,27006
Cincado	10	13,1496	25,4935	12,3439	1,23439

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

2.3.2.4. DATOS ADICIONALES.

2.3.1. POTENCIAL DE HIDRÓGENO DE LAS SOLUCIONES DE SULFATO DE COBRE

Tabla 2.6 pH de las soluciones preparadas

Concentración. (M)	pH.
0,1	4
0,2	3
0,8	1

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012.

2.3.2. POTENCIAL DE HIDRÓGENO DE LOS BAÑOS ELECTROLÍTICOS.

Tabla 2.7 pH de los baños utilizados.

BAÑOS	pH.
Cobre Alcalino	13
Niquelado	7
Cincado	14

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012.

CAPÍTULO III

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA PILOTO PARA RECUBRIMIENTOS METÁLICOS.

3.1.GENERALIDADES.

Para el diseño y construcción de la planta piloto se toma en consideración varios parámetros entre ellos tenemos: el espacio físico con que contamos; el número, capacidad y distribución de las cubas dentro de la planta y las condiciones requeridas por cada uno de los baños electrolíticos; entre otros.

Para el diseño de la campana de absorción de gases se considera la potencia del ventilador, los accesorios y el área de la mesa porta cubas. Para calcular todos estos datos se comenzó con los parámetros conocidos: las concentraciones de los baños, el pH de cada uno de ellos y el área de las probetas a recubrir.

En cuanto al espacio físico con el que contamos para la instalación de nuestra planta disponemos de un espacio físico de aproximadamente $2m^2$, que se encuentran en el laboratorio de Físico-Química, perteneciente a la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Se ha seleccionado ésta ubicación porque cuenta con un espacio, cuyas dimensiones son adecuadas para poder realizar con amplitud todas las operaciones, además de ventanales que darán una buena ventilación y ayudarán a la campana de aspiración a eliminar las emanaciones de gases nocivos provenientes de los baños. También se cuenta con una instalación de agua, necesaria para las operaciones de

enjuague y limpieza de piezas, igualmente disponemos de energía eléctrica de 110 voltios para el rectificador y el ventilador.

3.2. CÁLCULOS

3.2.1. PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES

a) SOLUCIÓN DE 1 LITRO DE SULFATO DE COBRE 0,1 M

$$\text{Cu} = 63,54$$

$$\text{S} = 32,064$$

$$\text{O} = 15,9994$$

$$\text{H} = 1,00797$$

$$\text{PM del CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 249,6783 \text{ gr/mol.}$$

$$\frac{0,1\text{mol}}{1} \times \frac{249,6783\text{gr}}{\text{mol}} \times \frac{1\text{ l}}{1000\text{ml}} \times 1000\text{ml} = 24,968 \text{ grCuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$$

b) SOLUCIÓN DE 1 LITRO DESULFATO DE COBRE 0,2 M.

$$\frac{0,2\text{mol}}{1} \times \frac{249,6783\text{gr}}{\text{mol}} \times \frac{1\text{ l}}{1000\text{ml}} \times 1000\text{ml} = 49,936 \text{ gr CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$$

c) SOLUCIÓN DE 1 LITRO DESULFATO DE COBRE 0,8 M.

$$\frac{0,8\text{mol}}{\text{L}} \times \frac{249,6783\text{g}}{\text{mol}} \times \frac{1\text{ l}}{1000\text{ml}} \times 1000\text{ml} = 199,743 \text{ g CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$$

3.2.2. CAPACIDAD MÁXIMA DE LAS CUBAS

Para determinar la capacidad máxima de las cubas que utilizaremos recurrimos a la siguiente fórmula:

$$v = h_a \times L \times a \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Dónde:

v = Volumen máximo de la cuba (m^3).

h_a = Altura de la cuba (m).

L = Largo de la cuba (m).

a = Ancho de la cuba (m).

En el Anexo19(Plano 2 de 5) se puede apreciar las medidas de las cubas que se usarán en la planta piloto, con estos datos podemos calcular la capacidad máxima que tendrán las cubas:

$$v = 0,14 \times 0,225 \times 0,112$$

$$v = 3,528 \times 10^{-3} \text{m}^3 (3,528 \text{ l})$$

Para una mayor comodidad se tomará como capacidad máxima de las cubas 3,5 litros.

3.2.3. CAPACIDAD DE VENTILACIÓN DEL SISTEMA

La cantidad de caudal de aire (Q) y la velocidad de caudal (ϑ), están relacionadas mediante la siguiente ecuación:

$$Q = A \cdot \vartheta \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Dónde:

Q = Caudal de aire (pie³/min).

A = Sección a través de la cual corre el aire (pie²).

ϑ = Velocidad (pie/min).

El aire al moverse a una velocidad específica, crea una diferencia de presión en la misma dirección del aire, la misma que debe guardar relación con la velocidad. Esta diferencia de presión, llevará el aire desde las aberturas de captación al punto de descarga final; pasando por las canalizaciones y diferentes elementos, por lo que la presión debe vencer todas las pérdidas de carga que se produzcan en el recorrido, incluidas las de la turbulencia que generalmente se producen en las aberturas.

Considerando que el sistema va a cubrir toda la mesa porta cubas y que el espacio donde están las cubas en las que se realizará el tratamiento superficial propiamente dicho se

encuentra en el centro de la mesa nos interesa primordialmente, que la velocidad de aspiración en el centro del sistema sea más fuerte que en los costados, y es lo que ventajosamente ocurre en este tipo de sistema.

Tomando como dato referencial el valor de 0,40m/s (78,744 pie/min), dado por la mayoría de libros para la emisión de gases en este tipo de baños electrolíticos y considerando además, a la superficie de la mesa, como si fuera la superficie del baño calculamos un caudal ideal de emisión de gases mediante la aplicación de la Ec.3.2.

En el Anexo 19(Plano 3 de 5) encontramos las dimensiones de la mesa porta cubas, las cuales nos ayudarán a calcular el área total de la mesa, cuyo valor corresponde 0,9 m²(9,688 pie²) por lo tanto:

$$Q = 9,688 \times 78,744$$

$$Q = 762,872 \text{ pie}^3/\text{min} \text{ (1295,938 m}^3/\text{h)}$$

Este sería, el caudal de desprendimiento de gases para la velocidad referida considerando que la superficie de la mesa es la superficie del baño.

Las normas de higiene para locales industriales, en los diferentes países, establecen la concentración máxima permisible para los gases, vapores y polvos contenidos en el aire de las zonas de trabajo de los talleres y sitios similares. Para nuestro caso, el valor máximo permisible, o lo que es lo mismo, el límite crítico para concentración de vapores de cianuros (como HCN) es de 4,7 mg/m³ (TLV) y para compuestos de níquel es de 0,1mg/m³, valores que se pueden ver en el Anexo3.

No existiendo otras diferencias fundamentales entre humos y polvos, y conociendo que los vapores y neblinas, que son generalmente gotitas de líquido en suspensión en el aire, se comportan cuando se depositan igual que polvos de la misma forma y tamaño. Se conviene por lo tanto, que para dejar en el límite, o mejor bajo este límite permitido la concentración; el caudal de aire necesario o requerido, se calcula en función de valores de velocidades, las mismas que deben ser superiores a las velocidades de depositación de las diferentes partículas de los polvos y vapores que se quieran extraer. Estas velocidades, cuyos valores numéricos, han sido sacadas en base a experimentos bajo las consideraciones anteriores; están dados en el Anexo 2.

Para talleres electrolíticos, tenemos una velocidad mínima recomendada de 0,75 m/s a la entrada de la campana, valor que multiplicado por el área considerada ($0,9 \text{ m}^2$) nos da un valor de caudal de $2430 \text{ m}^3/\text{h}$ (1430,453 CFM), valor que representa, casi el doble del caudal ideal calculado para esta emisión de gases, esto si se fuera a utilizar solamente campana.

Se puede por este procedimiento, llegar a determinar el caudal necesario de extracción; sin embargo, en el cálculo del caudal en el sistema de extracción de la planta, tomaremos los valores que se recomienda para sistemas similares al de la planta y que tratan con gases de las mismas características de los que usaremos en el desarrollo de las prácticas.

Para materiales tóxicos y corrosivos, está recomendado un volumen de aspiración cuyo valor está entre 100 y 150CFM/pie de superficie de puerta abierta. Si tomamos el valor promedio, o sea 125 CFM/pie de superficie de puerta abierta, que corresponde al valor

recomendado para materiales que están entre moderados y altamente tóxicos, y lo multiplicamos por la superficie de abertura máxima de la puerta, que en nuestro caso es de $0,314 \text{ m}^2$ ($3,380 \text{ pie}^2$), valores que se muestran en el Anexo 19(Plano 4 de 5), obtenemos el caudal máximo que se requiere para extraer los valores de la cámara mediante la relación:

$$Q = Q' \times A' \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Dónde:

Q' = Caudal/pie cuadrado de superficie (CFM/ pie^2)

A' = Superficie de abertura máxima de la compuerta (pie^2).

$$Q = 125 \times 3,380$$

$$Q = 422,500 \text{ CFM } (0,20 \text{ m}^3/\text{seg})$$

Este es el valor del caudal que por recomendaciones necesitamos para que el sistema pueda extraer los gases que se emitan, ya sea por calentamiento o por reacciones químicas que se produzcan al realizar las diferentes etapas en las prácticas.

3.2.4. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL CONDUCTO

Conociendo el caudal de aire que necesita el sistema y que es el mismo que circulará por los conductos, se pasa a calcular el diámetro del conducto, teniendo como limitante el valor que recomiendan (1000 – 2000FPM) para la velocidad dentro de la canalización. Además se debe tomar muy en cuenta que la presión de velocidad en las bocas de expulsión, debe tener un valor capaz de vencer la presión de velocidad promedio máxima del viento en el medio circundante (en nuestro medio la velocidad máxima del viento es aproximadamente de 5,6m/s).

Asumiendo un valor para la velocidad de 1800 FPM (9,143 m/s), hallamos el área tentativa del conducto así:

$$A = \frac{Q}{v} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

$$A = \frac{422,50}{1800}$$

$$A = 0,235 \text{ pie}^2 (0,022\text{m}^2)$$

Pero el área viene dada también en función del diámetro mediante la relación:

$$A = \frac{\pi\phi^2}{4} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Dónde:

ϕ = Diámetro del conducto (pie).

A= Área de la sección transversal del ducto (pie^2).

Despejando d obtenemos la fórmula para el diámetro, así:

$$\phi = 1,128\sqrt{A} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Reemplazando valores en la Ec.3.6obtenemos el valor del diámetro, para la velocidad asumida y el caudal de recomendación, entonces:

$$\phi = 1,128\sqrt{0,235}$$

$$\phi = 0,546 \text{ pies (6,552 plg)}$$

Este es, por lo tanto el diámetro del ducto que tenemos que ubicar en el mercado; o al menos tratar en lo posible de que su valor se aproxime al valor del cálculo.

3.2.4.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS

Con el valor del diámetro calculado, en catálogos se selecciona el tipo de tubería y accesorios más adecuados, según sean los requerimientos del sistema. Además, como el sistema de la planta no va a soportar presiones elevadas y la red de canalizaciones tiene una longitud relativamente corta se puede tomar una tubería de presión o tubería para desagüe, dependiendo la elección de cualquiera de ellas de su existencia en el mercado.

En el mercado no encontramos tuberías del diámetro igual a 6,552 plg es por esto que decidimos usar tuberías y accesorios de 8 plg de diámetro. Este nuevo valor del diámetro de ducto, obliga a realizar un recálculo del valor de la velocidad dentro de la canalización. Así para el mismo caudal 422,50CFM y para el diámetro de 8 plg, tenemos que la velocidad despejando de la Ec.3.4, con el área en función del diámetro, es:

$$\vartheta = 4 \times \frac{Q}{\pi \phi^2} \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Donde reemplazando datos, tenemos que:

$$\vartheta = \frac{4 \times 422,50}{\pi \left(\frac{8}{12}\right)^2}$$

$$\vartheta = 1210,373 \text{ FPM (6,148 m/seg)}$$

Que es, el valor real de la velocidad recalculada y definitiva que tendrá el sistema dentro de la canalización el mismo que se utilizará en lo que sigue, para los cálculos posteriores.

3.2.4.2. DISTRIBUCIÓN DE DUCTOS

Para realizar la distribución de ductos, se tienen que considerar uno a uno todos los parámetros y factores que más convienen a la planta sin dejar de lado también la estética que es necesaria en cada instalación industrial o laboratorio. En la planta, como la instalación consta de una sola red de tubería, su distribución se hará siguiendo el perfil exterior del edificio correspondiente al laboratorio de Físico-Química de la Facultad de Ciencias.

3.2.4.3. CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL VENTILADOR

Se calcula la presión total en la descarga del ventilador, cuyo valor se encuentra dado por la fórmula:

$$P_t = P_s + P_V \quad (\text{Ec. 3.8})$$

Dónde:

P_t = Presión total (plg.c.a)

P_s = Presión estática (plg.c.a)

P_V = Presión dinámica o de velocidad (plg.c.a).

De la tabla de presiones dinámicas (Anexo 4), tomamos el valor de $P_V = 2,366 \text{ mm.c.a.}$ ($0,093 \text{ plg.c.a.}$), que corresponde a la velocidad que tiene el sistema y que es de $6,148 \text{ m/s}$, ($1214,373 \text{ FPM}$). Hallamos la pérdida, cuyo valor viene dado por la fórmula:

$$P_e = C_o \times P_V \quad (\text{Ec. 3.9})$$

Dónde:

P_e = Pérdidas en el sistema (plg.c.a.)

C_o = Coeficiente de pérdidas.

Llamando P_{e1} , P_{e2} , y P_{e3} a las pérdidas a la entrada, en la tubería y por accesorios respectivamente, mediante la utilización de la Ec. 3.9 se calculan las pérdidas de cualquier sistema, así para el sistema que estamos considerando tenemos:

- **PÉRDIDAS A LA ENTRADA**

Para la entrada al sistema, con características similares a las mostradas en la tabla 1-7 del Anexo5, se tiene un valor de $C_o = 0,16$ que corresponde a un ángulo de 90° , y un valor de $C_o=1$ recomendado para instalaciones cámara–campana a la entrada del sistema, conociendo el valor de $C_{o\text{total}} = 1,16$ y el valor de $PV=0,094\text{plg.c.a.}$, por la Ec. 3.9 se hallan las pérdidas así.

$$P_e = 1,16 \times 0,093$$

$$P_e = 0,108 \text{ plg. c. a. (2,745 mm. c. a.)}$$

- **PÉRDIDAS EN LA TUBERÍA**

Aquí la resistencia ha sido calculada basada en un coeficiente de pérdidas. En el Anexo 19(Plano 5 de 5) podemos ver las dimensiones de la tubería que se usará en la planta piloto. Para un diámetro de ducto de 8 plg (0,2032 m) y un caudal de 422,50 CFM(0,20 m³/seg), en el gráfico del Anexo6 se lee un valor para la pérdida de carga de 0,31plg.c.a por cada 100 pies de longitud de ducto. Utilizando la fórmula para pérdidas en tubería, cuya relación es:

$$P_{et} = h_e \times L_t \quad (\text{Ec. 3.10})$$

Dónde:

P_{et} = Pérdida de carga por tubería (plg.c.a.)

h_e = Pérdida de carga (plg.c.a /100 pies de tubería).

L_t = Longitud total de la tubería (pies).

Y reemplazando los valores de $h_e = 0,31$ plg.c.a/100pies tubería y $L_t = 1,4$ m (4,593 pies) en la misma, se obtiene el valor para las pérdidas en tubería P_{e2} así:

$$P_{e2} = (0,31/100) \times 4,593$$

$$P_{e2} = 0,014 \text{ plg. c. a. (0,362 mm. c. a.)}$$

- **PÉRDIDAS POR ACCESORIOS**

El coeficiente de pérdidas para codo estándar roscado de 90°, cuyas dimensiones se observan en el Anexo 19 (Plano 5 de 5), se puede hallar mediante la siguiente fórmula:

$$C_o = \frac{C_{o1}}{N_R} + C_{o2} \left(1 + \frac{1}{\phi} \right)$$

Dónde:

C_{o1} y C_{o2} = Constantes

N_R = Numero de Reynolds(394737)

ϕ = Diámetro (Plg)

Los valores de C_{o1} y C_{o2} corresponden a: 800 y 0,4 y se encuentran en la tabla del Anexo7, obteniendo para C_o un valor de 0,45 para codos a 90° roscados.

Ahora, considerando el filtro (malla) como un damper, de la tabla B 7 -3 del Anexo 8, se ha tomado un $C_o = 0,98$ que corresponde a una posici3n de damper cuya relaci3n $h/D = 0,60$ y $A_h/A_o = 0,71$ marca el máximo desplazamiento que tendrá el mismo dentro del sistema.

En nuestro sistema; para un codo a 90° roscado y el filtro tenemos un valor total de $C_o = 1,43$. Conocido este coeficiente y por la Ec. 3.9 se calcula fácilmente las pérdidas por accesorios en el sistema así:

$$P_{e3} = 1,43 \times 0,093$$

$$P_{e3} = 0,133 \text{ plg. c. a. (3,378 mm. c. a)}$$

La suma de estos tres valores de pérdidas o caídas de presi3n (P_{e1} , P_{e2} y P_{e3}), nos da el valor total de la caída de presi3n en el sistema, es decir según esto, la Ec. 3.8 vale también la relaci3n:

$$P_T = P_{e1} + P_{e2} + P_{e3} \quad (\text{Ec. 3.11})$$

D3nde:

P_T = Caída de presi3n total (plg.c.a.)

P_{e1} = Caída de presi3n a la entrada (plg.c.a.)

P_{e2} = Caída de presi3n por tubería (plg.c.a.)

P_{e3} = Caída de presi3n por accesorios (plg.c.a.)

Al reemplazar datos en la Ec3.11tenemos:

$$P_T = 0,108 + 0,014 + 0,133$$

$$P_T = 0,255 \text{ plg. c. a (6,477 mm. c. a)}$$

Resumiendo todo el proceso de cálculo en una tabla, se tiene lo siguiente:

Tabla 3.1 Valores de cálculo de pérdidas.

SECCIÓN	DIÁM. (plg.)	LONG. (Pies)	COEF. DE PÉRDIDAS C_o	VELOC. (Pies/min)	PV (plg.c.a)	P_T (plg.c.a)
Entrada	-	-	0,16	-	-	-
Campana	-	-	1,00	1210,373	0,093	0,108
Conducto	8	4,593	0,31	1210,373	0,093	0,014
Accesorios	8	-	1,43	1210,373	0,093	0,133
PÉRDIDAS DE CARGA TOTALES:						0,255

Fuente:Álvarez A., Chango G. 2012.

Por seguridad, este valor de cálculo se multiplicará por un factor de seguridad de 1,25 es decir, el valor final será de un 25% más del calculado o sea:

$$P_T = 1,25 \times 0,254$$

$$P_T = 0,318 \text{ plg. c. a. (8,065 mm. c. a.)}$$

Por lo tanto, el ventilador se escogerá para proporcionar un volumen de 422,500CFM (0,200 m³/s) venciendo una presión de 0,318 plg. c. a. (8,065 mm. c. a.)

3.2.4.4. SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Con los valores obtenidos, tanto de la presión como del caudal de aire requerido, en catálogos se selecciona el equipo más adecuado para la planta piloto.

Del catálogo de ventiladores S&P seleccionamos el ventilador que necesitamos, correspondiendo al modelo BS-1000, un ventilador centrífugo de álabes curvos adelantados de simple oído de aspiración, mismo que soporta un caudal de hasta 565 CFM y cuyas demás características se muestran en el Anexo 9.

3.2.5. CÁLCULO DEL RENDIMIENTO DEL BAÑO Y ESPESOR DEL DEPÓSITO

3.2.5.1. RENDIMIENTO DEL BAÑO

Por la ecuación Ec.1.4 sabemos que:

$$G = E_q \cdot D \cdot t \cdot \eta \quad (\text{Ec. 3.12})$$

De donde despejando el rendimiento (η) tenemos:

$$\eta = \frac{G}{E_q \cdot D \cdot t} \quad (\text{Ec. 3.13})$$

Los respectivos equivalentes electroquímicos (E_q) se hallan en la tabla del Anexo 10.

3.2.5.2. ESPESOR DEL DEPÓSITO

Por la ecuación Ec. 1.10 sabemos que:

$$s = \frac{G}{\alpha \cdot d} \quad (\text{Ec. 3.14})$$

Los valores que corresponden al peso específico (d) se encuentran en la tabla del Anexo 10.

3.2.5.3. SUPERFICIE O ÁREA CATÓDICA

Se determina mediante la ecuación:

$$\alpha = L \times a \quad (\text{Ec. 3.15})$$

Dónde:

α = Área de la pieza a recubrir (dm^2)

L = Largo de la pieza a recubrir (dm)

a = Ancho de la pieza a recubrir (dm)

3.3.RESULTADOS.

3.3.1. CINCADO.

Tabla 3.2Influencia del voltaje sobre las piezas cincadas.

Baño : De cinc

pH: 7

Densidad: 1,234

Variable: Voltaje

Número de probeta	Peso inicial m_1 (gr)	Superficie catódica α (dm ²)	Tiempo t (h)	Temperatura T (°C)	Voltaje (V)	Intensidad I (Amp)	Densidad de corriente D (Amp/dm ²)	Peso final m_2 (gr)	Peso del depósito G (gr)	Rendimiento del baño η $\eta = \frac{G}{E_q \cdot D \cdot t}$	*Espesor del depósito s (mm)
25	10,5480	0,32	0,0833	18	3	0,27	0,8438	10,5526	0,0046	0,0536	0,0002
26	10,5648	0,32	0,0833	18	4	1,150	3,5938	10,5790	0,0142	0,0389	0,0006
27	10,5804	0,32	0,0833	18	5	1,400	4,3750	10,6160	0,0356	0,0801	0,0016
28	10,5852	0,32	0,0833	18	6	2,050	6,4063	10,6289	0,0437	0,0671	0,0020

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

*Valor teórico calculado mediante la Ec. 3.14 en base a la primera ley de Faraday.

Tabla 3.3 Influencia del tiempo sobre las piezas cincadas.

Baño : De cinc

pH: 7

Densidad: 1,234

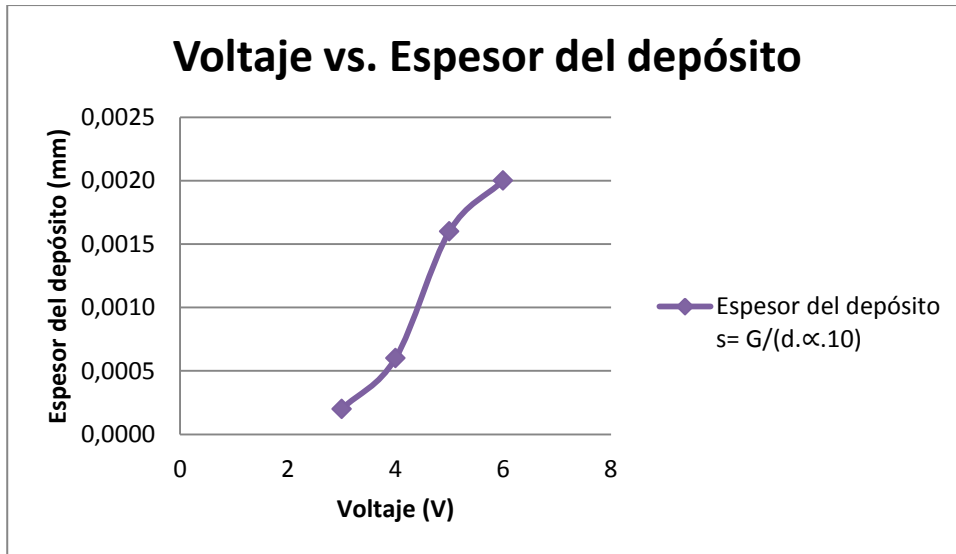
Variable: Tiempo

Número de probeta	Peso inicial m_1 (gr)	Superficie catódica α (dm ²)	Tiempo t (h)	Temperatura T (°C)	Voltaje (V)	Intensidad I (Amp)	Densidad de corriente D (Amp/dm ²)	Peso final m_2 (gr)	Peso del depósito G (gr)	Rendimiento del baño η $\eta = \frac{G}{E_q \cdot D \cdot t}$	*Espesor del depósito s (mm)
30	10,6183	0,32	0,0333	18	5	1,16	3,6250	10,6185	0,0002	0,0014	0,00001
31	10,6195	0,32	0,0833	18	5	1,1500	3,5938	10,6718	0,0523	0,1432	0,00233
32	10,6195	0,32	0,1333	18	5	1,1400	3,5625	10,6873	0,0678	0,1170	0,00303
33	10,6246	0,32	0,2000	18	5	1,1200	3,5000	10,7709	0,1463	0,1762	0,00510

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

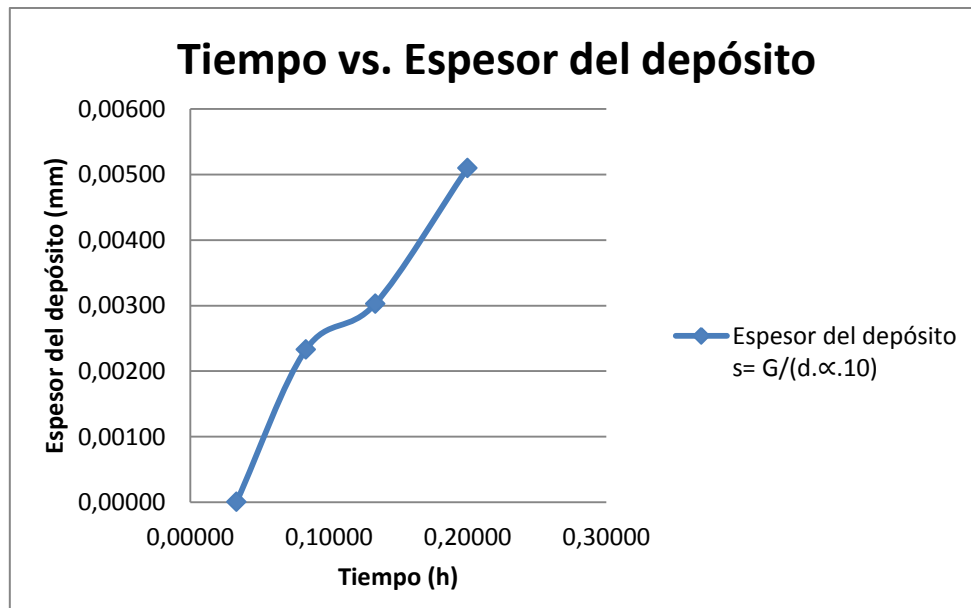
*Valor teórico calculado mediante la Ec. 3.14 en base a la primera ley de Faraday.

Gráfico 1 Influencia del voltaje sobre el espesor del depósito en las piezas cincadas.



Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

Gráfico 2 Influencia del tiempo sobre el espesor del depósito en las piezas cincadas.



Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

3.3.2. COBREADO ÁCIDO 0,1M.

Tabla 3.4 Influencia del voltaje sobre las piezas cobreadas con baño ácido 0,1 M.

Baño : Baño sulfato de cobre 0,1 M **Variable:** Voltaje
pH: 2
Densidad: 1,0672

Número de probeta	Peso inicial m_1 (gr)	Superficie catódica α (dm ²)	Tiempo t (h)	Temperatura T (°C)	Voltaje (V)	Intensidad I (Amp)	Densidad de corriente D (Amp/dm ²)	Peso final m_2 (gr)	Peso del depósito G (gr)	Rendimiento del baño η $\eta = \frac{G}{E_q \cdot D \cdot t}$	*Espesor del depósito s (mm)
7	13,2451	0,4	0,25	18	3	0,146	0,365	13,2886	0,0435	0,4019	0,0012
9	13,2829	0,4	0,25	18	4	0,310	0,775	13,3666	0,0837	0,3642	0,0024
11	13,3373	0,4	0,25	18	5	0,470	1,175	13,4464	0,1091	0,3132	0,0031
12	13,3636	0,4	0,25	18	6	0,520	1,3	13,4905	0,1269	0,3292	0,0036

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

*Valor teórico calculado mediante la Ec. 3.14 en base a la primera ley de Faraday.

Tabla 3.5 Influencia del tiempo sobre las piezas cobreadas con baño ácido 0,1 M.

Baño : Baño sulfato de cobre 0,1 M **Variable:** Tiempo

pH: 2

Densidad: 1,0672

Número de probeta	Peso inicial m_1 (gr)	Superficie catódica α (dm ²)	Tiempo t (h)	Temperatura T (°C)	Voltaje (V)	Intensidad I (Amp)	Densidad de corriente D (Amp/dm ²)	Peso final m_2 (gr)	Peso del depósito G (gr)	Rendimiento del baño η $\eta = \frac{G}{E_q \cdot D \cdot t}$	*Espesor del depósito s (mm)
13	13,3721	0,4	0,1667	18	3,5	0,166	0,415	13,4045	0,0324	0,3950	0,0009
16	13,4196	0,4	0,2500	18	3,5	0,168	0,4200	13,4668	0,0472	0,3790	0,0013
21	13,4404	0,4	0,3333	18	3,5	0,170	0,425	13,5042	0,0638	0,3797	0,0018
23	13,4579	0,4	0,5000	18	3,5	0,178	0,445	13,5695	0,1116	0,4229	0,0031

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

***Valor teórico calculado mediante la Ec. 3.14 en base a la primera ley de Faraday.**

Tabla 3.6 Influencia de la temperatura sobre las piezas cobreadas con baño ácido 0,1 M.

Baño : Baño sulfato de cobre 0,1 M **Variable:** Temperatura

pH: 2

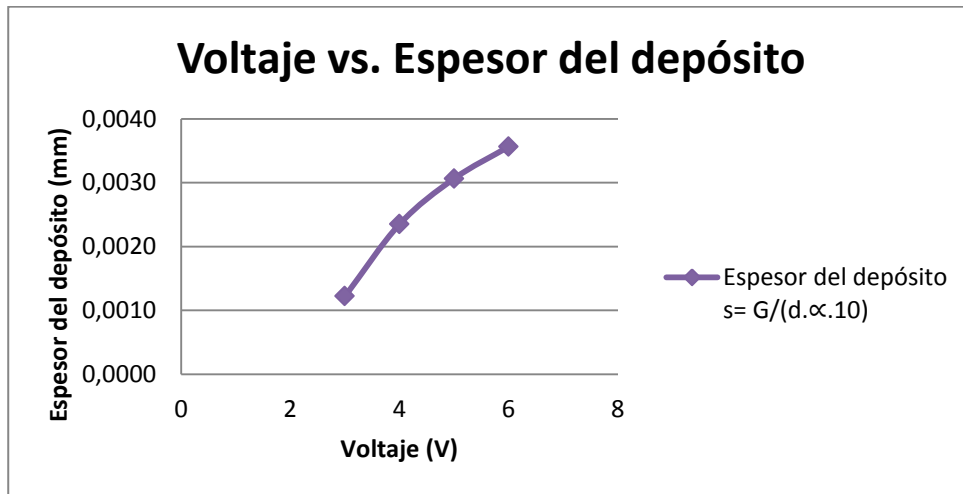
Densidad: 1,0672

Número de probeta	Peso inicial m_1 (gr)	Superficie catódica α (dm ²)	Tiempo t (h)	Temperatura T (°C)	Voltaje (V)	Intensidad I (Amp)	Densidad de corriente D (Amp/dm ²)	Peso final m_2 (gr)	Peso del depósito G (gr)	Rendimiento del baño η $\eta = \frac{G}{E_q \cdot D \cdot t}$	*Espesor del depósito s (mm)
42	13,7545	0,4	0,1667	20	3,5	0,1757	0,43925	13,7917	0,0372	0,4284	0,0010
50	13,8882	0,4	0,1667	25	3,5	0,1800	0,45	13,9418	0,0536	0,6026	0,0015
51	13,9305	0,4	0,1667	30	3,5	0,1800	0,45	13,9667	0,0362	0,4070	0,0010
53	13,9373	0,4	0,1667	40	3,5	0,1800	0,45	14,0096	0,0723	0,8128	0,0020

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

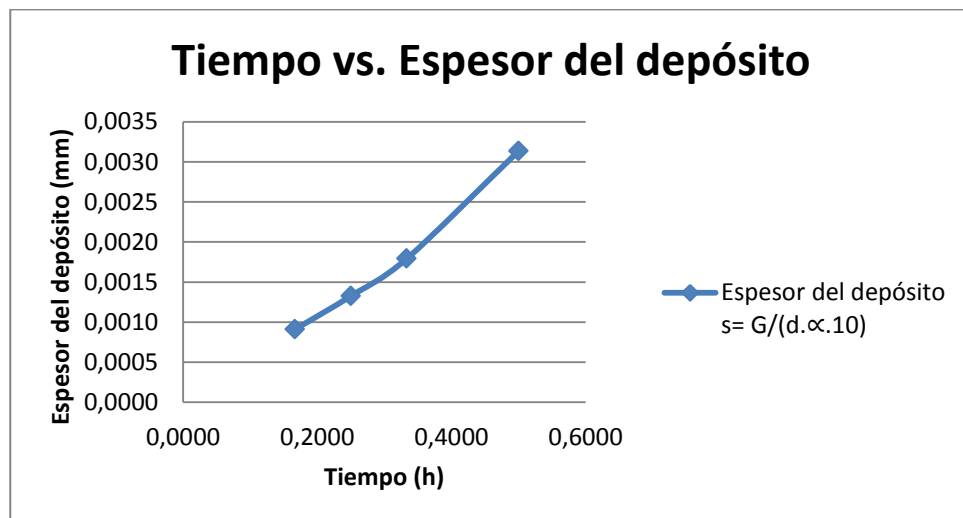
***Valor teórico calculado mediante la Ec. 3.14 en base a la primera ley de Faraday.**

Gráfico 3 Influencia del voltaje sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño ácido 0,1 M.



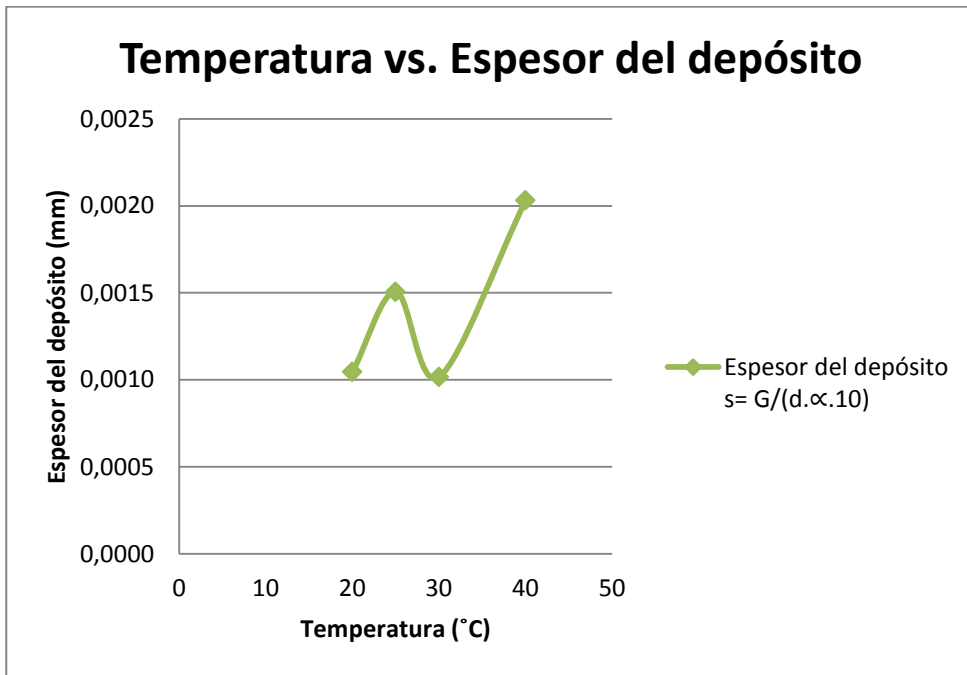
Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

Gráfico 4 Influencia del tiempo sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño ácido 0,1 M.



Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

Gráfico 5 Influencia de la temperatura sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño ácido 0,1 M.



Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

3.3.3. COBREADO ÁCIDO 0,2 M.

Tabla 3.7 Influencia del voltaje sobre las piezas cobreadas con baño ácido 0,2 M.

Baño : Baño sulfato de cobre 0,2 M **Variable:** Voltaje
pH: 4
Densidad: 1,1629

Número de probeta	Peso inicial m_1 (gr)	Superficie catódica α (dm ²)	Tiempo t (h)	Temperatura T (°C)	Voltaje (V)	Intensidad I (Amp)	Densidad de corriente D (Amp/dm ²)	Peso final m_2 (gr)	Peso del depósito G (gr)	Rendimiento del baño η $\eta = \frac{G}{E_q \cdot D \cdot t}$	*Espesor del depósito s (mm)
31	13,6222	0,4	0,25	18	3	0,147	0,3675	13,6674	0,0452	0,4148	0,0013
34	13,6776	0,4	0,25	18	4	0,190	0,4750	13,7370	0,0594	0,4218	0,0017
37	13,7233	0,4	0,25	18	5	0,450	1,1250	13,8618	0,1385	0,4152	0,0039
40	13,7367	0,4	0,25	18	6	0,520	1,3000	13,8840	0,1473	0,3822	0,0041

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

*Valor teórico calculado mediante la Ec. 3.14 en base a la primera ley de Faraday.

Tabla 3.8 Influencia del tiempo sobre las piezas cobreadas con baño ácido 0,2 M.

Baño : Baño sulfato de cobre 0,2 M **Variable:** Tiempo
pH: 4
Densidad: 1,1629

Número de probeta	Peso inicial m_1 (gr)	Superficie catódica α (dm ²)	Tiempo t (h)	Temperatura T (°C)	Voltaje (V)	Intensidad I (Amp)	Densidad de corriente D (Amp/dm ²)	Peso final m_2 (gr)	Peso del depósito G (gr)	Rendimiento del baño η $\eta = \frac{G}{E_q \cdot D \cdot t}$	*Espesor del depósito s (mm)
18	13,4255	0,4	0,1667	18	3,5	0,168	0,4200	13,4640	0,0385	0,4637	0,0011
56	14,0244	0,4	0,2500	18	3,5	0,175	0,4363	14,0827	0,0583	0,4507	0,0016
57	14,0420	0,4	0,3333	18	3,5	0,171	0,4275	14,1065	0,0645	0,3816	0,0018
60	14,1059	0,4	0,5000	18	3,5	0,170	0,4250	14,2354	0,1295	0,5138	0,0036

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

***Valor teórico calculado mediante la Ec. 3.14 en base a la primera ley de Faraday**

Tabla 3.9 Influencia de la temperatura sobre las piezas cobreadas con baño ácido 0,2 M.

Baño : Baño sulfato de cobre 0,2 M **Variable:** Temperatura

pH: 4

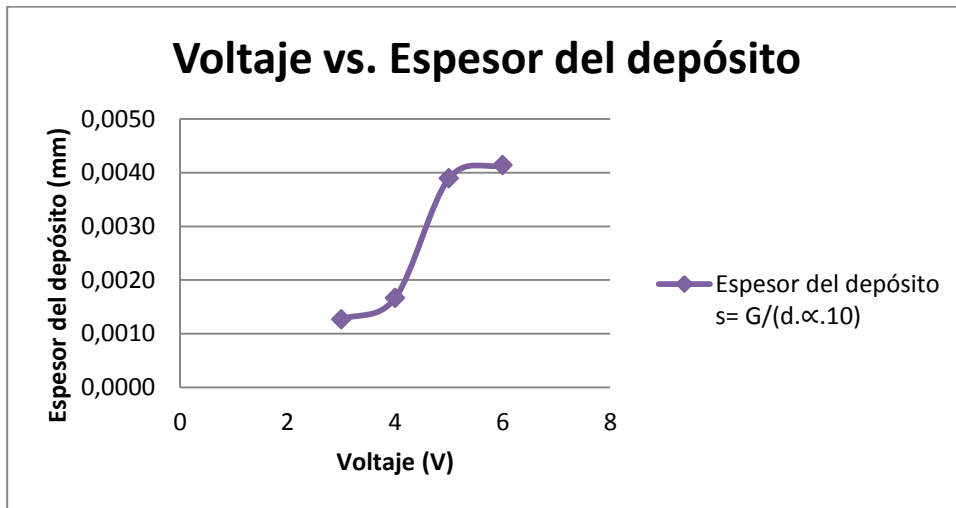
Densidad: 1,1629

Número de probeta	Peso inicial m_1 (gr)	Superficie catódica α (dm ²)	Tiempo t (h)	Temperatura T (°C)	Voltaje (V)	Intensidad I (Amp)	Densidad de corriente D (Amp/dm ²)	Peso final m_2 (gr)	Peso del depósito G (gr)	Rendimiento del baño η $\eta = \frac{G}{E_q \cdot D \cdot t}$	*Espesor del depósito s (mm)
8	13,2616	0,4	0,1667	20	3,5	0,1680	0,420	13,2924	0,0308	0,3710	0,0009
20	13,4401	0,4	0,1667	25	3,5	0,1820	0,455	13,4810	0,0409	0,4548	0,0011
26	13,5531	0,4	0,1667	30	3,5	0,1750	0,438	13,5938	0,0407	0,4706	0,0011
27	13,5589	0,4	0,1667	40	3,5	0,1780	0,445	13,5963	0,0374	0,4252	0,0011

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

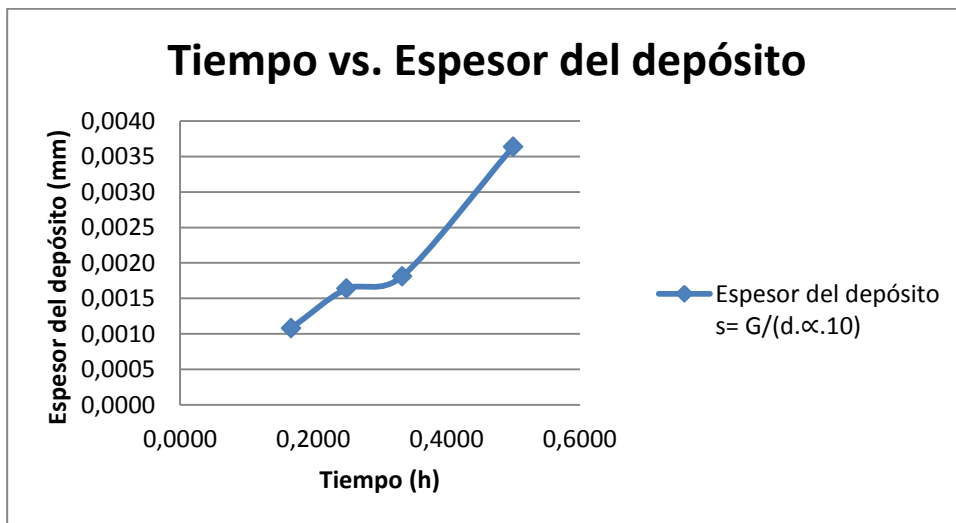
***Valor teórico calculado mediante la Ec. 3.14 en base a la primera ley de Faraday.**

Gráfico 6 Influencia del voltaje sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño ácido 0,2 M.



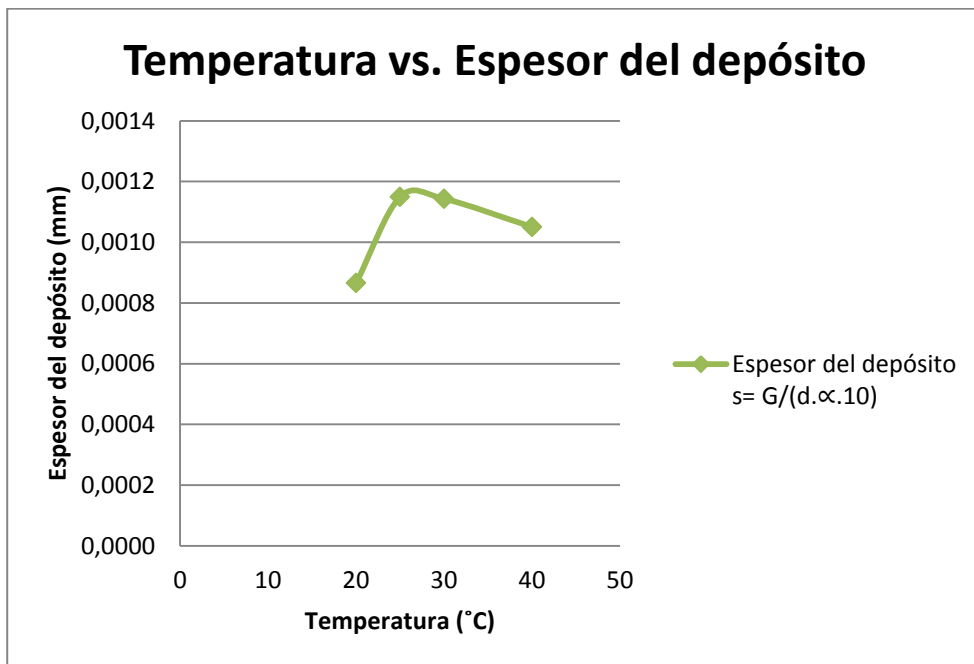
Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

Gráfico 7 Influencia del tiempo sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño ácido 0,2 M.



Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

Gráfico 8 Influencia de la temperatura sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño ácido 0,2 M.



Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

3.3.4. COBREADO ÁCIDO 0,8 M.

Tabla 3.10 Influencia del voltaje sobre las piezas cobreadas con baño ácido 0,8 M.

Baño : Baño sulfato de cobre 0,8 M **Variable:** Voltaje
pH: 1
Densidad: 1,1824

Número de probeta	Peso inicial m_1 (gr)	Superficie catódica α (dm ²)	Tiempo t (h)	Temperatura T (°C)	Voltaje (V)	Intensidad I (Amp)	Densidad de corriente D (Amp/dm ²)	Peso final m_2 (gr)	Peso del depósito G (gr)	Rendimiento del baño η $\eta = \frac{G}{E_q \cdot D \cdot t}$	*Espesor del depósito s (mm)
54	13,9557	0,4	0,1667	18	2	0,179	0,4475	14,0868	0,1311	1,4821	0,0037
55	13,9990	0,4	0,1667	18	3	0,920	2,3000	14,3164	0,3174	0,6981	0,0089
58	14,0693	0,4	0,1667	18	4	1,310	3,2750	14,4618	0,3925	0,6063	0,0110
59	14,0717	0,4	0,1667	18	5	1,320	3,3000	14,8563	0,7846	1,2028	0,0220

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

*Valor teórico calculado mediante la Ec. 3.14 en base a la primera ley de Faraday.

Tabla 3.11 Influencia del tiempo sobre las piezas cobreadas con baño ácido 0,8 M.

Baño : Baño sulfato de cobre 0,8 M **Variable:** Tiempo

pH: 1

Densidad: 1,1824

Número de probeta	Peso inicial m_1 (gr)	Superficie catódica α (dm ²)	Tiempo t (h)	Temperatura T (°C)	Voltaje (V)	Intensidad I (Amp)	Densidad de corriente D (Amp/dm ²)	Peso final m_2 (gr)	Peso del depósito G (gr)	Rendimiento del baño η $\eta = \frac{G}{E_q \cdot D \cdot t}$	*Espesor del depósito s (mm)
32	13,6474	0,4	0,0833	18	2	0,1688	0,4220	13,7444	0,097	2,3257	0,0027
35	13,7019	0,4	0,1667	18	2	0,1710	0,4275	13,9126	0,2107	2,4934	0,0059
38	13,7255	0,4	0,2500	18	2	0,1800	0,4500	14,2925	0,567	4,2496	0,0159
39	13,7324	0,4	0,3333	18	2	0,1820	0,4550	14,4878	0,7554	4,1995	0,0212

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

***Valor teórico calculado mediante la Ec. 3.14 en base a la primera ley de Faraday.**

Tabla 3.12 Influencia de la temperatura sobre las piezas cobreadas con baño ácido 0,2 M.

Baño : Baño sulfato de cobre 0,8 M **Variable:** Temperatura

pH: 1

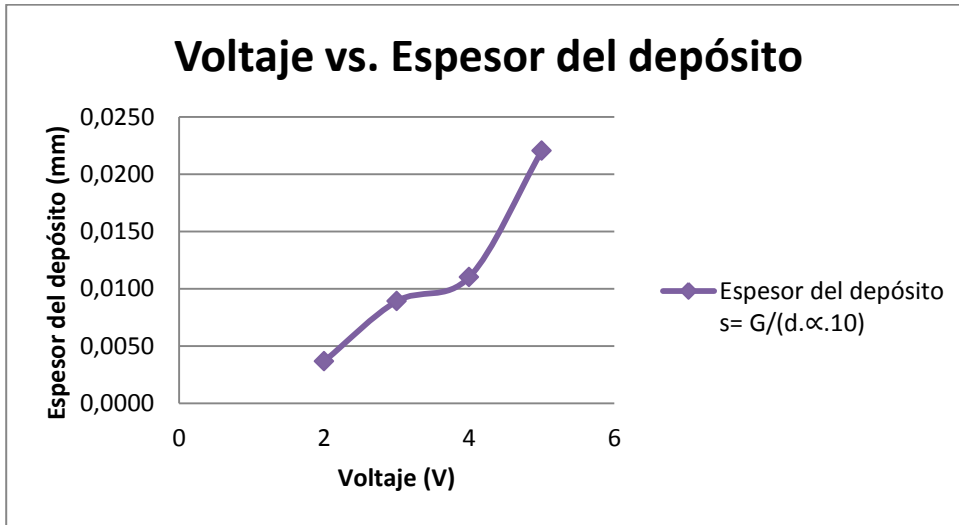
Densidad: 1,1824

Número de probeta	Peso inicial m_1 (gr)	Superficie catódica α (dm ²)	Tiempo t (h)	Temperatura T (°C)	Voltaje (V)	Intensidad I (Amp)	Densidad de corriente D (Amp/dm ²)	Peso final m_2 (gr)	Peso del depósito G (gr)	Rendimiento del baño $\eta = \frac{G}{E_q \cdot D \cdot t}$	*Espesor del depósito s (mm)
44	13,7882	0,4	0,1667	20	2	0,174	0,4350	14,0394	0,2512	2,9214	0,0071
45	13,7931	0,4	0,1667	25	2	0,180	0,4500	14,0420	0,0863	0,9702	0,0024
48	13,8780	0,4	0,1667	30	2	0,182	0,4550	14,2191	0,2201	2,4472	0,0062
61	14,0132	0,4	0,1667	40	2	0,176	0,4400	14,2692	0,1999	2,2984	0,0056

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

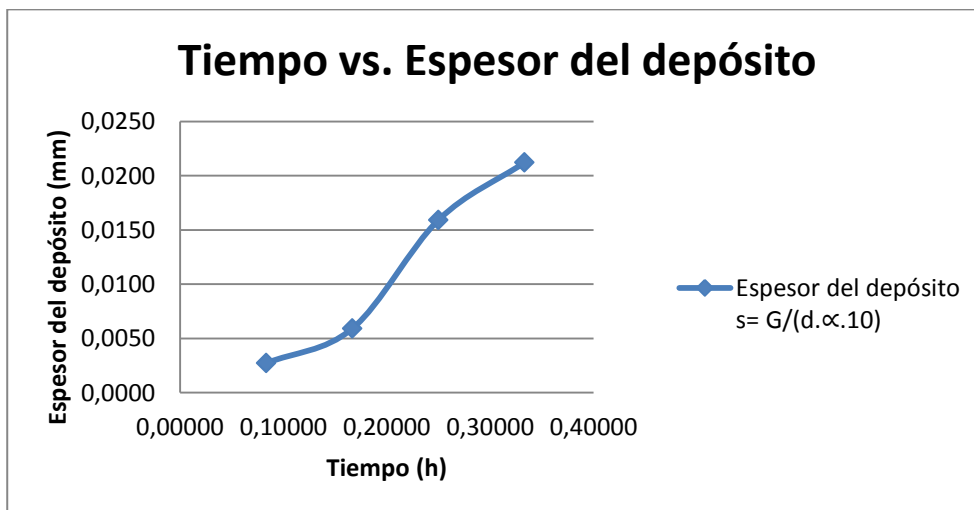
*Valor teórico calculado mediante la Ec. 3.14 en base a la primera ley de Faraday.

Gráfico 9 Influencia del voltaje sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño ácido 0,8 M.



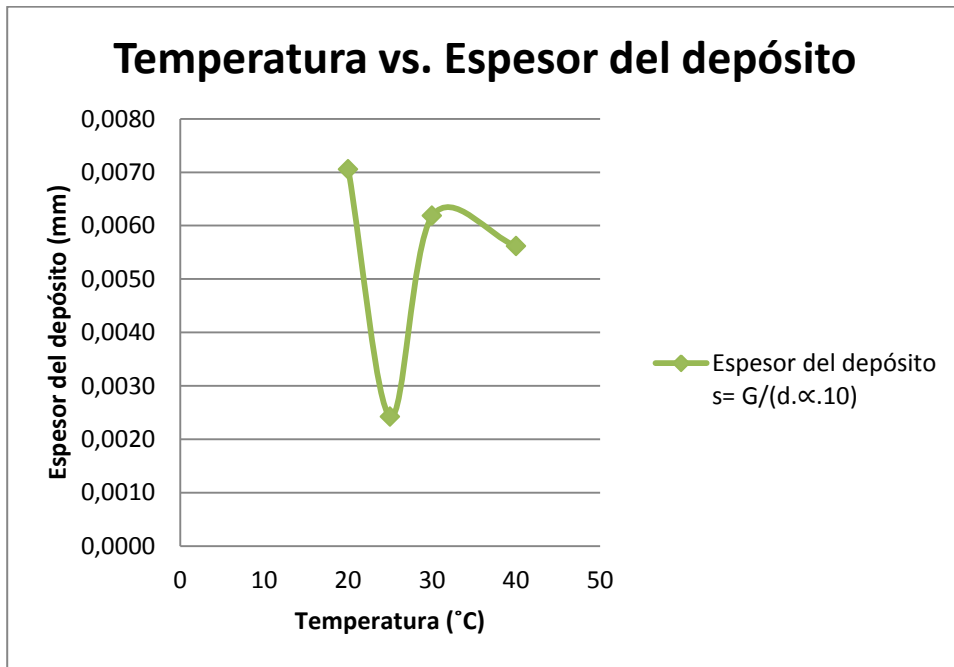
Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

Gráfico 10 Influencia del tiempo sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño ácido 0,8 M.



Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

Gráfico 11 Influencia de la temperatura sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño ácido 0,8 M.



Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

3.3.5. COBREADO ALCALINO

Tabla 3.13 Influencia del voltaje sobre las piezas cobreadas con baño alcalino.

Baño : Cobreado alcalino **Variable:** Voltaje
pH: 13
Densidad: 1,16449

Número de probeta	Peso inicial m_1 (gr)	Superficie catódica α (dm ²)	Tiempo t (h)	Temperatura T (°C)	Voltaje (V)	Intensidad I (Amp)	Densidad de corriente D (Amp/dm ²)	Peso final m_2 (gr)	Peso del depósito G (gr)	Rendimiento del baño η $\eta = \frac{G}{E_q \cdot D \cdot t}$	*Espesor del depósito s (mm)
1	10,1917	0,32	0,0833	18	3	0,27	0,8438	10,2155	0,0238	0,1427	0,0008
2	10,2905	0,32	0,0833	18	4	0,300	0,9375	10,3132	0,0227	0,1225	0,0008
3	10,3001	0,32	0,0833	18	5	0,260	0,8125	10,3337	0,0336	0,2092	0,0012
4	10,3022	0,32	0,0833	18	6	0,310	0,9688	10,3433	0,0411	0,2146	0,0014

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

*Valor teórico calculado mediante la Ec. 3.14 en base a la primera ley de Faraday.

Tabla 3.14 Influencia del tiempo sobre las piezas cobreadas con baño alcalino.

Baño : Cobreado alcalino **Variable:** Tiempo

pH: 13

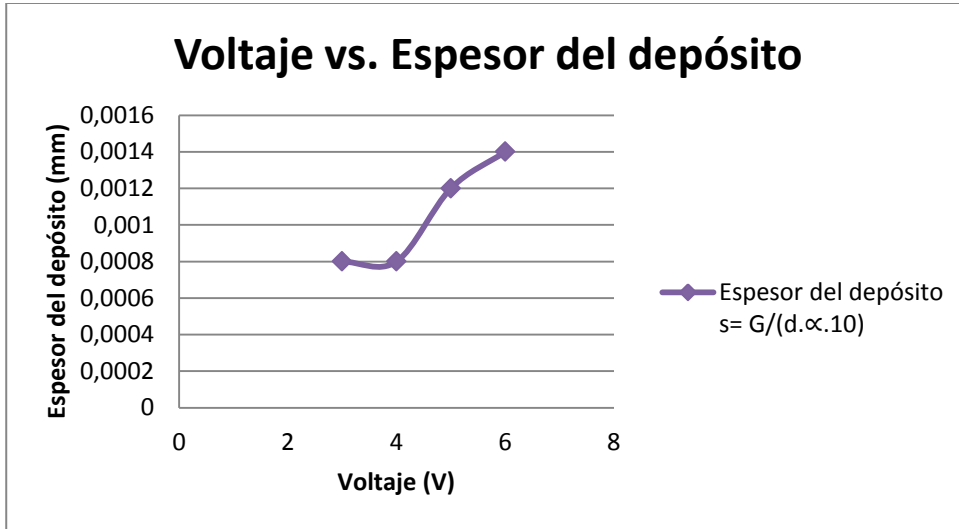
Densidad: 1,16449

Número de probeta	Peso inicial m_1 (gr)	Superficie catódica α (dm ²)	Tiempo t (h)	Temperatura T (°C)	Voltaje (V)	Intensidad I (Amp)	Densidad de corriente D (Amp/dm ²)	Peso final m_2 (gr)	Peso del depósito G (gr)	Rendimiento del baño η $\eta = \frac{G}{E_q \cdot D \cdot t}$	*Espesor del depósito s (mm)
9	10,3695	0,32	0,0500	18	4	0,4100	1,2813	10,3991	0,0296	0,0279	0,0013
10	10,3908	0,32	0,1000	18	4	0,3100	0,9688	10,4421	0,0513	0,0292	0,0027
11	10,3955	0,32	0,1500	18	4	0,1900	0,5938	10,4460	0,0505	0,0414	0,0035
12	10,4061	0,32	0,2500	18	4	0,2900	0,9063	10,4954	0,0893	0,0666	0,0056

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

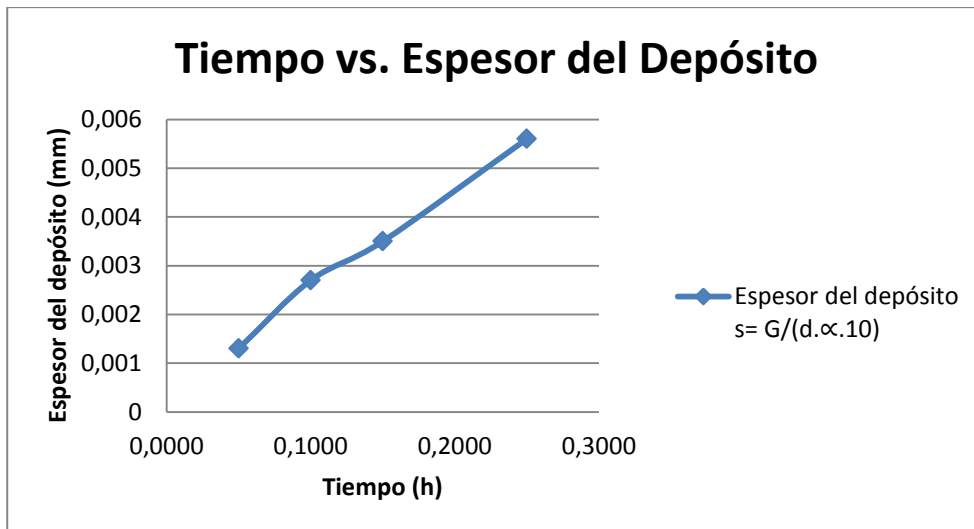
***Valor teórico calculado mediante la Ec. 3.14 en base a la primera ley de Faraday.**

Gráfico 12 Influencia del voltaje sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño alcalino.



Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

Gráfico 13 Influencia del voltaje sobre el espesor del depósito en piezas cobreadas con baño alcalino.



Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

3.3.6. NIQUELADO

Tabla 3.15 Influencia del voltaje sobre las piezas niqueladas.

Baño : De niquelado **Variable:** Voltaje

pH: 7

Densidad: 1,27006

Número de probeta	Peso inicial m_1 (gr)	Superficie catódica α (dm ²)	Tiempo t (h)	Temperatura T (°C)	Voltaje (V)	Intensidad I (Amp)	Densidad de corriente D (Amp/dm ²)	Peso final m_2 (gr)	Peso del depósito G (gr)	Rendimiento del baño η $\eta = \frac{G}{E_q \cdot D \cdot t}$	*Espesor del depósito s (mm)
17	10,505	0,32	0,0833	18	3	0,9	2,8125	10,5796	0,0746	0,3418	0.0026
18	10,5067	0,32	0,0833	18	4	1,460	4,5625	10,6513	0,1446	0,4526	0.0051
19	10,5131	0,32	0,0833	18	5	1,960	6,1250	10,6807	0,1676	0,3654	0.0060
20	10,5177	0,32	0,0833	18	6	2,160	6,7500	10,7059	0,1882	0,3742	0.0067

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

*Valor teórico calculado mediante la Ec. 3.14 en base a la primera ley de Faraday.

Tabla 3.16 Influencia del tiempo sobre las piezas niqueladas.

Baño : De niquelado **Variable:** Tiempo

pH: 7

Densidad: 1,27006

Número de probeta	Peso inicial m_1 (gr)	Superficie catódica α (dm ²)	Tiempo t (h)	Temperatura T (°C)	Voltaje (V)	Intensidad I (Amp)	Densidad de corriente D (Amp/dm ²)	Peso final m_2 (gr)	Peso del depósito G (gr)	Rendimiento del baño η $\eta = \frac{G}{E_q \cdot D \cdot t}$	*Espesor del depósito s (mm)
21	10,5199	0,32	0,0333	18	6	2,06	6,4375	10,62	0,1001	0,4260	0,0036
22	10,5266	0,32	0,0833	18	6	2,5400	7,9375	10,7665	0,2399	0,3312	0,0085
23	10,5467	0,32	0,1333	18	6	2,1500	6,7188	10,8709	0,3242	0,3305	0,0115
24	10,5478	0,32	0,2000	18	6	2,1700	6,7813	11,1330	0,5852	0,3940	0,0208

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

***Valor teórico calculado mediante la Ec. 3.14 en base a la primera ley de Faraday.**

Tabla 3.17 Influencia de la temperatura sobre las piezas niqueladas.

Baño : De niquelado **Variable:** Temperatura

pH: 7

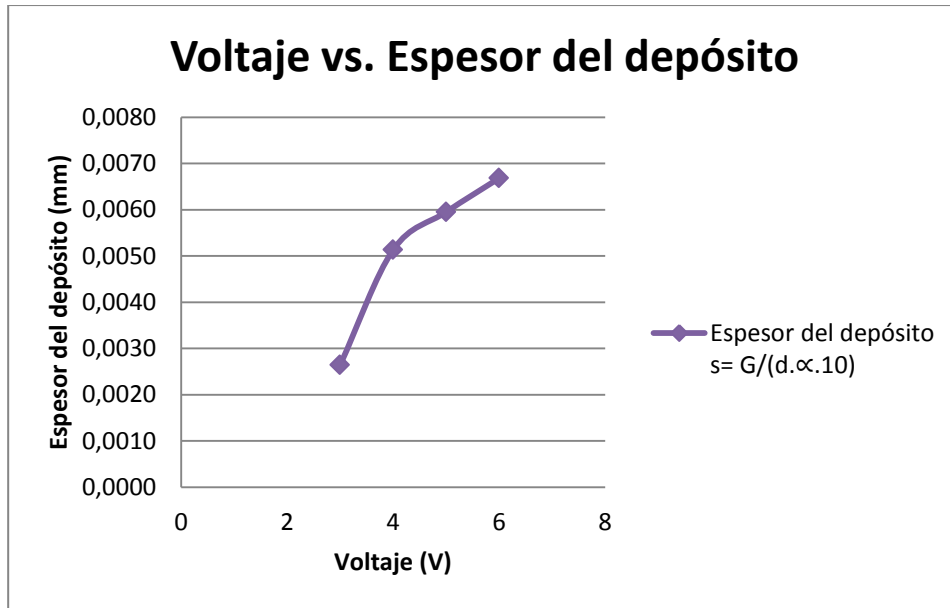
Densidad: 1,27006

Número de probeta	Peso inicial m_1 (gr)	Superficie catódica α (dm ²)	Tiempo t (h)	Temperatura T (°C)	Voltaje (V)	Intensidad I (Amp)	Densidad de corriente D (Amp/dm ²)	Peso final m_2 (gr)	Peso del depósito G (gr)	Rendimiento del baño $\eta = \frac{G}{E_q \cdot D \cdot t}$	*Espesor del depósito s (mm)
13	10,4816	0,32	0,0833	20	6	1,14	2,8500	10,5705	0,0889	0,2907	0,0025
15	10,4847	0,32	0,0833	30	6	1,11	2,7750	10,5993	0,1146	0,3473	0,0033
14	10,4954	0,32	0,0833	40	6	1,700	4,2500	10,6371	0,1417	0,2999	0,0040
16	10,5017	0,32	0,0833	50	6	1,790	4,4750	10,6400	0,1383	0,3387	0,0039

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012.

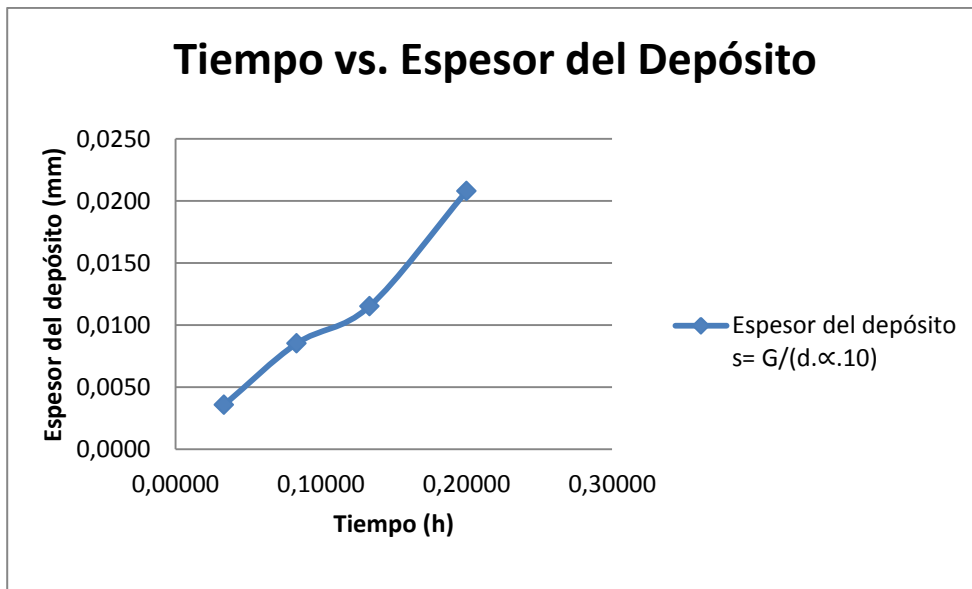
***Valor teórico calculado mediante la Ec. 3.14 en base a la primera ley de Faraday.**

Gráfico 14 Influencia del voltaje sobre el espesor del depósito en piezas niqueladas.



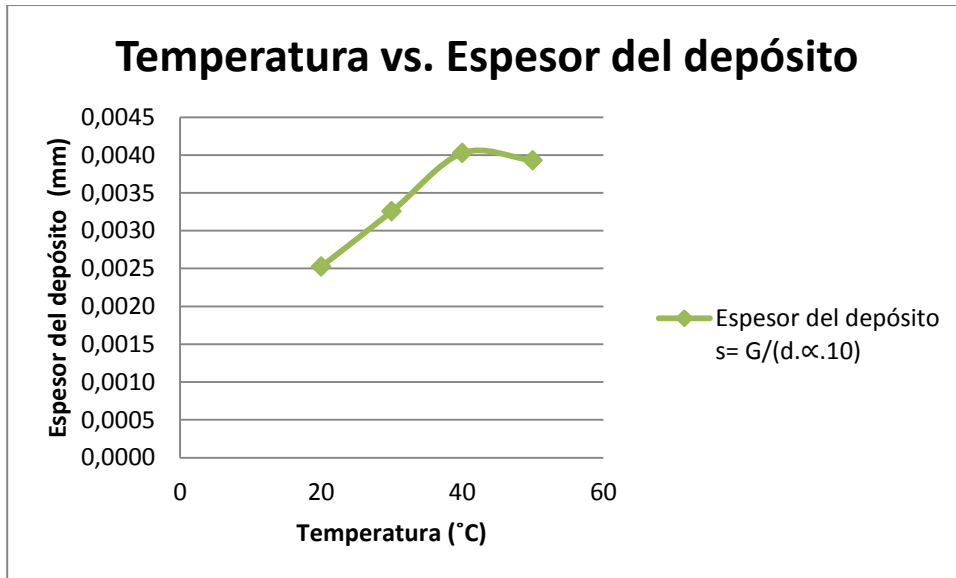
Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

Gráfico 15 Influencia del tiempo sobre el espesor del depósito en piezas niqueladas.



Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

Gráfico 16 Influencia de la temperatura sobre el espesor del depósito en piezas niqueladas.



Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

3.4.PROPUUESTA.

3.4.1. RECTIFICADOR.

En nuestro caso se utilizará un rectificador existente en el laboratorio de Físico-Química de la Facultad, cuyo esquema y dimensiones se muestran en el Anexo 19 (Plano 1 de 5) considerando que no existen especificaciones del mismo, pero se conoce que fue construido con el mismo fin, pues se realizaban pruebas de cromado con él.

Foto 1Rectificador utilizado en la planta piloto.



Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

3.4.2. CALEFACCIÓN.

La calefacción en los baños puede realizarse directamente en los recipientes que los contienen mediante calentadores eléctricos de inmersión. El grado de calefacción necesario en una instalación estará influenciada por:

- ✓ La capacidad de las cubas.
- ✓ Las intensidades de corriente aplicadas.
- ✓ La continuidad en el trabajo.
- ✓ La temperatura ambiente.

Tomando en cuenta todos estos parámetros, dentro de la planta piloto se utilizarán calentadores de inmersión que constan esencialmente de una resistencia eléctrica aislada, cuya temperatura se puede alcanzar de 20°C a 80°C.

3.4.3. BAÑOS ELECTROLÍTICOS.

Para seleccionar los baños electrolíticos que utilizaremos tomamos en consideración los siguientes requerimientos:

- ✓ Las soluciones deben ser conductoras.
- ✓ La sal metálica debe ser bastante soluble para permitir una concentración elevada.
- ✓ Deben resistir a la hidrólisis, a la oxidación y a la reducción.
- ✓ Debe disolver el ánodo.
- ✓ Fácil de adquirir o preparar.
- ✓ Deben ser compatibles con el material a recubrir.

Considerando lo mencionado, hemos creído conveniente comprar baños electrolíticos, pues son más fáciles de adquirir y su rendimiento está comprobado. Por lo tanto usaremos un baño alcalino a base de cianuro para el cobreado, un baño con alto contenido de cloruro para

el niquelado y un baño alcalino a base de cianuro de cinc para el cincado. Las formulaciones se indican en las tablas siguientes:

Tabla 3.18Formulación del baño para cincado usado en la Planta Piloto.

COMPONENTE	CANTIDAD
Cianuro de cinc	33,5 gr/l
Cianuro de sodio	44,5 gr/l
Hidróxido de sodio	80 gr/l
R-Cianuro de sodio/Cinc metal	2,3-2,4
Cinc Glanzer	4-6 ml/l

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012.

Tabla 3.19Formulación del baño alcalino para cobreado usado en la Planta Piloto.

COMPONENTE	CANTIDAD
Cianuro de cobre	63 gr/l
Cianuro de sodio	85 gr/l
Carbonato de sodio	7 gr/l

Fuente: Boletín técnico de la Industria Metalquímica Galvano, 2011

Tabla 3.20Formulación del baño para niquelado usado en la Planta Piloto.

COMPONENTE	CANTIDAD
Sulfato de níquel	240 gr/l
Cloruro de níquel	90 gr/l
Ácido bórico	40 gr/l
Níquel Galva 5000	4 ml/l
Níquel Make Up	20 ml/l
Antipit 230	2 ml/l

Fuente:Boletín técnico de la Industria Metalquímica Galvano, 2011.

Para comprobar la influencia de la concentración en el recubrimiento hemos optado por preparar soluciones de CuSO_4 de varias concentraciones. La identificación de los tipos de baños y sus componentes constituyen un aspecto muy útil para el criterio de selección de las cubas y el diseño del sistema de aspiración.

Foto 2Baños preparados utilizados para la planta piloto.



Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

Foto 3 Preparación de las soluciones de CuSO_4



Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

3.4.4. CUBAS ELECTROLÍTICAS.

Al tratarse en nuestro caso únicamente de una planta piloto utilizaremos cubas de plástico que resisten la acción de los baños que vamos a utilizar, soportan temperaturas de trabajo de hasta 100°C sin sufrir deterioro ni cambio en su forma, además este tipo de material no es conductor de la corriente eléctrica, estas características nos dan la seguridad de que éstas cubas cumplen con los requerimientos que se necesitan para la realización de tipo de trabajo. Las dimensiones y demás características están indicadas en el Anexo19 (Plano 1 de 5).

a) CUBAS DE ENJUAGUE.

Estas cubas sirven para el enjuague que debe realizarse antes y después de cada tratamiento. Como en esta planta el movimiento del material es manual, puede trabajarse

empleando una sola cuba de enjuague para el desengrase y otra para después del proceso de recubrimiento.

Foto 4 Cubas seleccionadas para la planta piloto



Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

3.4.5. ARMADURA DE CONDUCCIÓN.

La sujeción de las piezas y ánodos debe realizarse con cualquier sistema de ajuste. Para el diseño de éste sistema de ajuste llamado bastidor se debe conocer los siguientes datos:

- ✓ Clase de baño a aplicar.
- ✓ Dimensiones útiles de las cubas.
- ✓ Distancias de la barra catódica a la superficie del baño.
- ✓ Separación entre barras catódicas y anódicas.
- ✓ Volumen, geometría y peso de la pieza a tratarse.

En nuestra planta piloto, no es necesario un diseño específico de los bastidores, ya que es una planta piloto y las probetas utilizadas son de geometría simple y de poco peso, por consiguiente, la corriente continua será llevada directamente desde las salidas del

rectificador hacia el ánodo y cátodo respectivamente, mediante alambres de cobre y usando como bastidores lagartos para sujetar el ánodo y cátodo respectivamente. Las dimensiones y características de la armadura de conducción se detallan en el Anexo 19 (Plano 2 de 5).

3.4.6. ÁNODOS

Por cuestiones de factibilidad, se utilizará ánodos solubles para cada proceso, mismos que aportarán a la solución el material necesario para que las sales disociadas en la misma se vuelvan a formar luego de haberse adherido sobre el cátodo sus iones metálicos.

Para las prácticas de cobreado, con baño ácido o alcalino, se usará un ánodo de cobre puro. En el niquelado el ánodo será níquel en estado puro, de igual manera para el cincado se usará cinc puro. Cada uno de ellos con medidas adecuadas de acuerdo a las cubas utilizadas. Para que no se contaminen los baños cada ánodo estará envuelto en papel filtro.

Foto 5 Ánodos usados en la planta piloto



Fuente:Álvarez A., Chango G. 2012

3.4.7. CÁTODOS.

Luego de una ardua investigación bibliográfica y experimental hemos considerado que el material que presenta las mejores características para ser recubierto es el acero A36, cuya composición química se muestran en la tabla 3.21.

Tabla 3.21 Composición química del acero A36.

CALIDAD	C	Mn	P	S	Si	Cu
A – 36	0,25	0,80 – 1,20	0,04	0,05	0,4	0,02

Fuente: <http://www.ipac-acero.com/ipac/plcn001.html>

Se ha creído conveniente usar para este proceso piezas de acero A36 porque a nivel industrial es un material muy utilizado, estas piezas deberán estar lo más limpias posible para obtener un buen recubrimiento, además en vista que el fin es experimental, más no industrial, las piezas tendrán dimensiones pequeñas (8 cm de largo y 4 cm de ancho) y su geometría será sencilla para tener un recubrimiento uniforme.

Foto 6 Cátodos usados en la planta piloto



Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

3.4.8. MESA PORTA CUBAS.

Es la armadura donde se van a colocar las cubas necesarias para el proceso de recubrimiento. Para su diseño y construcción debe reunir las siguientes características:

- ✓ Ser de material no conductor de la electricidad, de fácil limpieza y que no sufra deterioro por la salpicadura de las diferentes sustancias durante el proceso.
- ✓ Tener la estabilidad y fijeza adecuada para que el movimiento no produzca derrames.
- ✓ Sus dimensiones deben facilitar la colocación o el retiro de las cubas según el caso que lo requiera.
- ✓ Facilitar la secuencia del trabajo, con la ubicación adecuada de las cubas, de acuerdo al proceso.

Teniendo en cuenta estos requerimientos se ha diseñado la mesa, cuya forma y dimensiones se indica en el Anexo 19 (Plano 3 de5).

3.4.9. SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE GASES.

Se ha optado por instalar en la planta un sistema que se podría llamar mixto, es decir cámara-campana, utilizado diferentes materiales como: perfiles de aluminio en la estructura de soporte, vidrio y madera para las paredes. Esta construcción se ha hecho tomando en cuenta muchos factores tales como: seguridad, eficiencia, comodidad y facilidad de

obtención de los materiales. Los espesores y medidas de los diferentes elementos de ésta parte del sistema se señalan en el Anexo 19 (Plano 4 de 5).

Foto 7 Ventilador utilizado para la extracción de gases de la planta piloto



Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

3.4.10. CONEXIONES ELÉCTRICAS.

Luego de asesorarnos con expertos en el tema, hemos optado por utilizar cable N°18 para el funcionamiento del ventilador, calentador y rectificador, mientras que para las conexiones del rectificador al ánodo y cátodo se utilizará cable N°20 mismo que ha sido elegido luego de realizar varios ensayos con este cable con resultados satisfactorios. Para medir el voltaje y amperaje se ha optado por instalar dos multímetros digitales y realizar conexiones en serie y en paralelo para medir el amperaje y el voltaje respectivamente.

Foto 8 Amperímetro y voltímetro usados en la planta piloto



Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

Tabla 3.22 Propuesta de diseño.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	OBSERVACIÓN
SISTEMA DE CALEFACCIÓN		
Calentadores sumergibles	2	Calentarán las soluciones de sulfato cúprico y los baños para niquelado
BAÑOS ELECTROLÍTICOS		
Soluciones para cobreado ácido	3	Son soluciones preparadas, cada una de concentración: 0,1; 0,2 y 0,8 M y nos permitirán comprobar la influencia que tiene la concentración sobre los recubrimientos electrolíticos.
Baño alcalino para cobreado	1	Con estos baños se realizarán las diferentes pruebas de laboratorio.
Baño para niquelado	1	
Baño para cincado	1	

CUBAS ELECTROLÍTICAS		
Cubas para el proceso de recubrimiento	3	Una para cada proceso: - Cobreado. - Niquelado. - Cincado.
Cubas de enjuague	2	Una para el lavado previo al proceso y otra para el lavado al final del proceso.
ARMADURA DE CONDUCCIÓN		
Bastidores (lagartos)	8	Sujetarán el ánodo y cátodo respectivamente para cada proceso.
Soporte	1	Permitirá ubicar los electrodos a una distancia de 4cm
ELECTRODOS		
Ánodos	3	Cada uno para: cobreado, niquelado y cincado.
Cátodo	Varios	Piezas de acero de 8 cm de largo y 4 cm de ancho.
MESA PORTACUBAS		
Mesa	1	Dentro de ella se ubica las cubas de acuerdo al proceso que se seguirá (lavado, proceso y enjuague).
SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE GASES		
Cámara	1	La estructura de soporte es de aluminio y las paredes de vidrio y madera.
Campana	1	Construido con acero inoxidable.
Conducto (tubería)	1	Tubos de PVC de 8 plg de diámetro.
Accesorios	1	Codo de 90° y 8 plg de diámetro.
Ventilador	1	Características detalladas en el Anexo 9.
CONEXIONES ELÉCTRICAS		
Cable N°18 y N°20	Varios	Para el funcionamiento de la plana piloto
Multímetro Digital	2	Para medir el amperaje y voltaje con que trabajamos

Fuente: Álvarez A., Chango G. 2012

3.8 ANÁLISIS DE COSTOS

3.8.1. COSTOS DE INVERSIÓN

Los costos de inversión hacen referencia a todos los materiales, equipos adquiridos para la construcción de la Planta Piloto para Recubrimientos Metálicos, además los costos de transporte. En la tabla 3.23 se detalla cada uno.

Tabla 3.23Costos de inversión

DENOMINACIÓN	CANTIDAD	INDICADOR	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL
Baños electrolíticos	4	Galones		100
Calentadores sumergibles	2	Unidades	3,50	7,00
Sulfato de cobre	1	Libra	1,50	1,50
Cubas Electrolíticas	5	Capacidad 3,5 litros cada una	5,50	27,50
Lagartos	8	Unidades	0,20	1,60
Cable N°20	10	Metros	0,40	4,00
Soporte	1	Unidad	50,00	50,00
Ánodos	3	Unidades		35,00
Acero de 0,5mm negro	1	Plancha	8,50	8,50
Multímetro Digital	2	Unidades	7,50	15,00
Fusibles	4	Unidades	0,25	1,00
Terminal de presión	1	Unidad	0,50	0,50
Tubería de PVC de 8"	1	Unidad	22,50	22,50
Codo de PVC 90° y 8"	1	Unidad	11,00	11,00

Ventilador	1	Unidad	394,00	394,00
Filtro	1	Unidad	3,00	3,00
Cable N° 18	10	Metros	0,62	6,20
Enchufes	5	Unidades	0,30	1,50
Estaño	4	Metro	1,00	4,00
Cortapicos	1	Unidad	5,30	5,30
Interruptor	5	Unidad	0,65	3,25
Conectores	14	Unidades	0,40	5,60
Placa	1	Unidad		23,00
Transporte				250
TOTAL				980,95

Fuente: Álvarez A, Chango G, 2012

3.8.2. COSTOS DE OPERACIÓN

Tabla 3.24 Costos de operación

DENOMINACIÓN	COSTO
Arreglo del rectificador	50,00
Construcción del mueble portacubas	250,00
Construcción de la cámara de extracción de gases	460,00
Montaje del equipo	40,00
Instalaciones Eléctricas	50,00
TOTAL	850,00

Fuente: Álvarez A, Chango G, 2012

3.8.3. COSTO TOTAL

Es la suma de los dos costos

$$C_T = C_i + C_o \quad (\text{Ec. 3.16})$$

$$C_T = 980,95 + 850,00$$

$$C_T = 1830,95 \text{ dólares}$$

3.8.4. DEPRECIACIÓN DEL EQUIPO

El costo total de la construcción de la planta piloto asciende a 1830,95 dólares; tomando en cuenta que su vida útil es de 10 años.

Se establece un porcentaje de depreciación de 10% para Maquinaria y equipo de acuerdo a la Ley del Impuesto sobre la Renta.

- **PORCENTAJE DE DEPRECIACIÓN**

$$1830,95 \times 10\% = 183,095$$

- **TIEMPO DE DEPRECIACIÓN**

12 Meses a depreciar:

$$183,095/12 = \$15,258$$

120 Meses como límite máximo:

$$183,095/120 = \$1,525 \text{Cada mes.}$$

3.4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Al finalizar nuestro proyecto se ha obtenido recubrimientos metálicos de cobre, níquel y cinc en piezas de acero A36, para determinar las condiciones óptimas de trabajo se realizaron pruebas variando la concentración, tiempo, voltaje y temperatura debido a que son las variables más fáciles de manipular a nivel de laboratorio. Sin embargo al realizar pruebas con la temperatura los resultados obtenidos no fueron contundentes, debido a que no se pudo mantener constante y durante las pruebas esta cambiaba originando así resultados inesperados como vemos en los Gráficos 5, 8, 11 y 16.

Las pruebas de cincado nos indican que existe un mayor espesor del depósito al variar el tiempo, esto lo podemos ver al comparar el Gráfico 1 y 2, donde se determina también que las condiciones óptimas para realizar cincado son: baño alcalino sometido a 5V y temperatura ambiente, durante 8 a 12 minutos, condiciones a las cuales se obtiene un recubrimiento brillante y adherente como vemos en el Anexo 11.

Para el cobreado hemos creído conveniente comprobar la influencia de la concentración sobre el recubrimiento metálico obtenido, con este fin preparamos soluciones de CuSO_4 de concentración 0,1; 0,2, y 0,8 M con las tres soluciones se obtuvo recubrimiento, luego de

someterlas a variaciones de voltaje, temperatura y tiempo, sin embargo, al analizar las tablas de resultados podemos darnos cuenta que se obtiene un mayor espesor del depósito en las pruebas donde variamos el voltaje (Tabla 3.4, 3.7 y 3.10) y éste recubrimiento es aún mayor en la Tabla 3.10 que corresponde a la solución de CuSO_4 de concentración 0,8 M, entonces ésta concentración sería la ideal, pero como vemos en el Anexo 14 las piezas cobreadas con ésta solución tienen un recubrimiento poco adherente y muy esponjoso. Por lo tanto la concentración 0,2M es la recomendada, en vista de un mejor acabado y las condiciones experimentales óptimas para este baño son: 3,5V; 10 minutos y temperatura entre 18 y 20°C, tomando en cuenta no sólo el mayor peso del depósito sino las mejores características visuales obtenidas, podemos ver mejor éstos resultados en el Anexo 13.

Si bien, es cierto que, con los baños ácidos se obtienen recubrimientos, éstos no presentan buena adherencia a las piezas de acero debido a la naturaleza de los compuestos, debido a esto los recubrimientos obtenidos se desprendían con el paso del tiempo, lo cual nos llevó a realizar pruebas con baños alcalinos preparados, cuyos resultados superaron por mucho a las pruebas realizadas con baños ácidos, sobretodo en cuanto al acabado de las piezas. Con éstos baños se realizaron pruebas de voltaje y tiempo. Podemos ver en el Gráfico 12 que se obtiene un mayor espesor del depósito al aplicar 6 V, pero al visualmente hay mejores resultados con 4 V (Ver Anexo15). Lo mismo ocurre con el tiempo, al ver la Tabla 3.14 se diría que el mejor tiempo es 15 minutos, sin embargo, como vemos en el Anexo 15 el mejor tiempo es 9 minutos. No se realizaron pruebas de temperatura debido que este baño se lo utiliza sólo a temperatura ambiente.

Por lo tanto las condiciones óptimas para cobreado son: baño alcalino a temperatura ambiente con 4V durante 9 minutos y son las condiciones que usamos para cobrear las piezas que posteriormente niquelamos. Si vemos los Gráficos 14 y 16 las mejores condiciones son 6V a 50°C, debido a que se obtiene un buen resultado como lo indican las fotos en el Anexo16, en cuanto al tiempo, el más apropiado son 5 minutos, pues a pesar que la Tabla 3.16 indica lo contrario, observamos que al dejarlo mucho tiempo empiezan a formarse capas superficiales de poca adherencia.

Al utilizar condiciones extremas con respecto al tiempo, voltaje, temperatura, y concentración las fallas obtenidas son quemaduras de las probetas, capas demasiado gruesas, recubrimientos opacos, manchas, sin embargo algunos de ellos pueden deberse también a que no son sometidos a una buena limpieza o decapado.

Nuestro objetivo era diseñar y construir una planta piloto para realizar recubrimientos metálicos observando los resultados obtenidos se puede decir que se ha cumplido con el objetivo planteado.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Para el diseño de la planta piloto las variables que se toman en consideración son: el voltaje, la temperatura, el tiempo y concentración siendo su tendencia directamente proporcional al espesor del recubrimiento.
- Los cálculos realizados han sido dimensionados con fines didácticos de laboratorio, siendo necesario el uso de un rectificador con una capacidad mínima de 7V, cubas electrolíticas de polipropileno, en consideración a la abertura de cámara de absorción y al área de mesa de trabajo, se utilizó un ventilador centrífugo modelo BS 1000 con una capacidad de hasta 565 CFM y tubería de 8plg, garantizando el funcionamiento del equipo.
- El ensamblaje y armado de la planta piloto se realizó con éxito utilizando materiales en base a un estudio de los químicos a utilizar, considerando necesario el uso de melamínico en la mesa de trabajo y una cámara de aluminio y vidrio con el fin de minimizar riesgos que atenten con la salud.
- Se realiza una práctica de laboratorio con el fin de verificar el funcionamiento de la planta cumpliéndose con éxito la misma.
- Para garantizar el uso adecuado de la planta piloto se adjunta un manual de operación (ver Anexo 18) que deberá darse a conocer a todos quienes deseen dar uso del mismo.

4.2. RECOMENDACIONES.

- Las prácticas de recubrimiento deben efectuarse en base al cumplimiento de las normas de seguridad para evitar efectos que pueden atentar con la salud del ser humano.
- Debe cumplirse el proceso del manual de operación de la planta para evitar contaminación de los baños electrolíticos como de las probetas a ser recubiertas.
- Trabajar a temperaturas y tiempos razonables descritos en la discusión de resultados para obtener los datos deseados.
- Luego realizar el cincado debe aplicarse un baño de cromatizado B7 para fijar el mismo, éste no debe exceder los 60 segundos ya que al aumentar el tiempo de inmersión la pieza a recubrir tiende a quemarse.
- El proceso de encendido y apagado del calentador sumergible debe efectuarse cuando éste se encuentra sumergido en los baños electrolíticos que lo requieran, para evitar que se queme.
- Verificar que todas las conexiones de funcionamiento del equipo estén en buen estado.
- Para garantizar el funcionamiento de la planta piloto debe realizarse el mantenimiento adecuado luego de cada práctica.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. **ASHARAE, H.**, Fundamentals., New York Asharas Journal., 1977., Pp. 31 - 36.
2. **BALAÑA, J.**, Iniciación a la Práctica Galvánica., 1^{er}. Tomo., Barcelona - España., Cedel., 1970., Pp. 107, 111.
3. **BATURIN, V.**, Fundamentos de Ventilación Industrial., Oliart A., Barcelona - España., Labor S.A., 1976., Pp. 302 - 305, 373, 527 - 630.
4. **BLUM, W.**, Hogaboom, G., Galvanotecnia y Galvanoplastia., Lanuza, J., 3^a. ed., México D.F - México., Continental S.A., 1984., Pp. 5 - 13 y 21 - 25.
5. **CARRIER, M.**, Manual de aire acondicionado., Marcombo., Barcelona - España., 1974., Pp. 2 - 43.
6. **GLAYMAN, J.**, Galvanotecnia Técnica y Procedimientos., Sanchiz, I., 2^a. ed., Barcelona - España., Labor S.A., 1980., Pp. 57-60, 221-236.
7. **MOREANO, S.**, Electroquímica Texto Básico., Riobamba - Ecuador., Docucentro ESPOCH., 2000., Pp. 6-12,18, 24-32,59-58.
8. **SÁNCHEZ, G.**, Texto básico de corrosión., Riobamba - Ecuador., Docucentro ESPOCH., 2000., Pp. 11 - 13.
9. **VALENZUELA, M.**, Apuntes de Aire Acondicionado y Ventilación Industrial., Riobamba - Ecuador., Xerox., 2003., Pp. 50, 55
10. **ARMENDARIZ, M.**, GUAMAN, A., Diseño y Construcción de una Planta Piloto para Cromado Duro., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Facultad de Mecánica., Escuela de Ingeniería Mecánica., Riobamba - Ecuador., Tesis., 1985., Pp. 19-29 y 48-67.
11. **MURILLO, M.**, Diseño y Construcción de una Planta Piloto de recubrimientos metálicos., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Facultad de Mecánica., Escuela de Ingeniería Mecánica., Riobamba - Ecuador., Tesis., 1981., Pp. 20 - 33, 36 - 38, 43 - 87.
13. **RUIZ, J.**, Recubrimientos electrolíticos aplicados a prácticas del laboratorio de tratamientos superficiales de procesos de producción mecánica., Escuela

Superior Politécnica Nacional., Escuela de formación tecnológica., Tecnología en procesos de producción mecánica., Quito - Ecuador., Tesis., 2006., Pp. 3 - 14, 41 - 69, 79 - 81.

BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET

1. BAÑOS ELECTROLÍTICOS PARA RECUBRIMIENTOS

www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-20198.pdf
2012/26/06

2. ELECTRÓLISIS

http://www.fisicanet.com.ar/quimica/electrolisis/ap06_electrolisis.php
2012/06/26

3. ELECTRODEPOSICIÓN

<http://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/electrodeposicion>
2012/06/26

4. RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2426>
2012/02/13

5. TIPOS DE ÁNODOS PARA RECUBRIMIENTOS

<http://www.scribd.com/doc/37973303/22/Anodos-tipos-y-caracteristicas>
2012/26/06

6. VELOCIDAD DEL VIENTO

http://tiempo.mirbig.net/es/EC/06/3652350_Riobamba
2012/21/05

ANEXOS

Anexo1 Datos experimentales obtenidos de Metalquímica Galvano.

Proceso de recubrimiento electrolítico	Intensidad de corriente (Amp/dm²)	Tiempo (min)
Cobreado	4V	3
Niquelado	50-60 °C 2Amp 5V con agitación mecánica	5
Cincado	1-4 Amp (sin agitación), temperatura 20-50 °C y 5V	5

Fuente: Industria Metalquímica Galvano

Anexo2 Velocidades mínimas de aire recomendadas.

VELOCIDADES DE AIRE MÍNIMAS RECOMENDADAS PARA CAMPANAS Y CABINAS		
Taller de electrólisis	0,75 m/s	A la entrada de la campana
Soldadura eléctrica	0,75m/s	A la entrada de la campana
Cocinas	0,2 a 0,5m/s	A la entrada de la campana
Cabinas de pintura con pistola	0,75m/s	Al nivel de la respiración del chorro
Cabinas de limpieza por chorro de arena	2,50m/s	A la entrada, hacia abajo
	0,4m/s	A través de la cabina

Fuente: Woods, Guía Práctica de la ventilación,1970, Pp. 61

VELOCIDADES MÍNIMAS DE AIRE PARA TRANSPORTE DE MATERIAL	
MATERIAL	VELOCIDAD DEL AIRE m/s
Plumón	7,50
Polvo de grano	10
Polvo de yute	10
Polvo de caucho	10
Harina	15
Serrín	15
Polvo metálico (de rectificación)	15
Viruta de madera	18
Viruta de latón (fina)	20
Carbón fino	20
Polvo de plomo	25

Fuente: WOODS, Guía Práctica de la ventilación,1970, Pp. 61

Anexo 3 Límites máximos permisibles para gases, vapores y polvos contenidos en el aire de zonas de trabajo.

Nombre Químico	IDLH (ppm)	Umbral de Olor (ppm)	OEL (ppm)	Sinónimos	Respirador Recomendado (hasta 10X OEL)	Observaciones
Carbonilo de níquel (como Ni)	7	0,5-3,0	0,001 (PEL)	Tetracarbonilo de níquel	SA (M)	TLV-TWA= 0.05 ppm. Se desconoce la eficacia de los sorbentes.
Carburo de silicio			10 mg/m ³ *	Silicato de carbono, Carborundum	N95	
Catecol			5 -piel-	Pirocatecol	VO/N95	
Caucho latex natural (como proteínas totales inhalables)			0,001 mg/m ³ -piel-	Caucho; Caucho de India; Latex natural; Caucho Natural; NRL; Polisopreno	N95	
Celulosa			10 mg/m ³ *	Fibra de papel	N95	
Cemento Portland (cuarzo ≤1%)			10mg/m ³ *	Cemento hidráulico, Silicato de cemento Portland. Cemento	N95	
2-Cianoacrilato de metilo		2,16	0,2	Mecrilato	(M) VO	Advertencia escasa.
Cianógeno		231	10	Diciano, Oxalonitrilo	SA	Advertencia escasa. Se desconoce la eficacia de sorbentes.
Cianohidrina de acetona		3	2 -piel- (AIHAWHEEL)	α-Hidroxi isobutironitrilo, 2-Propano cianohidrina, 2-Ciano 2-propanol, 2-Metil lactonitrilo, 2-Hidroxi 2 metil propano nitrilo.	VO	TLV-C= 4.7 ppm. Advertencia escasa.
Cianuro de hidrógeno	50	0,603	4,7* (techo) -piel-	Acido hidrocianico, Acido prúsico	SA (M)	Máximo igual 10 X OEL. Bajo IDLH
Cianuro de vinilo				Ver Acilonitrilo		
Cianuros (como CN)	50 mg/m ³		5 mg/m ³ (techo) -piel-		SA	Advertencia escasa.
Ciclohexano	10000	83,8	300	Hexahidrobenceno, Hexametileno	(M) VO	La irritación también es un signo de advertencia. Monitor 3M 3510.
Solvente Stoddard	5150	1-30	100*	Solvente de seguridad para limpieza a seco, Alcohol mineral	VO	Monitor 3M 3510.
Sulfato de bario			10 mg/m ³ *		N95	
Sulfato de calcio			2 mg/m ³	Yeso de París	N95	
Subsulfuro de níquel			0,1 mg/m ³ (inhalable)		N95	
Talco (incluyendo asbestos)				Ver Asbesto		

Fuente: Guía para Selección de Respiradores., 3M., 2008., Pp. 34-84

Anexo4 Presiones dinámicas.

PRESIÓN DINÁMICA (mm c. a.)	VELOCIDAD (m/s)	PRESIÓN DINÁMICA (mm c. a.)	VELOCIDAD (m/s)	PRESIÓN DINÁMICA (mm c. a.)	VELOCIDAD (m/s)	PRESIÓN DINÁMICA (mm c. a.)	VELOCIDAD (m/s)
0,25	2	8,75	11,83	17,25	16,60	28	
0,50	2,82	9	12	17,50	16,73	29	21,16
0,75	3,46	9,25	12,18	17,75	16,85	30	21,54
1	4	9,50	12,32	18	16,97	31	21,90
1,25	4,47	9,75	12,49	18,25	17,08	32	22,27
1,50	4,89	10	12,64	18,50	17,20	33	22,62
1,75	5,29	10,25	12,80	18,75	17,32	34	22,97
2	5,65	10,50	12,96	19	17,43	35	23,32
2,25	6	10,75	13,11	19,25	17,55	36	23,66
2,50	6,32	11	13,26	19,50	17,66	37	24
2,75	6,63	11,25	13,41	19,75	17,77	38	24,33
3	6,92	11,50	13,56	20	17,88	39	24,65
3,25	7,21	11,75	13,71	20,25	18	40	24,98
3,50	7,48	12	13,85	20,50	18,11	41	25,29
3,75	7,74	12,25	14	20,75	18,22	42	25,61
4	8	12,50	14,14	21	18,33	43	25,92
4,25	8,24	12,75	14,28	21,25	18,43	44	26,22
4,50	8,48	13	14,42	21,50	18,54	45	26,53
4,75	8,71	13,25	14,56	21,75	18,65	46	26,83
5	8,94	13,50	14,69	22	18,76	47	27,12
5,25	9,16	13,75	14,83	22,25	18,86	48	27,42
5,50	9,38	14	14,96	22,50	18,97	49	27,71
5,75	9,59	14,25	15,09	22,75	19,07	50	28
6	9,79	14,50	15,23	23	19,18	51	28,28
6,25	10	14,75	15,36	23,25	19,28	52	28,58
6,50	10,19	15	15,49	23,50	19,39	53	28,84
6,75	10,39	15,25	15,62	23,75	19,49	54	29,12
7	10,58	15,50	15,74	24	19,59	55	29,39
7,25	10,77	15,75	15,87	24,25	19,69	56	29,68
7,50	10,95	16	16	24,50	19,79	57	29,93
7,75	11,13	16,25	16,12	24,75	19,89	58	30,19
8	11,31	16,50	16,24	25	20	59	30,46
8,25	11,48	16,75	16,37	25	20,39	60	30,72
8,50	11,66	17	16,49	27	20,78		30,98

NOTAS: 1. Condiciones aire normal (760 mm Hg y 21° C).

2. Valores deducidos de la siguiente ecuación: $h_v = \left(\frac{V}{4}\right)^2$ donde: V = velocidad en m/s.
 h_v = diferencia de presión dinámica.

Fuente: CARRIER, M., Manual de aire acondicionado., 1974., Pp. 2-43.

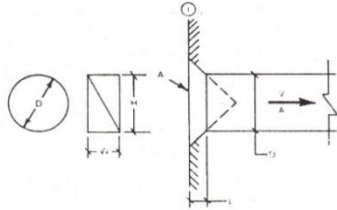
Anexo 5 Coeficiente de pérdidas a la entrada de la cámara de absorción de gases.

33.32

CAPITULO 33

Diseño de conductos

1-5 Convergencia cónica con pared final, redonda y rectangular ¹

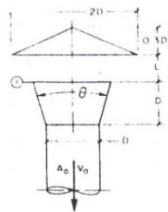


Rectangular: $D = 2HW/(H + W)$

L/D	C_o								
	θ , grados								
	0	10	20	30	40	60	100	140	180
0.025	0.50	0.47	0.45	0.43	0.41	0.40	0.42	0.45	0.50
0.05	0.50	0.45	0.41	0.36	0.33	0.30	0.35	0.42	0.50
0.075	0.50	0.42	0.35	0.30	0.26	0.23	0.30	0.40	0.50
0.10	0.50	0.39	0.32	0.25	0.22	0.18	0.27	0.38	0.50
0.15	0.50	0.37	0.27	0.20	0.16	0.15	0.25	0.37	0.50
0.60	0.50	0.27	0.18	0.13	0.11	0.12	0.23	0.36	0.50

Para coeficientes de pérdida con persiana en sección 1, véase nota 1.

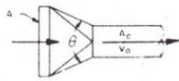
1-6 Compuerta de entrada ¹



θ , grados	C_o								
	L/D								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	≥ 0.9
0	2.6	1.8	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1
15	1.3	0.77	0.60	0.48	0.41	0.30	0.29	0.28	0.25

Para coeficientes de pérdida en la compuerta con persiana en sección 1, véase nota 1.

1-7 Compuerta, estrechamiento, rebordeado o no rebordeado

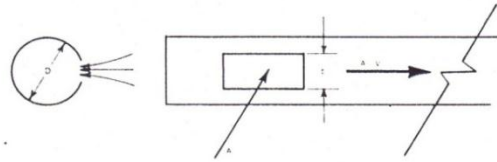


$A_1 \geq 2A_0$

θ es el mayor ángulo para compuertas rectangulares.

C_o	Modelo de compuerta: redonda										
	θ	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°
1.0	1.0	0.11	0.06	0.09	0.14	0.18	0.27	0.32	0.43	0.50	0.50
C_o	Modelo de compuerta: Cuadrada o rectangular										
	θ	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°
1.0	1.0	0.19	0.13	0.16	0.21	0.27	0.33	0.43	0.53	0.62	0.62

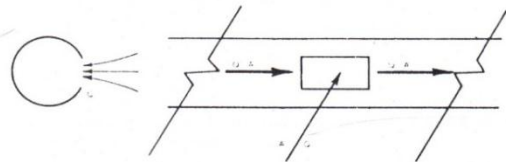
**1-8 Entrada de aire en el lado del conducto
a) Abierto inicialmente ¹**



D_o/b	C_o							
	A_1/A_o							
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
0.13	335	85	—	—	—	—	—	—
0.26	305	85	42	23	16	12	—	—
0.38	280	79	38	23	16	12	9.3	6.4
0.48	260	75	36	22	15	11	8.8	6.9
0.62	235	61	33	20	14	10	8.0	6.5
0.70	230	63	30	18	13	9.4	7.4	6.0

D_o/b	C_o							
	A_1/A_o							
	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
0.13	—	—	—	—	—	—	—	—
0.26	—	—	—	—	—	—	—	—
0.38	5.4	—	—	—	—	—	—	—
0.48	4.2	3.4	3.8	—	—	—	—	—
0.62	4.0	3.3	2.8	2.5	2.3	2.2	2.1	—
0.70	4.9	3.0	2.5	2.2	2.0	1.8	1.7	1.6

b) Abiertas las siguientes ¹

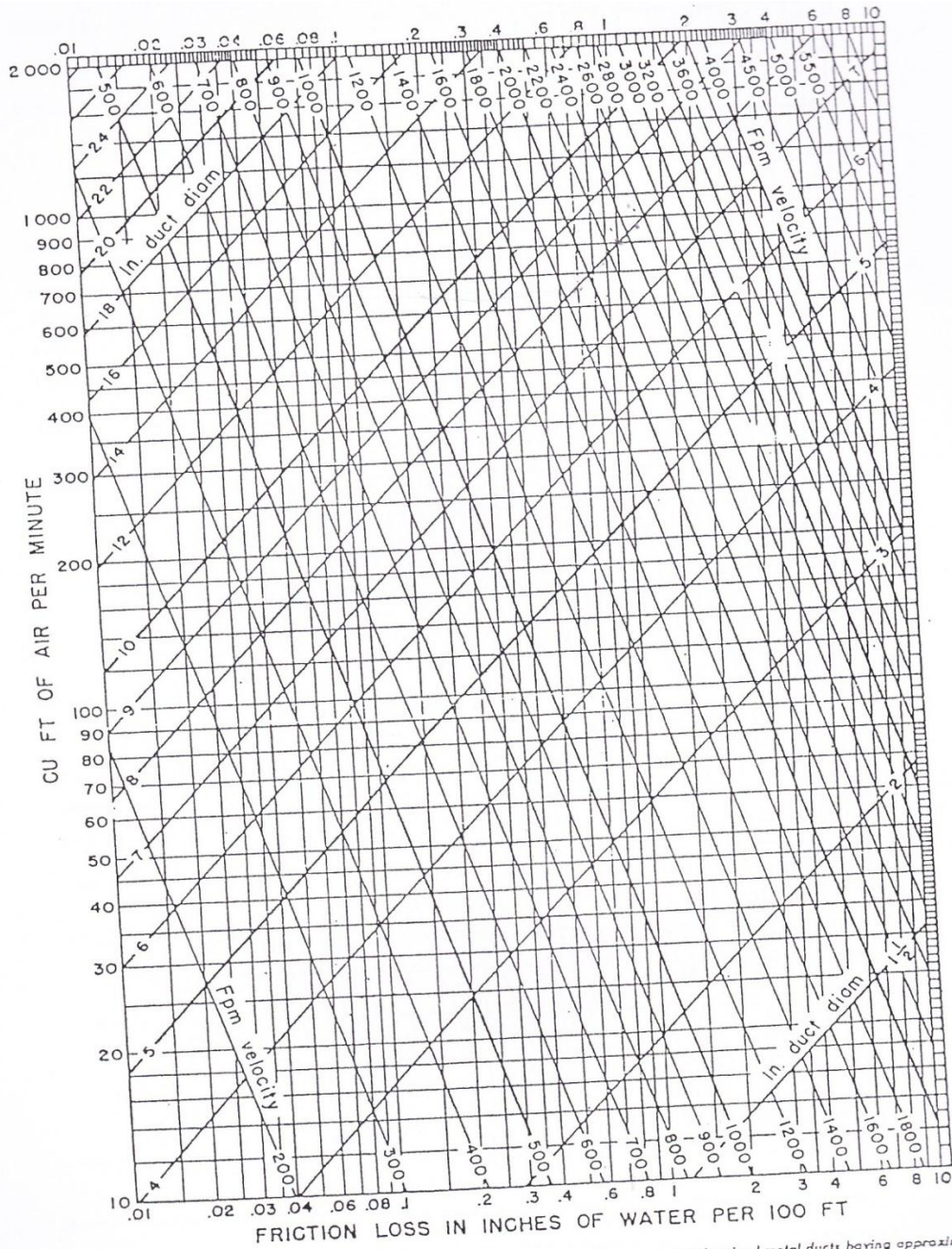


A_b/A_c	Derivación (abierta), C_b				
	Q_b/Q_c				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.1	0.8	1.3	1.4	1.4	1.4
0.2	-1.4	0.9	1.3	1.4	1.4
0.4	-10	0.2	0.9	1.2	1.3
0.6	-21	-2.5	0.3	1.0	1.2

A_b/A_c	Conducto principal, C_s				
	Q_b/Q_c				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.1	0.1	-1	-8	-2.6	-6.6
0.2	0.1	0.2	0	-6	-2.1
0.4	0.2	0.3	0.3	0.2	-2
0.6	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3

Fuente: ASHARAE HANDBOOK., fundamentals., 1977., Pp. 318

Anexo6 Coeficiente de pérdidas en la tubería.



(Based on Standard Air of 0.075 lb per cu ft density flowing through average, clean, round, galvanized metal ducts having approximately 40 joints per 100 ft.) Caution: Do not extrapolate below chart.

FIG. 8-1 Friction Of Air In Straight Ducts For Volumes Of 10 To 2000 CFM (Reprinted by permission from ASHRAE Guide and Data Book, 1965)

Anexo7 Coeficiente de pérdidas por accesorios (codos).

ACCESORIOS DE TUBERIAS																																																																																																																																																													
<p>COEFICIENTES DE RESISTENCIA, K</p> <p>MÉTODO-2 K Propuesto por Hooper</p> $K = \frac{K_1}{N_R} + K_2 \left(1 + \frac{1}{D} \right)$ <p>Donde:</p> <p>K_1, K_2: Constantes</p> <p>N_R: Número de Reynolds 394737</p> <p>D: Diámetro (pulg)</p> <p>Ejemplo de Aplicación: FLUIDO</p> <p>Velocidad, (m/s) 1.5</p> <p>Diámetro, (m) 0.3</p> <p>Viscosidad Cinemática, m2/s 1.14E-06</p> <p>K 4.342</p> <p>K 1.093</p> <p>K 0.870</p> <p>K 6.305</p> <p>Sintaxis: =Kt(op,Nr,Diam)</p> <p>donde:</p> <p>op: No. de accesorio (0 - 29)</p> <p>Nr: Número de Reynolds</p> <p>Dia: Diámetro interno de tubería, (m)</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>COMPONENTE</th> <th>K_1</th> <th>K_2</th> <th>op</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4">Válvulas de Compuerta Abierta</td> </tr> <tr> <td>Tamaño de línea completa, Beta = 1</td> <td>300</td> <td>0.1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Tamaño Reducido, Beta = 0.9</td> <td>500</td> <td>0.15</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Tamaño Reducido, Beta = 0.8</td> <td>1000</td> <td>0.25</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Globo estándar</td> <td>1500</td> <td>4</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Globo, tipo Y ó Angulo</td> <td>1000</td> <td>2</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Diafragma Tipo Atajadera</td> <td>1000</td> <td>2</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Mariposa</td> <td>800</td> <td>0.25</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Válvulas de Retención</td> </tr> <tr> <td>De tipo Vertical (Asiento de elevar)</td> <td>2000</td> <td>10</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>De tipo Chamela (Asiento Pivotante)</td> <td>1500</td> <td>1.5</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>De tipo Disco Giratorio</td> <td>1000</td> <td>0.5</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td colspan="4">TE, (Usado como codo)</td> </tr> <tr> <td>Estándar Roscadas</td> <td>500</td> <td>0.7</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Radio Largo, R/D=1.5 Roscadas</td> <td>800</td> <td>0.4</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>Estándar, Bridadas o Soldadas</td> <td>800</td> <td>0.8</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Para enchufar</td> <td>1000</td> <td>1</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td colspan="4">TE, (Usado como Tubo)</td> </tr> <tr> <td>Roscadas</td> <td>200</td> <td>0.1</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>Bridadas o Soldadas</td> <td>150</td> <td>0.5</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Para enchufar</td> <td>100</td> <td>0</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Codos de 90°</td> </tr> <tr> <td>Estándar, R/D = 1, Roscado</td> <td>800</td> <td>0.4</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>Estándar, R/D = 1, Bridado o soldado</td> <td>800</td> <td>0.25</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>Radio largo, R/D=1.5 Cualquier tipo</td> <td>800</td> <td>0.2</td> <td>19</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Codos de 90° soldados hechos con tubo recto, R/D=1.5</td> </tr> <tr> <td>Una soldadura, ángulo= 90°</td> <td>1000</td> <td>1.15</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Dos soldaduras, ángulo=45°</td> <td>800</td> <td>0.35</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>Tres soldaduras, ángulo=30°</td> <td>800</td> <td>0.3</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>Cuatro soldaduras, ángulo=22.5°</td> <td>500</td> <td>0.15</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Codos de 180°</td> </tr> <tr> <td>Estándar, R/D=1, Roscados</td> <td>1000</td> <td>0.6</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>Estándar, R/D=1, Bridados o soldados</td> <td>1000</td> <td>0.35</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Radio largo, R/D=1.5, todos los tipos</td> <td>1000</td> <td>0.3</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Entrada y salidas</td> </tr> <tr> <td>Entrada cuadrada</td> <td>160</td> <td>0.5</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>Entrada proyectado</td> <td>160</td> <td>1</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>Salida tubería</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>29</td> </tr> </tbody> </table>	COMPONENTE	K_1	K_2	op	Válvulas de Compuerta Abierta				Tamaño de línea completa, Beta = 1	300	0.1	0	Tamaño Reducido, Beta = 0.9	500	0.15	1	Tamaño Reducido, Beta = 0.8	1000	0.25	2	Globo estándar	1500	4	3	Globo, tipo Y ó Angulo	1000	2	4	Diafragma Tipo Atajadera	1000	2	5	Mariposa	800	0.25	6	Válvulas de Retención				De tipo Vertical (Asiento de elevar)	2000	10	7	De tipo Chamela (Asiento Pivotante)	1500	1.5	8	De tipo Disco Giratorio	1000	0.5	9	TE, (Usado como codo)				Estándar Roscadas	500	0.7	10	Radio Largo, R/D=1.5 Roscadas	800	0.4	11	Estándar, Bridadas o Soldadas	800	0.8	12	Para enchufar	1000	1	13	TE, (Usado como Tubo)				Roscadas	200	0.1	14	Bridadas o Soldadas	150	0.5	15	Para enchufar	100	0	16	Codos de 90°				Estándar, R/D = 1, Roscado	800	0.4	17	Estándar, R/D = 1, Bridado o soldado	800	0.25	18	Radio largo, R/D=1.5 Cualquier tipo	800	0.2	19	Codos de 90° soldados hechos con tubo recto, R/D=1.5				Una soldadura, ángulo= 90°	1000	1.15	20	Dos soldaduras, ángulo=45°	800	0.35	21	Tres soldaduras, ángulo=30°	800	0.3	22	Cuatro soldaduras, ángulo=22.5°	500	0.15	23	Codos de 180°				Estándar, R/D=1, Roscados	1000	0.6	24	Estándar, R/D=1, Bridados o soldados	1000	0.35	25	Radio largo, R/D=1.5, todos los tipos	1000	0.3	26	Entrada y salidas				Entrada cuadrada	160	0.5	27	Entrada proyectado	160	1	28	Salida tubería	0	1	29
COMPONENTE	K_1	K_2	op																																																																																																																																																										
Válvulas de Compuerta Abierta																																																																																																																																																													
Tamaño de línea completa, Beta = 1	300	0.1	0																																																																																																																																																										
Tamaño Reducido, Beta = 0.9	500	0.15	1																																																																																																																																																										
Tamaño Reducido, Beta = 0.8	1000	0.25	2																																																																																																																																																										
Globo estándar	1500	4	3																																																																																																																																																										
Globo, tipo Y ó Angulo	1000	2	4																																																																																																																																																										
Diafragma Tipo Atajadera	1000	2	5																																																																																																																																																										
Mariposa	800	0.25	6																																																																																																																																																										
Válvulas de Retención																																																																																																																																																													
De tipo Vertical (Asiento de elevar)	2000	10	7																																																																																																																																																										
De tipo Chamela (Asiento Pivotante)	1500	1.5	8																																																																																																																																																										
De tipo Disco Giratorio	1000	0.5	9																																																																																																																																																										
TE, (Usado como codo)																																																																																																																																																													
Estándar Roscadas	500	0.7	10																																																																																																																																																										
Radio Largo, R/D=1.5 Roscadas	800	0.4	11																																																																																																																																																										
Estándar, Bridadas o Soldadas	800	0.8	12																																																																																																																																																										
Para enchufar	1000	1	13																																																																																																																																																										
TE, (Usado como Tubo)																																																																																																																																																													
Roscadas	200	0.1	14																																																																																																																																																										
Bridadas o Soldadas	150	0.5	15																																																																																																																																																										
Para enchufar	100	0	16																																																																																																																																																										
Codos de 90°																																																																																																																																																													
Estándar, R/D = 1, Roscado	800	0.4	17																																																																																																																																																										
Estándar, R/D = 1, Bridado o soldado	800	0.25	18																																																																																																																																																										
Radio largo, R/D=1.5 Cualquier tipo	800	0.2	19																																																																																																																																																										
Codos de 90° soldados hechos con tubo recto, R/D=1.5																																																																																																																																																													
Una soldadura, ángulo= 90°	1000	1.15	20																																																																																																																																																										
Dos soldaduras, ángulo=45°	800	0.35	21																																																																																																																																																										
Tres soldaduras, ángulo=30°	800	0.3	22																																																																																																																																																										
Cuatro soldaduras, ángulo=22.5°	500	0.15	23																																																																																																																																																										
Codos de 180°																																																																																																																																																													
Estándar, R/D=1, Roscados	1000	0.6	24																																																																																																																																																										
Estándar, R/D=1, Bridados o soldados	1000	0.35	25																																																																																																																																																										
Radio largo, R/D=1.5, todos los tipos	1000	0.3	26																																																																																																																																																										
Entrada y salidas																																																																																																																																																													
Entrada cuadrada	160	0.5	27																																																																																																																																																										
Entrada proyectado	160	1	28																																																																																																																																																										
Salida tubería	0	1	29																																																																																																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>PARÁMETROS</th> <th>SINTAXIS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pérdidas Totales, hfr, (m) :</td> <td>hfr(op, Qau, Diam, Viscin, L, e, Kt,fc)</td> </tr> <tr> <td>Altura Dinámica Total, (m) :</td> <td>HDT(SUCCION, Hd, Hs, hfs, hfd, Vd)</td> </tr> <tr> <td>NPSHA, (m) :</td> <td>NPSHa(SUCCION, Pat, Pman, Hvp, Densidad, Hs, hfs)</td> </tr> <tr> <td>Número Reynolds :</td> <td>Nrey(Diam, Vel, Viscin)</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">CONSTANTE POR ACCESORIOS</td> </tr> <tr> <td>Constante K, Accesorios :</td> <td>Kt(op,Nr,Diam)</td> </tr> <tr> <td>Reducción Brusca o cuadrada, K :</td> <td>Krc(Nr, Diam1, Diam2, F)</td> </tr> <tr> <td>Reducción Abocinada o en ángulo (ángulo = ángulo de convergencia), K :</td> <td>Kra(Nr, Diam1, Diam2, ángulo)</td> </tr> <tr> <td>Reducción Abocinada redondeada, K :</td> <td>Krb(Nr, Diam1, Diam2)</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de Ensanchamiento brusco o cuadrado, K :</td> <td>Keb(Diam1, Diam2, Nr, F)</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de abocinado o en ángulo, K :</td> <td>Keac(Diam1, Diam2, Nr, ángulo, F)</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de ensanchamiento abocinado redondeado, K :</td> <td>Kear(Diam1, Diam2, Nr, F)</td> </tr> </tbody> </table>	PARÁMETROS	SINTAXIS	Pérdidas Totales, hfr, (m) :	hfr(op, Qau, Diam, Viscin, L, e, Kt,fc)	Altura Dinámica Total, (m) :	HDT(SUCCION, Hd, Hs, hfs, hfd, Vd)	NPSHA, (m) :	NPSHa(SUCCION, Pat, Pman, Hvp, Densidad, Hs, hfs)	Número Reynolds :	Nrey(Diam, Vel, Viscin)	CONSTANTE POR ACCESORIOS		Constante K, Accesorios :	Kt(op,Nr,Diam)	Reducción Brusca o cuadrada, K :	Krc(Nr, Diam1, Diam2, F)	Reducción Abocinada o en ángulo (ángulo = ángulo de convergencia), K :	Kra(Nr, Diam1, Diam2, ángulo)	Reducción Abocinada redondeada, K :	Krb(Nr, Diam1, Diam2)	Coefficiente de Ensanchamiento brusco o cuadrado, K :	Keb(Diam1, Diam2, Nr, F)	Coefficiente de abocinado o en ángulo, K :	Keac(Diam1, Diam2, Nr, ángulo, F)	Coefficiente de ensanchamiento abocinado redondeado, K :	Kear(Diam1, Diam2, Nr, F)																																																																																																																																			
PARÁMETROS	SINTAXIS																																																																																																																																																												
Pérdidas Totales, hfr, (m) :	hfr(op, Qau, Diam, Viscin, L, e, Kt,fc)																																																																																																																																																												
Altura Dinámica Total, (m) :	HDT(SUCCION, Hd, Hs, hfs, hfd, Vd)																																																																																																																																																												
NPSHA, (m) :	NPSHa(SUCCION, Pat, Pman, Hvp, Densidad, Hs, hfs)																																																																																																																																																												
Número Reynolds :	Nrey(Diam, Vel, Viscin)																																																																																																																																																												
CONSTANTE POR ACCESORIOS																																																																																																																																																													
Constante K, Accesorios :	Kt(op,Nr,Diam)																																																																																																																																																												
Reducción Brusca o cuadrada, K :	Krc(Nr, Diam1, Diam2, F)																																																																																																																																																												
Reducción Abocinada o en ángulo (ángulo = ángulo de convergencia), K :	Kra(Nr, Diam1, Diam2, ángulo)																																																																																																																																																												
Reducción Abocinada redondeada, K :	Krb(Nr, Diam1, Diam2)																																																																																																																																																												
Coefficiente de Ensanchamiento brusco o cuadrado, K :	Keb(Diam1, Diam2, Nr, F)																																																																																																																																																												
Coefficiente de abocinado o en ángulo, K :	Keac(Diam1, Diam2, Nr, ángulo, F)																																																																																																																																																												
Coefficiente de ensanchamiento abocinado redondeado, K :	Kear(Diam1, Diam2, Nr, F)																																																																																																																																																												

Los unidades de cada uno de los parámetros están expresados en Sistema SI.

Fuente: LEON, G., Computación Informática Aplicada., 2003., Pp. 16

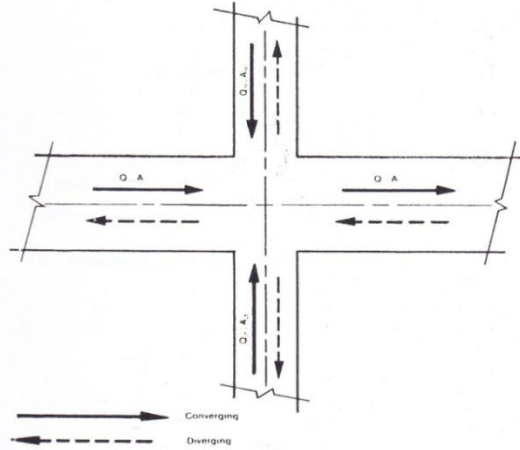
Anexo 8 Coeficiente de pérdidas por accesorios (Filtro)

33.50

CAPITULO 33

Diseño de conductos

6-36 Cruce a 90°, rectangular y redondo ¹



$$A_{1b} = A_{2b}$$

$$A_s = A_c$$

a. Flujo convergente

Bifurcación, $C_{c,b}$							
Q_{2b}/Q_{1b}	Q_{1b}/Q_c or Q_{2b}/Q_c						
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
$A_{1b}/A_c = 0.2$							
0.5	-85	-10	1.1	2.7	4.8	7.3	10
1.0	-85	-05	1.4	3.1	5.1	7.4	—
2.0	-85	-31	1.8	3.4	—	—	—
$A_{1b}/A_c = 0.4$							
0.5	-85	-29	0.34	1.0	1.8	2.6	3.4
1.0	-85	-14	0.60	1.3	2.1	2.7	—
2.0	-85	0.12	1.0	1.7	—	—	—
$A_{1b}/A_c = 0.6$							
0.5	-85	-32	0.20	0.72	1.2	1.7	2.1
1.0	-85	-18	0.46	1.0	1.5	1.9	—
2.0	-85	0.09	0.88	1.4	—	—	—
$A_{1b}/A_c = 0.8$							
0.5	-85	-33	0.13	0.61	1.0	1.4	1.7
1.0	-85	-18	0.41	0.91	1.3	1.5	—
2.0	-85	0.08	0.83	1.3	—	—	—
$A_{1b}/A_c = 1.0$							
0.5	-85	-34	0.13	0.56	0.93	1.3	1.5
1.0	-85	-19	0.39	0.86	1.2	1.4	—
2.0	-85	0.07	0.81	1.2	—	—	—
Conducto principal							
Q_s/Q_c	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	
$C_{c,s}$	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	0.96	
Q_s/Q_c	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0		
$C_{c,s}$	0.85	0.72	0.56	0.39	0.20		

b. Flujo divergente: utilizar accesorio 6-23

336

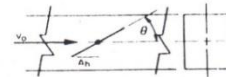
Tabla B-7 Coeficiente de pérdidas locales, OBSTACULOS

7-1 Compuerta, mariposa, redondo ¹



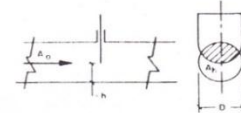
θ , grados	0	10	20	30	40	50	60
C_o	0.20	0.52	1.5	4.5	11	29	108

7-2 Compuerta, mariposa, rectangular ¹



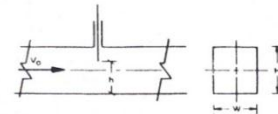
θ , grados	0	10	20	30	40	50	60
C_o	0.04	0.33	1.2	3.3	9.0	26	70

7-3 Compuerta, entrada, redonda ¹



h/D	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
A_h/A_o	0.25	0.38	0.50	0.61	0.71	0.81	0.90	0.96
C_o	35	10	4.6	2.1	0.98	0.44	0.17	0.06

7-4 Compuerta, entrada, rectangular ¹



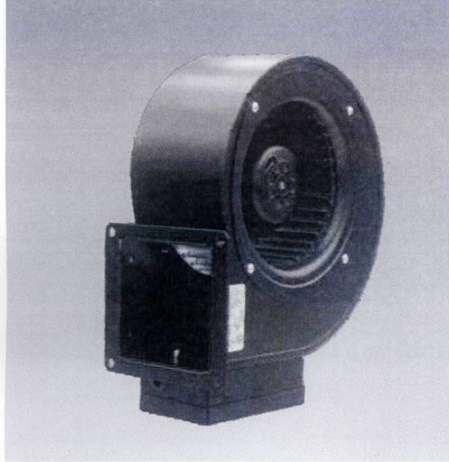
H/W	h/H							
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
0.5	14	6.9	3.3	1.7	0.83	0.32	0.09	
1.0	19	8.8	4.5	2.4	1.2	0.55	0.17	
1.5	20	9.1	4.7	2.7	1.2	0.47	0.11	
2.0	18	8.8	4.5	2.3	1.1	0.51	0.13	

Fuente: ASHARAE HANDBOOK., fundamentals., 1977., Pp. 336

Anexo9 Catálogo para la selección del ventilador.



BS VENTILADORES CENTRÍFUGOS DE ÁLABES CURVOS ADELANTADOS SIMPLE OÍDO DE ASPIRACIÓN 500, 700 y 1000



Los ventiladores centrífugos de álabes curvos adelantados ofrecen soluciones silenciosas y compactas al movimiento de aire. Bajo costo de mantenimiento y larga duración son características de los motores de condensador permanente. Construidos con rodamientos a bolas permiten el funcionamiento en cualquier posición.

Características Principales:

Los motores de los ventiladores son del tipo rotor exterior, que como su nombre lo indica llevan el rotor en la parte exterior del motor, quedando el estator en la parte interior del motor. Esto implica una ventilación directa de rotor, así como una mayor inercia que se traduce en una mayor estabilidad de funcionamiento. Asimismo, permite fijar el rodeté sobre el mismo rotor con lo cual se logra el concepto de ventilador compacto.

Motores con rodamientos a bolas, aislamiento clase "B", Protección IP-44, turbinas balanceadas dinámicamente.

Aplicaciones:

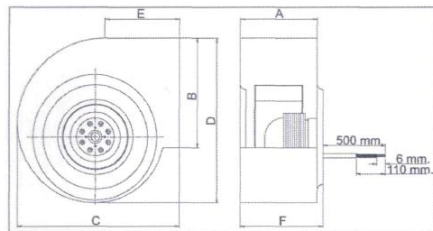
Ventilación en maquinaria, tableros eléctricos y de control, cuartos limpios, sistemas con filtros, de extracción de gases, humidificadores y deshumidificadores, ventiladores para equipos de aire acondicionado, ventilación de laboratorios, etc.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Modelo	Velocidad RPM	Potencia W	Tensión Volts	Intensidad A	Caudal a descarga libre m ³ /hr / CFM	Presión sonora dB(A)*	Peso aprox. Kg
BS-500	1450	80	120	0.31	480 / 282	64	3
BS-700	1400	155	120	0.52	675 / 397	66	4
BS-1000	1350	220	120	0.82	961 / 565	68	7

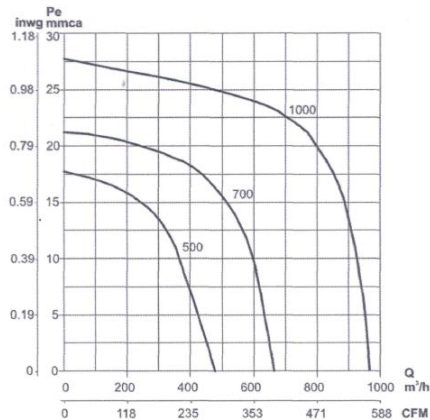
*Nivel sonoro medido de acuerdo a las normas AMCA 300/05 y 301/05

DIMENSIONES Y CURVAS CARACTERÍSTICAS



MODELO	A	B	C	D	E	F
BS 500	96	94	224	244	103	98
BS 700	110	120	265	260	150	110
BS 1000	129	134	296	332	133	133

71 *Dimensiones mm.



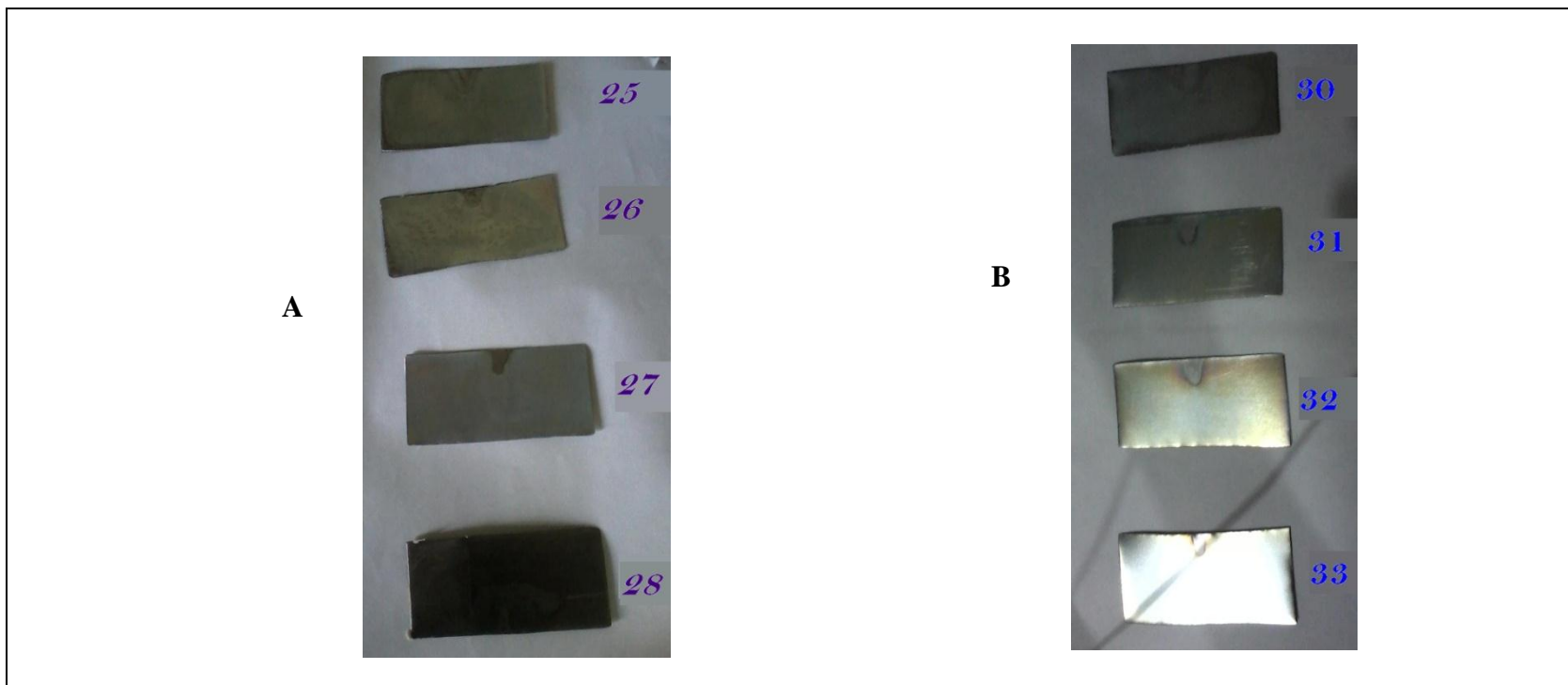
Fuente: <http://www.climasalfa-syp.com/climas%20alfa/comercial/BS.pdf>

Anexo10Equivalentes electroquímicos y pesos específicos.

Equivalenti elettrochimici.								
Elemento	Simbolo	Peso atomico (A)	Peso specifico (d)	Valenza (z)	Bagno galvanico	Equivalente elettrochimico in g/Ah		Rendimento di corrente (%) 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
Rodio	Rh	102,90	12,1	3	Bagno al cloruro di rodio	1,280	0,103	0,08
				4		1,107	0,95	0,85
Stagno ...	Sn	118,69	7,3	4	Bagni di stagno alcalini	2,214	2,00	0,90
				2	Bagni di stagno acidi	1,2196	1,21	1
Zinco	Zn	65,37	7,0	2	Bagni acidi	1,2196	0,75	0,70
					Bagni al cianuro			

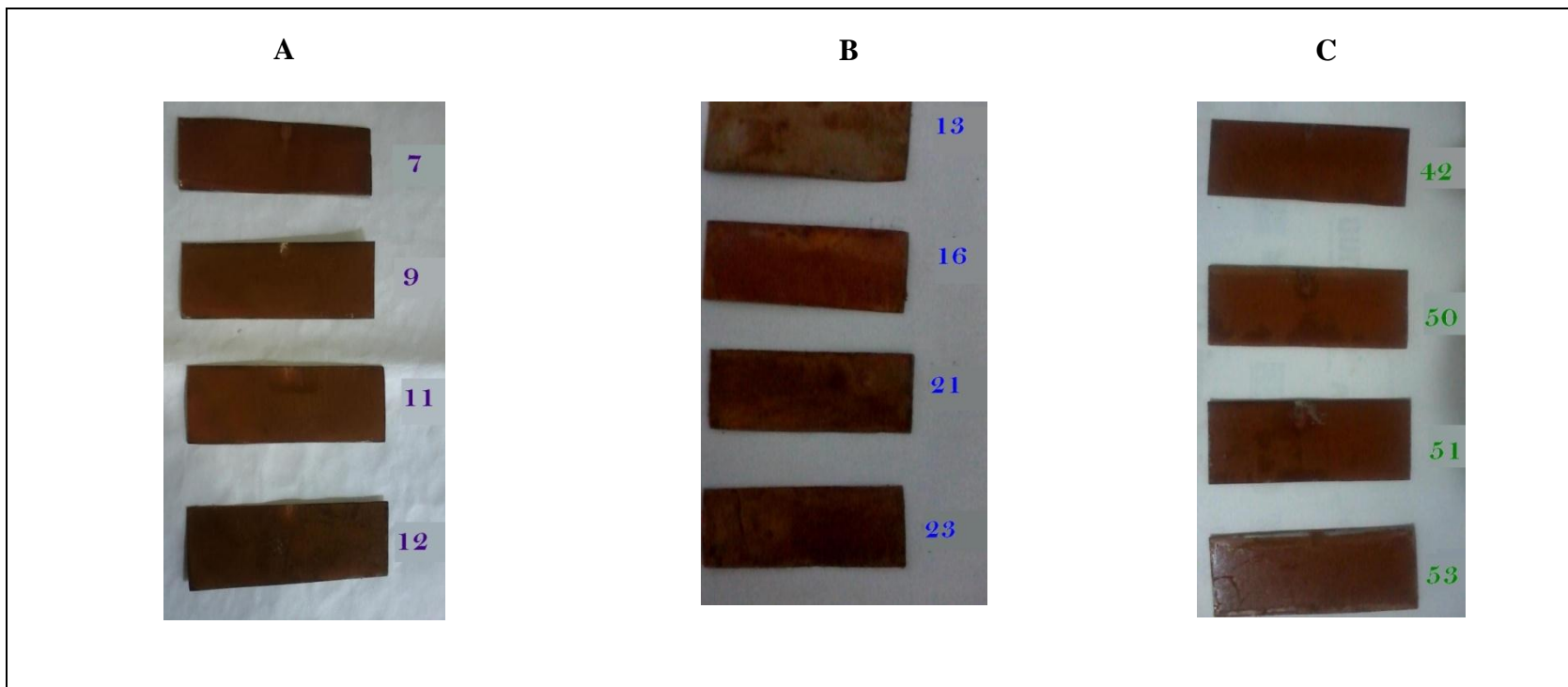
Fuente:BERTORELLE. E.,Trattato di galvanotecnica, 1974, Pp.7

Anexo 11 Resultados de las pruebas de cincado



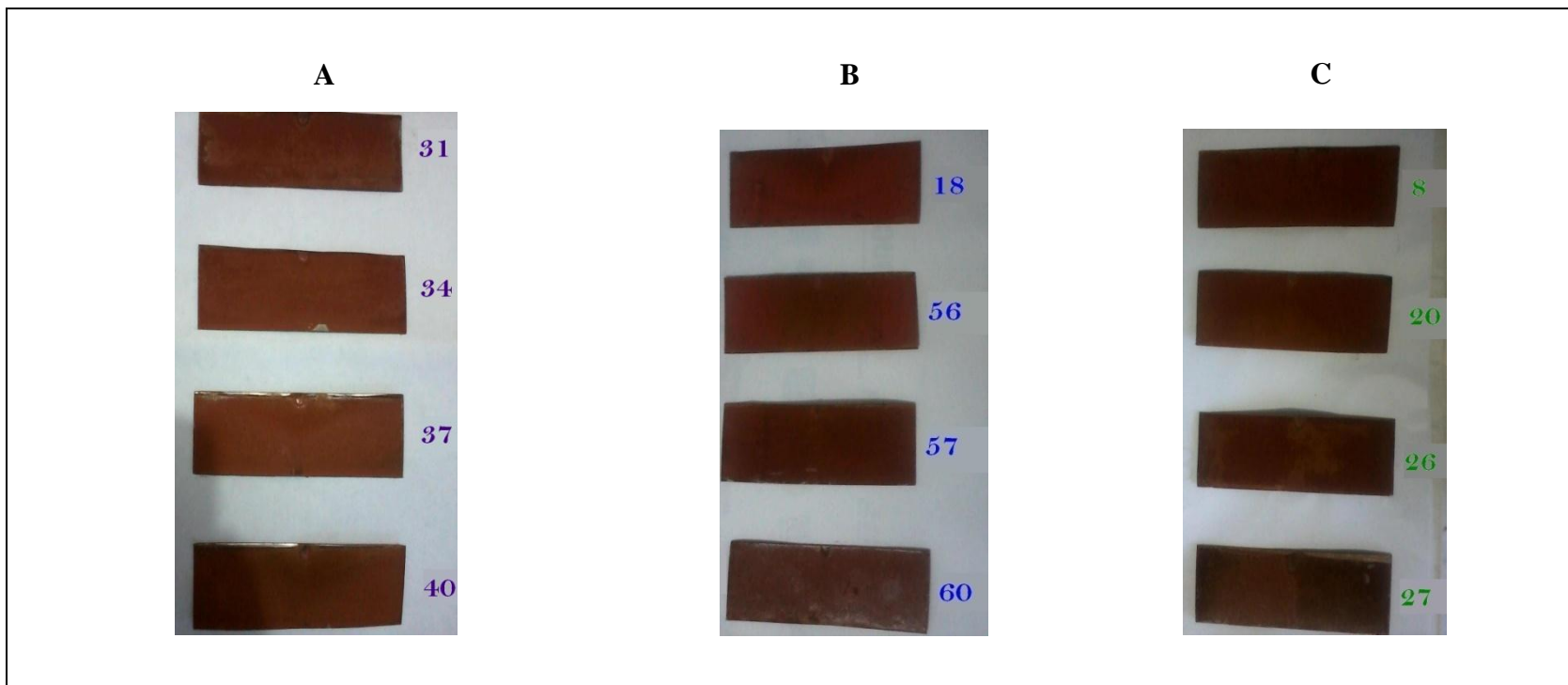
NOTAS	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	RESULTADOS RECUBRIMIENTOS METÁLICOS		
A: Variación de voltaje. B: Variación de tiempo.		LÁMINA	ESCALA	FECHA
	Realizado por:ANA ALVAREZ GABRIELA CHANGO	1	s/e	2012-10-10

Anexo 12 Resultados de las pruebas de cobreado ácido 0,1 M



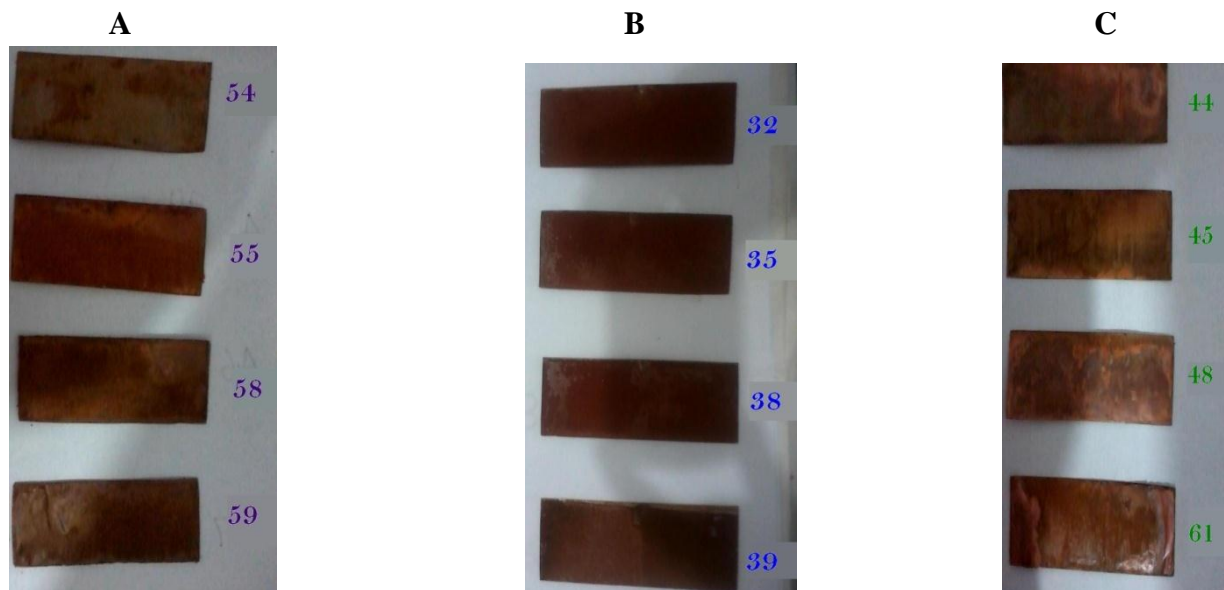
NOTAS	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	RESULTADOS RECUBRIMIENTOS METÁLICOS		
A: Variación de voltaje. B: Variación de tiempo. C: Variación de temperatura.		LÁMINA	ESCALA	FECHA
		Realizado por:ANA ALVAREZ GABRIELA CHANGO	2	s/e

Anexo 13 Resultados de las pruebas de cobreado ácido 0,2 M



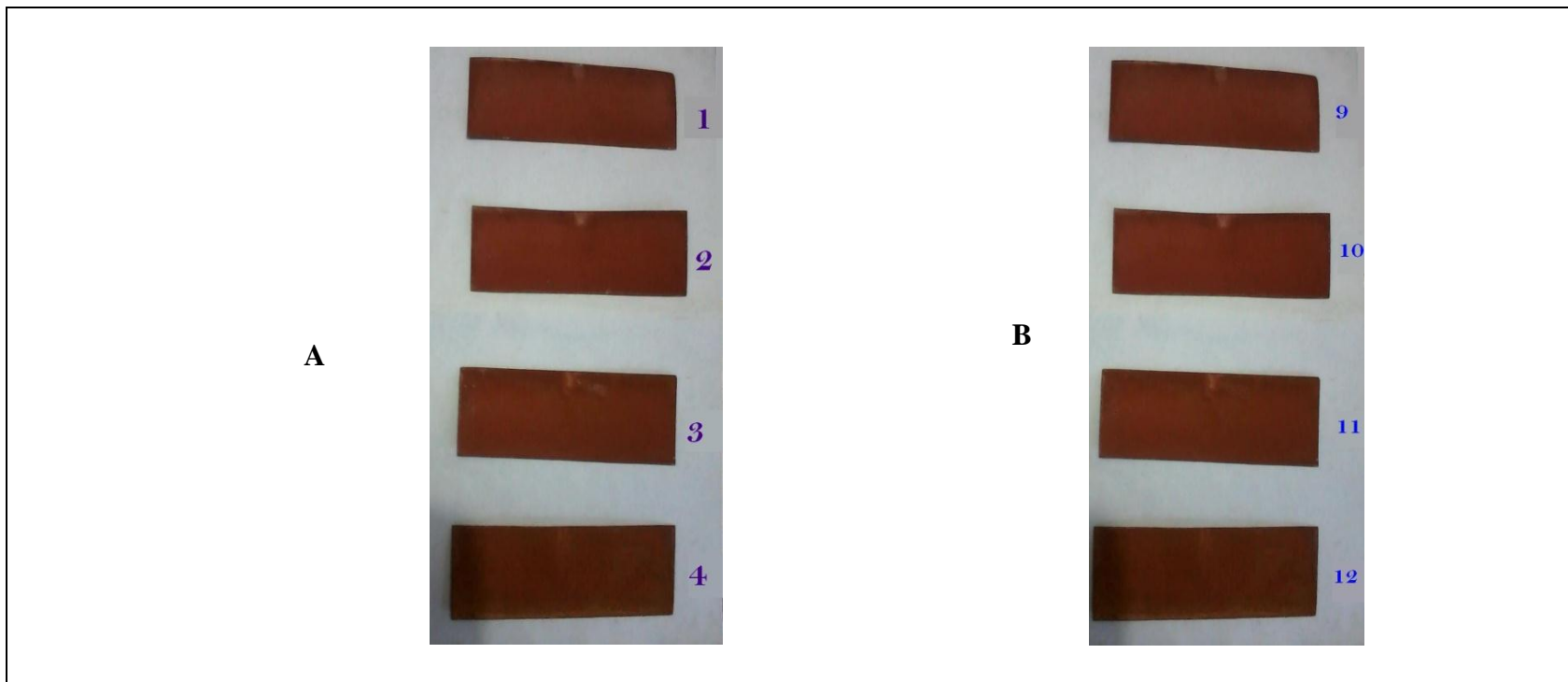
NOTAS	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	RESULTADOS RECUBRIMIENTOS METÁLICOS		
A: Variación de voltaje. B: Variación de tiempo. C: Variación de temperatura.		LÁMINA	ESCALA	FECHA
		Realizado por:ANA ALVAREZ GABRIELA CHANGO	3	s/e

Anexo 14 Resultados de las pruebas de cobreado ácido 0,8 M



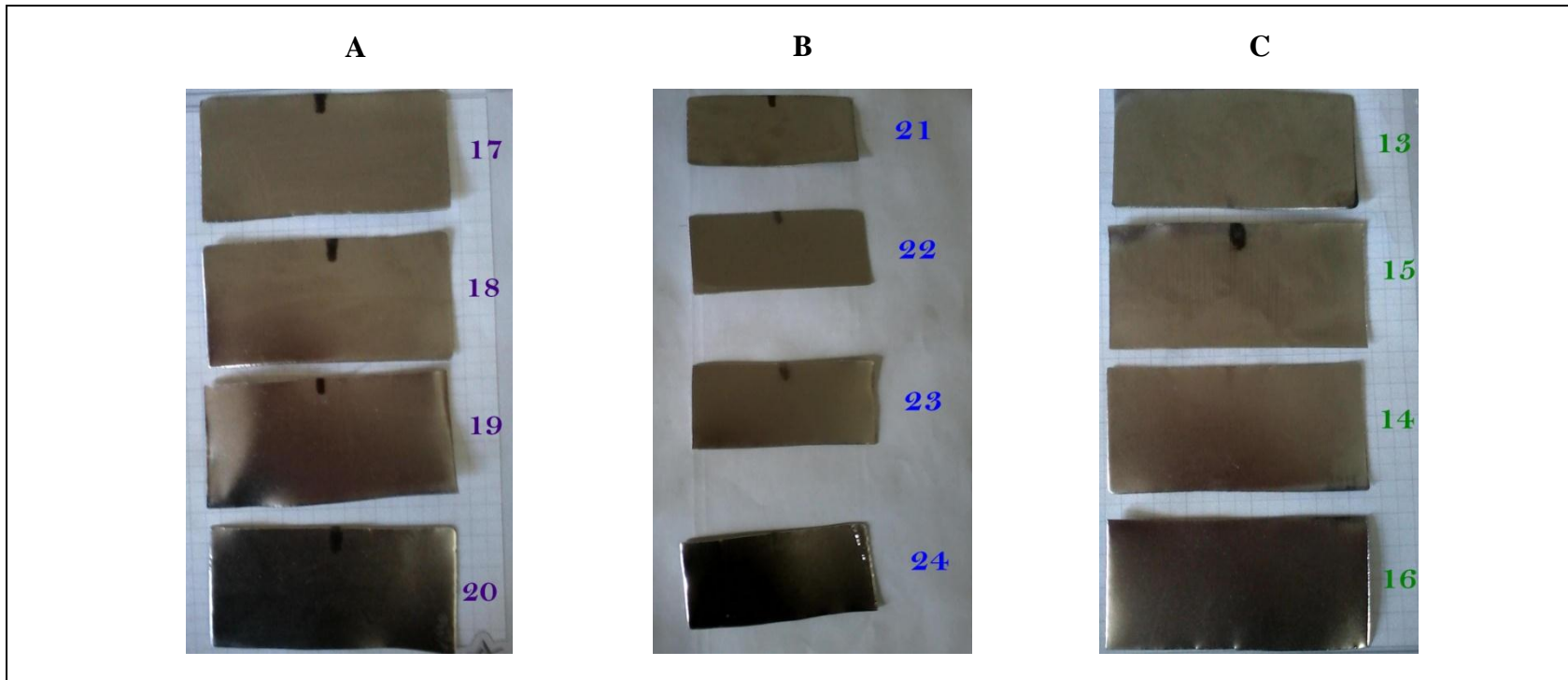
NOTAS	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	RESULTADOS RECUBRIMIENTOS METÁLICOS		
		LÁMINA	ESCALA	FECHA
A: Variación de voltaje. B: Variación de tiempo. C: Variación de temperatura.	Realizado por: ANA ALVAREZ GABRIELA CHANGO	4	s/e	2012-10-10

Anexo 15 Resultados de las pruebas de cobreado alcalino.



NOTAS	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	RESULTADOS RECUBRIMIENTOS METÁLICOS		
A: Variación de voltaje. B: Variación de tiempo.		LÁMINA	ESCALA	FECHA
	Realizado por:ANA ALVAREZ GABRIELA CHANGO	5	s/e	2012-10-10

Anexo 16 Resultados de las pruebas de niquelado



NOTAS	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	RESULTADOS RECUBRIMIENTOS METÁLICOS		
A: Variación de voltaje. B: Variación de tiempo. C: Variación de temperatura.		LÁMINA	ESCALA	FECHA
		Realizado por:ANA ALVAREZ GABRIELA CHANGO	6	s/e

Anexo 17Planta piloto para recubrimientos metálicos.



Anexo 18

Manual de operación

MANUAL DE OPERACIÓN DE LA PLANTA PILOTO PARA RECUBRIMIENTOS METÁLICOS

ARRANQUE PARA LA OPERACIÓN DIARIA

Para el adecuado arranque se requiere de la preparación adecuada por parte del operador, es decir, la revisión de:

- ❖ Conexiones eléctricas
- ❖ Baños electrolíticos
- ❖ Los bastidores (lagartos)
- ❖ Voltímetro y amperímetro

INSPECCIÓN PREVIA AL ARRANQUE DE LA PLANTA PILOTO

Verifíquese la integración física de la planta piloto y los componentes antes del encendido. Compruebe que las tomas eléctricas (rectificador, calentador y ventilador) estén conectadas a la red eléctrica pero que los switches del panel de control estén apagados, también que los multimetros estén encendidos pues cierran el circuito eléctrico para el funcionamiento.

ENCENDIDO

PASOS A SEGUIR

- ❖ Verificar que los controles estén apagados.
- ❖ Conectar a la red eléctrica las entradas del ventilador, rectificador y calentador
- ❖ Realizar la conexión del voltímetro y el amperímetro. La perilla del voltímetro funciona en 20V y el amperímetro en 10A (sirven como switch en el proceso de medición)
- ❖ Fijar el voltaje girando la palanca del rectificador y visualizando su medición en el voltímetro digital.
- ❖ Encender el ventilador presionando ON en el panel de control
- ❖ Colocar las cubas con cada una de las soluciones según el proceso a realizarse.

NOTAS	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR: Ana Álvarez y Gabriela Chango.	PLANTA PILOTO PARA RECUBRIMIENTOS METÁLICOS		
		LAMINA	ESCALA	FECHA
		1/2	X: Y:	2012-10-10

- ❖ Colocamos en los bastidores el ánodo y el cátodo según corresponda
- ❖ Procedemos a conectar los bastidores en los conectores colocados en el soporte encima de las cubas.
- ❖ Contabilizar el tiempo del proceso utilizando un cronómetro.
- ❖ Presionar el botón ON del rectificador en el panel de control estableciendo el inicio del proceso.
- ❖ Observamos el amperaje y voltaje en los medidores para establecer las debidas conclusiones.
- ❖ Al culminar el tiempo del proceso procedemos a presionar OFF del rectificador
- ❖ Desconectamos los bastidores del soporte y con una pinza retiramos las piezas recubiertas.

ENCENDIDO DEL CALENTADOR

En los baños de cobreado ácido y niquelado es necesario el cambio de temperatura por lo que se debe realizar lo siguiente:

- ❖ Encender el ventilador presionando ON en el panel de control
- ❖ Colocar las cubas con los baños en la mesa portacubas.
- ❖ Conectar el calentador en el soporte en los conectores preestablecidos.
- ❖ Verificar que se encuentre sumergido en la solución para evitar que se quemé.
- ❖ Presionar ON del calentador en el panel de control.
- ❖ Controlar con el termómetro la temperatura a la cual se desea llegar.
- ❖ Al tener la temperatura deseada presionar OFF del calentador en el panel de control.
- ❖ Luego proceder a desconectar el calentador del soporte y continuar con el proceso.

Nota: No desconectar el calentador del soporte mientras el swich del mismo en el panel de control este encendido ya que funciona con 110V y podría sufrir una descarga.

APAGADO

Al término de los ensayos proceder a apagar todos los swich del panel de control. Finalmente desconectar del sistema Eléctrico y realizar la limpieza respectiva

NOTAS	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	PLANTA PILOTO PARA RECUBRIMIENTOS METÁLICOS		
		LAMINA	ESCALA	FECHA
		2/2	X: Y:	2012-10-10
REALIZADO POR: Ana Álvarez y Gabriela Chango.				

Anexo 19

Planos de la planta piloto para recubrimientos metálicos