



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA
ENERGÍA Y MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE
UN MODELO PARA EL PROCESO DE GALVANIZADO POR
INMERSIÓN EN CALIENTE, EN CUMPLIMIENTO CON LA
NORMA ASTM A123**

AUTORES:

AYALA ALMEIDA, GABRIELA FERNANDA

CHÁVEZ EGAS, JOSÉ LUIS

DIRECTOR: ING. SEGURA, LUIS

SANGOLQUÍ

2016



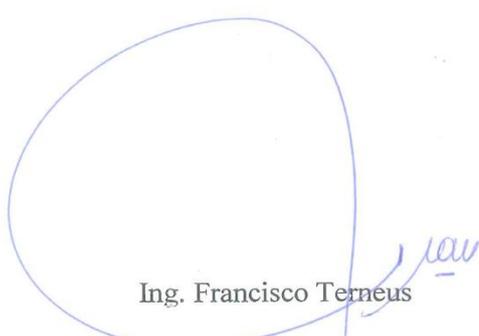
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGIA Y MECANICA

CARRERA DE INGENIERIA MECATRONICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente proyecto titulado, **“DISEÑO, CONSTRUCCION E IMPLEMENTACION DE UN MODELO PARA EL PROCESO DE GALVANIZADO POR INMERSION EN CALIENTE, EN CUMPLIMIENTO CON LA NORMA ASTM A123”**, realizado por el Señor **JOSÉ LUIS CHÁVEZ EGAS** y la Señorita **GABRIELA FERNANDA AYALA ALMEIDA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos , científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **JOSÉ LUIS CHÁVEZ EGAS** y la Señorita **GABRIELA FERNANDA AYALA ALMEIDA**, para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 15 de septiembre del 2016



Ing. Francisco Terneus

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE
INGENIERIA MECATRÓNICA**



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGIA Y MECANICA

CARRERA DE INGENIERIA MECATRONICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

NOSOTROS GABRIELA FERNANDA AYALA ALMEIDA con cédula de identidad N° 0401509633 y **JOSE LUIS CHAVEZ EGAS** con cédula de identidad N° 1724981905, declaramos que este trabajo de titulación **“DISEÑO, CONSTRUCCION E IMPLEMENTACION DE UN MODELO PARA EL PROCESO DE GALVANIZADO POR INMERSION EN CALIENTE, EN CUMPLIMIENTO CON LA NORMA ASTM A123”**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 15 de septiembre del 2016

GABRIELA FERNANDA AYALA ALMEIDA

0401509633

JOSE LUIS CHAVEZ EGAS

1724981905



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGIA Y MECANICA
CARRERA DE INGENIERIA MECATRONICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **GABRIELA FERNANDA AYALA ALMEIDA** y **JOSE LUIS CHAVEZ EGAS**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO, CONSTRUCCION E IMPLEMENTACION DE UN MODELO PARA EL PROCESO DE GALVANIZADO POR INMERSION EN CALIENTE, EN CUMPLIMIENTO CON LA NORMA ASTM A123**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 15 de septiembre del 2016

GABRIELA FERNANDA AYALA ALMEIDA

0401509633

JOSE LUIS CHAVEZ EGAS

1724981905

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a Dios, quien me ha dado la fuerza, y sabiduría para lograr culminar este proceso.

De igual manera a mis padres Miguel e Irene quienes con su ejemplo de sacrificio y superación me han trasmitido los mejores valores y enseñanzas de vida.

A mis hermanos Andrea, Nixon y Danielita quienes me han apoyado incondicionalmente, brindándome las fuerzas necesarias para seguir adelante y poder culminar esta etapa.

A mis Abuelitos Victoria, Rigoberto, Agustín y Amada por brindarme sus consejos y por haberme cuidado a lo largo de estos años.

Gracias familia por ser mi motor de vida, por darme la fortaleza, el aliento, y el apoyo incondicional para conseguir esta meta.

Gabriela Ayala Almeida

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación a que contribuya en la educación de las personas que cambiaran el mundo.

José Luis Chávez Egas

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermanos quienes son pilares fundamentales en mi formación personal y académica, a ustedes me debo, y no me alcanzará la vida para retribuirles el amor el apoyo y la confianza que han depositado en mí.

A mis Tías Doris y Lilian por brindarme su apoyo y palabras de aliento cuando las necesite.

A mi novio Alex R. por haberme acompañado a lo largo de este proyecto brindándome su cariño y consejos para alcanzar el objetivo planteado.

Quiero agradecer de manera especial a mi director de tesis el Ing. Luis Segura por sus conocimientos y orientaciones han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A los docentes del laboratorio de procesos de manufactura de manera especial al Ing. Roberty Velasco, quien con sus enseñanzas y consejos ayudó a resolver muchas inquietudes que se iban presentando a lo largo del este desarrollo.

Al Ing. Edgar Ormaza, Ing. Santiago Flores por brindarme sus conocimientos y por ser parte de la culminación de esta tesis, gracias amigos.

Gabriela Ayala Almeida

AGRADECIMIENTO

Agradezco por este logro alcanzado a mi mami que me está cuidando desde el cielo, porque gracias a ella soy una persona llena de cualidades y virtudes, que me han impulsado a esforzarme y ser responsable en el cumplimiento de mis objetivos.

A mi esposa por su apoyo en todo sentido, quien amorosamente me ha ayudado a mejorar y me ha motivado con paciencia para no rendirme.

A mis amigos quienes generosamente me brindaron su tiempo, ideas y conocimiento.

A mi familia y docentes por su ayuda durante el desarrollo y finalización de este proyecto.

José Luis Chávez Egas

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE CUADROS.....	xvi
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii
CAPÍTULO 1	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Definición del problema.....	2
1.4 Objetivos	2
1.1.1. General.....	2
1.1.2. Específicos	2
1.5 Justificación.....	2
1.6 Alcance.....	3
1.1.3. Componentes Mecánicos	4
1.1.4. Sistema de acople en los ejes vertical y horizontal (X e Y).	4
1.1.5. Plataforma base.....	4
1.1.6. Componentes Electrónicos/Eléctricos.	4
1.1.7. Sistema de Sensores.....	5

1.1.8.	Circuito de potencia	5
1.1.9.	Adquisición de datos	5
1.1.10.	Controlador	5
1.7	Metodología	7
1.8	Estructura del documento	8
CAPITULO 2		9
2.1	Estado del Arte	9
2.2	Recubrimientos Superficiales	9
2.3	Clasificación de Recubrimientos Superficiales Metálicos	10
2.3.1	Estañado	10
2.3.2	Cromado	11
2.3.3	Niquelado	12
2.3.4	Cobrizado	13
2.3.5	Anodizado	13
2.3.6	Galvanización por Inmersión en Caliente	14
2.4	Alistamiento y Proceso Productivo del Galvanizado en Caliente	15
2.4.1	Amarre y Colgado de las piezas	16
2.4.2	Etapas para la Galvanización en Caliente	16
2.5	Diseño para Galvanizar	20
2.5.1	Tamaño y Forma de las piezas	21
2.6	Estructura del recubrimiento Galvánico por Inmersión en caliente	23
2.7	Comportamiento del Acero Galvanizado	27
2.8	Medición del Revestimiento	28
2.8.1	Espesor del revestimiento	30
2.8.2	Peso del revestimiento	32
2.8.3	Pruebas de Inspección	33
2.8.4	Retoque y reparación del revestimiento	34

2.9	Ventajas del Proceso de Galvanizado en Caliente	35
2.10	Normas Internacionales para Galvanizado.....	36
2.11	Resumen.....	38
CAPÍTULO 3		40
3.1	Diseño e implementación.....	40
3.2	Definición de necesidades.....	40
3.3	Definición de especificaciones.....	41
3.4	Definición de la estructura funcional	41
3.5	Definición de alternativas de diseño	42
3.5.1	Módulo 1: Interfaz.....	42
3.5.2	Módulo 2: Indicadores.....	42
3.5.3	Módulo 3. Controlador lógico	42
3.5.4	Módulo 4. Movilidad.....	42
3.5.5	Módulo 5. Control	44
3.5.6	Módulo 6. Instrumentación	45
3.5.7	Módulo 7. Protección	45
3.5.8	Módulo 8. Sistema de calentamiento para la fundición	45
3.5.9	Módulo 9. Estructura del horno.....	51
3.6	Selección de Alternativas.....	59
3.6.1	Módulo 1. Interfaz	59
3.6.2	Módulo 2. Indicadores.....	62
3.6.3	Módulo 3. Controlador lógico	64
3.6.4	Módulo 4. Movilidad.....	67
3.6.4.	Módulo 5. Control.....	70
3.6.5.	Módulo 6. Instrumentación.....	71
3.6.6.	Módulo 7. Protección.....	78

3.6.7.	Módulo 8. Sistema de calentamiento para la fundición.....	83
3.6.8.	Módulo 9. Estructura del horno	84
3.7.	Evaluación y selección de diseño.....	90
3.7.1.	Módulo 1.....	90
3.7.2.	Módulo 2.....	92
3.7.3.	Módulo 3.....	93
3.7.4.	Módulo 4.....	95
3.7.5.	Módulo 5.....	98
3.7.6.	Módulo 6.....	100
3.7.7.	Módulo 7.....	103
3.7.8.	Módulo 8.....	106
3.7.9.	Módulo 9.....	108
3.8.	Definición del diseño	113
3.9.	Resumen.....	113
CAPÍTULO 4.....		115
4.1.1.	Diseño de las paredes del horno	115
4.1.2.	Construcción de la estructura metálica del horno.....	117
4.1.3.	Diseño del Sistema mecánico de inmersión.	119
4.1.4.	Construcción del sistema mecánico de inmersión	119
4.1.5.	Construcción de protección para las paredes del horno.....	122
4.2.	Diseño del sistema eléctrico de Potencia.	122
4.2.1.	Diseño eléctrico para los motores DC.	123
4.3.	Resumen.....	124
CAPÍTULO 5.....		125
5.1.	Rango 1.- piezas <1,6 [mm]	128
5.2.	Rango 2: $\geq 1,6$ a 3,2 [mm].....	129
5.3.	Rango 3: $\geq 3,2$ a 4,8 [mm].....	130

5.4. Resumen.....	132
CAPÍTULO 6.....	133
ANÁLISIS FINANCIERO Y ECONÓMICO.....	133
6.1 Análisis Financiero.....	133
6.3. Análisis Económico.....	140
6.4. Resumen.....	143
CAPÍTULO 7.....	145
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	145
7.1. Conclusiones	145
7.2. Recomendaciones	146
BIBLIOGRAFÍA	147
ANEXOS	150

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema del Sistema Mecánico	4
Figura 2 Esquema del Sistema Electrónico y Eléctrico.	5
Figura 3 Esquema del Sistema de Control.	6
Figura 4 Productos galvanizados	16
Figura 5 Desengrasado de pieza.....	17
Figura 6 Limpieza de la pieza en Ácido clorhídrico	17
Figura 7 Limpieza el de pieza previa al baño de sales.....	18
Figura 8 Baño de sales (Flux)	18
Figura 9 Secado de pieza a 80 °C	19
Figura 10 Proceso de galvanizado por inmersión en caliente.....	19
Figura 11 Reposo de la pieza galvanizada	20
Figura 12 Proceso de Galvanizado por inmersión en caliente	20
Figura 13 Recorte de los deflectores internos	21
Figura 14 Recorte de los deflectores internos	21
Figura 15 Recorte de los deflectores internos	22
Figura 16 Disposición de los bordes por soldadura continúa	22
Figura 17 Ensamble de tubos por soldadura, a) forma de ingletes abiertos,.....	23
Figura 18 Orificios de ventilación en perfiles tubulares	23
Figura 19 Medidor de estilo lápiz	30
Figura 20 Medidor de espesor banana	31
Figura 21 Medidor de espesor digital	31
Figura 22 Microscopia óptica.	32
Figura 23 Motor DC CEP CEP de Bosch	44
Figura 24 Descripción de la Curva de Carga específica	47
Figura 25 Análisis de transferencia de calor	50
Figura 26 Estabilización de voltaje y temperatura.....	52
Figura 27 Equilibrio de Voltaje y Temperatura de reóstatos	52
Figura 28 Parámetros de Cálculo de coeficiente de conductividad	53
Figura 29 Circuito térmico equivalente para una pared compuesta en serie	55
Figura 30 Circuito térmico equivalente para una pared compuesta en serie	56
Figura 31 Diagrama de fuerzas aplicadas	57

Figura 32 Diagrama de cuerpo libre	57
Figura 33 Diagrama de fuerzas y momentos combinados	58
Figura 34 Diagrama de Fuerzas Cortantes y Momentos Flectores	59
Figura 35 Selección de Termocuplas, según su composición química.....	73
Figura 36 Máquina de medición de conductividad Térmica.....	115
Figura 37 Corte y medición de ladrillos refractarios	116
Figura 38 Maquinado de ranuras para la niquelina.....	117
Figura 39 Medición, corte y soldadura de la base del horno	117
Figura 40 Armado de las paredes del horno en la estructura metálica	118
Figura 41 Montaje de Niquelina en las paredes del horno.....	118
Figura 42 Diseño CAD del sistema mecánico de inmersión.	119
Figura 43 Soporte del sistema de inmersión	120
Figura 44 Rieles para el transporte del material.	120
Figura 45 Torneado de las ruedas	121
Figura 46 Recipiente para la inmersión de las piezas a galvanizar.....	122
Figura 47 Construcción de malla para protección.	122
Figura 48 Esquema eléctrico de control y potencia.	123
Figura 49 Puente H, circuito integrado.	123
Figura 50 Pieza con poco tiempo de sumergido.	126
Figura 51 Pieza con residuos al momento de sacarla de la colada.	126
Figura 52 Horno para secado de piezas.	127
Figura 53 Limpieza de residuos en la colada de zinc.	127
Figura 54 Perfil estructural antes de ser galvanizado	128
Figura 55 Perfil estructural galvanizado	128
Figura 56 Tubo cuadrado antes de galvanizar	129
Figura 57 Tubo cuadrado galvanizado.....	129
Figura 58 Perfil estructural antes de galvanizar.....	130
Figura 59 Perfil estructural galvanizado.....	131

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Tipos de Recubrimientos Superficiales	10
Cuadro 2 Ventajas y desventajas del Estañado por Inmersión	11
Cuadro 3 Ventajas y desventajas del Cromado	11
Cuadro 4 Ventajas y desventajas del Niquelado.....	12
Cuadro 5 Ventajas y desventajas del Cobrizado.....	13
Cuadro 6 Ventajas y desventajas del Anodizado.....	14
Cuadro 8 Ventajas y desventajas del Galvanizado por.....	15
Cuadro 8 Comparación de las Principales características del Galvanizado	25
Cuadro 10 Normas Internacionales para Galvanizado	36
Cuadro 10 Detalle de necesidades	40
Cuadro 11 Módulos del proceso de galvanizado	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición y Propiedades de las capas de aleación en.....	25
Tabla 2 Protección por años según espesor de zinc y tipo de atmosfera	28
Tabla 3 Grados de espesor de revestimiento de A123/A 123M de la ASTM.....	28
Tabla 4 Mínimo espesor de revestimiento de ASTM a123/a123M	29
Tabla 5 Mínimo espesor de revestimiento de ASTM A 153/A 153M.....	29
Tabla 6 Detalle de especificaciones	41
Tabla 7 Resistividad eléctrica de las aleaciones Fe-Cr-Al.....	47
Tabla 8 Especificaciones de alambre Kanthal A-1	48
Tabla 9 Diámetro de espiral y paso del arrollamiento	49
Tabla 10 Parámetros de Cálculo de coeficiente de Conductividad.....	53
Tabla 11 Características técnicas Pantalla Nextion NX3224T028	60
Tabla 12 Características del Panel Simatic HMI	61
Tabla 13 Características de Interfaz gráfica por Ordenador	61
Tabla 14 Características de Indicador luminoso LED	62
Tabla 15 Características de indicador de alimentación Piloto	63
Tabla 16 Indicador luminoso LED.....	63
Tabla 17 Características técnicas PLC	64
Tabla 18 Características técnicas Raspberry Pi.....	65
Tabla 19 Características técnicas Arduino	66
Tabla 20 Características del Motor paso a paso	67
Tabla 21 Características de Servomotor Futuba S3003	68
Tabla 22 Características de Controlador de temperatura PID.....	70
Tabla 23 Características de controlador de temperatura ON-OFF.....	71
Tabla 24 Características Técnicas Termocuplas Metálicas.....	72
Tabla 25 Características Técnicas RTD	74
Tabla 26 Características Técnicas Termistores.....	75
Tabla 27 Características Técnicas Sensor ultrasónico	76
Tabla 28 Características Técnicas Sensor Infrarrojo.....	76
Tabla 29 Características Técnicas Sensor Fin de Carrera	77
Tabla 30 Características Técnicas fusible de expulsión.....	78
Tabla 31 Características Técnicas fusible limitador de corriente	79

Tabla 32 Características Técnicas Relé de estado solido.....	80
Tabla 33 Características Técnicas Relé de estado solido.....	81
Tabla 34 Características Técnicas del Contactador	82
Tabla 35 Características de Crisol de Grafito	85
Tabla 36 Características de Crisol de Porcelana	85
Tabla 37 Características del Crisol de Hierro fundido.....	86
Tabla 38 Características de la Arcilla Refractaria.....	87
Tabla 39 Características de Mortero refractario.....	88
Tabla 40 Características de Cemento Refractario	88
Tabla 41 Características de Ladrillo refractario.....	89
Tabla 42 Características de Ladrillo de tejar.....	90
Tabla 43 Criterio de ponderación para la selección de Interfaz grafica.....	90
Tabla 44 Resolución en el análisis de las posibles soluciones.....	91
Tabla 45 Área Visual en el análisis de las posibles soluciones.....	91
Tabla 46 Costos en el análisis de las posibles soluciones.....	91
Tabla 47 Conclusiones de selección.....	91
Tabla 48 Criterio de ponderación para la selección de Indicadores luminosos	92
Tabla 49 Costo en el análisis de las posibles soluciones	92
Tabla 50 Montaje en el análisis de las posibles soluciones.....	92
Tabla 51 Luminosidad en el análisis de las posibles soluciones.....	93
Tabla 52 Conclusiones de selección.....	93
Tabla 53 Criterio de ponderación para Controladores Lógicos	94
Tabla 54 Facilidad de Uso en el análisis de las posibles soluciones.....	94
Tabla 55 Costo en el análisis de las posibles soluciones	94
Tabla 56 Mantenimiento en el análisis de las posibles soluciones	94
Tabla 57 Conclusiones de selección.....	95
Tabla 58 Criterio de ponderación para la movilidad del Sistema	95
Tabla 59 Costo en el análisis de las posibles soluciones	96
Tabla 60 Instalación en el análisis de las posibles soluciones	96
Tabla 61 Control en el análisis de las posibles soluciones.....	96
Tabla 62 Conclusiones de selección.....	96
Tabla 63 Criterio de ponderación para la movilidad del Sistema	97

Tabla 64	Temperatura de funcionamiento en el análisis.....	97
Tabla 65	Vida útil en el análisis de las posibles soluciones.....	97
Tabla 66	Deslizamiento por fricción en el análisis de las posibles soluciones.....	98
Tabla 67	Conclusiones de selección.....	98
Tabla 68	Criterio de ponderación para la movilidad del Sistema	99
Tabla 69	Rango de temperatura en el análisis de las posibles soluciones	99
Tabla 70	Tipo de entrada en el análisis de las posibles soluciones.....	99
Tabla 71	Visualización en el análisis de las posibles soluciones.....	99
Tabla 72	Conclusiones de selección.....	100
Tabla 73	Criterio de ponderación para Sensores de Temperatura	100
Tabla 74	Rango de Temperatura en el análisis de las posibles soluciones	101
Tabla 75	Precisión en el análisis de las posibles soluciones	101
Tabla 76	Sensibilidad en el análisis de las posibles soluciones	101
Tabla 77	Conclusiones de selección.....	101
Tabla 78	Criterio de ponderación para Sensores de Proximidad.	102
Tabla 79	Distancia de detección en el análisis de las posibles soluciones.....	102
Tabla 80	Robustez en el análisis de las posibles soluciones	102
Tabla 81	Temperatura de trabajo en el análisis de las posibles soluciones.....	103
Tabla 82	Conclusiones de selección.....	103
Tabla 83	Criterio de ponderación para Fusibles de Potencia.	104
Tabla 84	Corriente nominal en el análisis de las posibles soluciones.....	104
Tabla 85	Costo en el análisis de las posibles soluciones	104
Tabla 86	Mantenimiento en el análisis de las posibles soluciones	104
Tabla 87	Conclusiones de selección.....	105
Tabla 88	Criterio de ponderación para Relés.	105
Tabla 89	Rango de Corriente en el análisis de las posibles soluciones	105
Tabla 90	Temperatura de funcionamiento en el análisis.....	106
Tabla 91	Tiempo de respuesta en el análisis de las posibles soluciones.....	106
Tabla 92	Conclusiones de selección.....	106
Tabla 93	Criterio de ponderación para el sistema de calentamiento.....	107
Tabla 94	Contaminación en el análisis de las posibles soluciones	107
Tabla 95	Costo en el análisis de las posibles soluciones	107

Tabla 96	Seguridad en el análisis de las posibles soluciones.....	107
Tabla 97	Conclusiones de selección.....	108
Tabla 98	Criterio de ponderación para la construcción del horno.	108
Tabla 99	Temperatura que soporta en el análisis de las posibles soluciones.....	109
Tabla 100	Dimensiones que soporta en el análisis de las	109
Tabla 101	Capacidad Volumétrica que soporta en el análisis.....	109
Tabla 102	Conclusiones de selección.....	109
Tabla 103	Criterio de ponderación para la construcción del horno.	110
Tabla 104	Conductividad Térmica que soporta en el.....	110
Tabla 105	Resistencia térmica que soporta en el análisis	110
Tabla 106	Tiempo de secado que soporta en el análisis	111
Tabla 107	Conclusiones de selección.....	111
Tabla 108	Criterio de ponderación para la construcción del horno.	111
Tabla 109	Conductividad Térmica en el análisis de las posibles soluciones.....	112
Tabla 110	Temperatura máxima de trabajo en el análisis.....	112
Tabla 111	Dimensiones en el análisis de las posibles soluciones	112
Tabla 112	Conclusiones de selección.....	112
Tabla 113	Selección de diseños a usar en cada módulo.....	113
Tabla 114	Mínima media del espesor en revestimiento del grado.....	125
Tabla 115	Grado del espesor de revestimiento, Norma ASTM A123	125
Tabla 116	Costos de materiales mecánicos.....	133
Tabla 117	Costos de materiales eléctricos y electrónicos	134
Tabla 118	Costos materiales para la estructura.....	134
Tabla 119	Costos materiales para galvanizar	135
Tabla 120	Accesorios eléctricos y electrónicos	135
Tabla 121	Accesorios para la estructura	135
Tabla 122	Costos de Accesorios	136
Tabla 123	Costos Directos Totales.....	136
Tabla 124	Mano de obra directa.....	137
Tabla 125	Costo de mano de obra Directa	137
Tabla 126	Costo máquinas herramientas	138
Tabla 127	Costo totales directos	138

Tabla 128 Costos Indirectos Totales	139
Tabla 129 Costos de mano de obra indirecta	139
Tabla 130 Costos totales indirectos.....	139
Tabla 131 Costo total del proyecto	140
Tabla 132 Costo del consumo energético.	141
Tabla 133 Costos del modelo para galvanización en caliente por hora.	141
Tabla 134 Flujo de caja proyectada a 10 años	142
Tabla 135 Valores de VAN, TIR, B/C	143

RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo es Diseñar, construir e implementar un modelo para realizar el proceso de galvanizado por inmersión en caliente. En el presente se habla sobre los componentes mecánicos, eléctricos y de control que facilitarían la implementación del modelo, también se hace referencia a la serie de etapas que debe cumplir el material a galvanizar para obtener resultados favorables. Involucra temas como recubrimientos superficiales, amarre y colgado de piezas, etapas para la galvanización en caliente entre otros. Se centra en el desarrollo de alternativas de diseño y el análisis respectivo de cada una de ellas para determinar la mejor opción a implementar, también se habla de la justificación matemática de los elementos utilizados. Se trata de la construcción e implementación de todos los elementos en un mismo sistema, para la parte de control y potencia. Después de la implementación se realizaron las pruebas funcionales del modelo, en las cuales se puede comprobar que la implementación del modelo para galvanizado cumple con los requerimientos solicitados según la Norma ASTM A123. Los análisis económico y financiero permitieron conocer el beneficio que obtiene la universidad al adquirir esta máquina en vez de importar una máquina de características similares. El trabajo finaliza con conclusiones y recomendaciones para futuros trabajos de galvanización por inmersión en caliente.

PALABRAS CLAVES:

- **GALVANIZADO**
- **RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL**
- **ETAPAS PARA LA GALVANIZACIÓN EN CALIENTE**
- **NORMA ASTM A123**

ABSTRACT

The principal objective of this investigation is to design, build, and implement a model for the process of hot-dip galvanized. In the present document there are explanations about the mechanical, electric, and control components that will facilitate the model implementation. There are described the different stages that the material should satisfy in the galvanized process in order to obtain favorable results. They involves themes like surface coatings, mooring and hanging pieces, stages for hot dip galvanizing. This is focused on the development of design alternatives, the respective analysis of them, determine the best option to implement, and mathematical justification of the elements used. This is about the build and implementation of all the elements in the same system for the control and power part. After the implementation, functional tests of the model were performed. Through the functional tests, it was prove that the implementation of galvanized model satisfy the requirements requested according to ASTM A123. The benefits for the University if it get this machine instead of get another imported similar machine, are showed with the economic and financial analysis. The investigation ends with conclusions and recommendations for future investigations of hot-dip galvanizing.

KEYWORDS:

- **GALVANIZED**
- **SURFACE COATING**
- **STAGES HOT DIP GALVANIZING**
- **ASTM A123**

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 Introducción

El presente proyecto tiene como tema el diseño, construcción e implementación de un modelo para el proceso de galvanizado por inmersión en caliente, en cumplimiento con la norma ASTM A123.

La característica principal de este proyecto es el uso de energía renovable, la cual será implementada con Niquelinas de alta potencia que generan el calor necesario para la fundición y posterior galvanización con zinc, tomando en cuenta que al sustituir el combustible fósil por energía eléctrica se preserva el medio ambiente y se evita la emisión de gases generados por la combustión de GLP y Bunker, utilizados generalmente en la Industria galvanizadora.

Además, en el presente capítulo, se detalla la justificación del desarrollo e importancia del presente proyecto de titulación, en beneficio de la asignatura Procesos de Manufactura II, impartida en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Finalmente, se presenta la definición de los objetivos generales, específicos y la metodología utilizada para elaboración del proyecto de titulación.

1.2 Antecedentes

El Laboratorio de Procesos de Manufactura ubicado en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, entró en funcionamiento al servicio de los estudiantes pertenecientes al Departamento de Ciencias de la Energía y la Mecánica desde 1981, año en el que fue instalada gran parte de la maquinaria que se encuentra actualmente disponible en el mismo.

Sin embargo, desde el año 2009 la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, cuando paso a ser una Institución Pública completamente, incremento el número de estudiantes y además implemento la asignatura Procesos de Manufactura II en la carrera de Ingeniería Mecatrónica, lo cual ha exigido una mayor demanda al

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, el cual no se encuentra en la capacidad de renovar o adquirir maquinaria para el Laboratorio.

En la Universidad se han planteado proyectos similares como es la elaboración de un horno para la fundición de aluminio y bronce mediante combustión, este se encuentra en el laboratorio de Ciencia de los Materiales.

1.3 Definición del problema

El principal inconveniente para el laboratorio de Procesos de Manufactura es que no cuenta con un equipo de galvanizado por inmersión en caliente, por lo tanto, no se puede poner en práctica los conocimientos adquiridos en la asignatura de Procesos de Manufactura II, es por esta razón que se ha planteado la elaboración de un modelo para galvanizado en caliente.

1.4 Objetivos

1.1.1. General

Realizar el diseño, construcción e implementación de un modelo que nos permita desarrollar el proceso de galvanizado por inmersión en caliente, realizando un control de temperatura para obtener un acabado superficial que cumpla con la Norma ASTM A123.

1.1.2. Específicos

- Diseñar la estructura mecánica que este en la capacidad de soportar todos los elementos del sistema de galvanizado.
- Realizar el diseño mecánico y térmico del equipo.
- Diseñar el sistema electrónico y de potencia que nos permita obtener un funcionamiento adecuado.
- Diseñar el sistema de control que nos permita minimizar errores en el proceso de galvanizado.

1.5 Justificación

El proyecto está dirigido al Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE, su principal beneficiario es el Laboratorio de Procesos de Manufactura, porque se desea implementar prácticas sobre

temas referentes a recubrimientos superficiales, el laboratorio no posee una máquina que realice el proceso de galvanizado por inmersión en caliente y en la industria este tipo de recubrimiento es de gran importancia.

Las prácticas sustentaran la información impartida por parte del docente en la materia de Procesos de Manufactura II.

El equipo a desarrollarse se empleará para investigaciones futuras en las diferentes maestrías que forman parte del Departamento de Ciencias de Energía y Mecánica, pues el tema de recubrimientos superficiales es de gran extensión y complejidad.

1.6 Alcance

El presente proyecto consiste en el diseño, construcción e implementación de un modelo para el proceso de galvanizado por inmersión, el cual estará destinado al laboratorio de Procesos de Manufactura de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Se utilizará sensores de temperatura para controlar el sobrecalentamiento del zinc y obtener un recubrimiento que cumpla con la Norma ASTM A123.

Mediante un HMI se podrá seleccionar el tipo de material y su espesor dando como resultado el tiempo que la pieza debe permanecer sumergida en el baño de zinc, adicionalmente se tendrá un mando manual en el cual se podrán realizar pruebas con el fin de calcular los tiempos de inmersión.

El proyecto está concentrado en las dos últimas etapas del proceso de galvanizado por inmersión en caliente (baño de zinc y control de calidad), y los pasos anteriores como preparación y limpieza deberán ser realizados por el practicante paso previo al recubrimiento de las piezas de trabajo.

Terminado el recubrimiento superficial se realizarán ensayos destructivos y no destructivos para la verificación de la Normas ASTM A123, una prueba destructiva nos indicará cómo se comportan los recubrimientos galvanizados frente a los golpes.

1.1.3. Componentes Mecánicos

El sistema mecánico corresponde a las tareas asignadas para esquematizar la parte mecánica de la plataforma y finalizarla de la mejor manera, como se observa en la Figura 1.

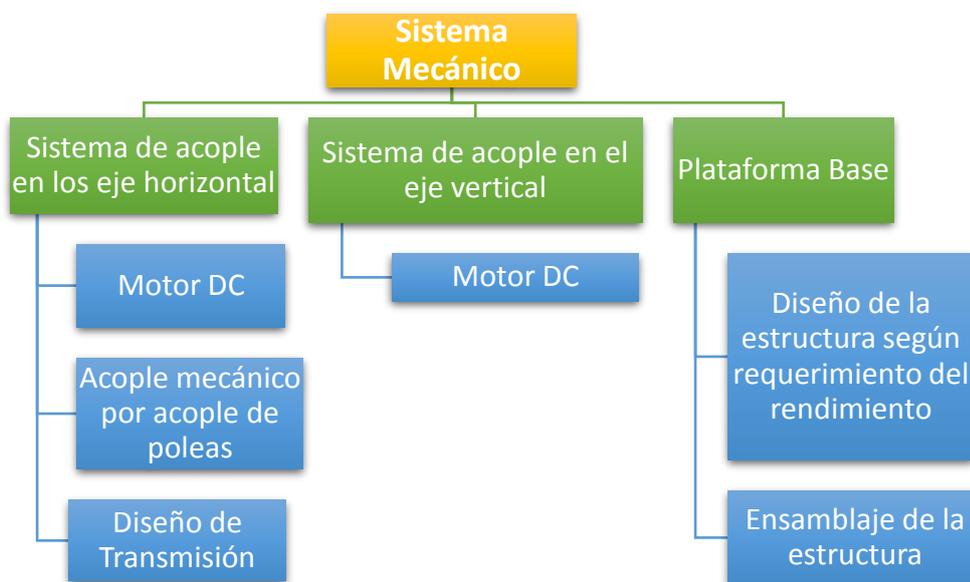


Figura 1 Esquema del Sistema Mecánico

1.1.4. Sistema de acople en los ejes vertical y horizontal (X e Y).

En este caso se usará dos motores DC, los cuales nos brindan el control de desplazamiento en los ejes X e Y. Por tal razón, se diseñará los acoples respectivos para que el motor pueda mover el sistema donde estará sujeta la pieza a galvanizar.

1.1.5. Plataforma base.

En este punto nos centraremos en el diseño más idóneo para realizar la estructura de acuerdo a las necesidades que vamos presentando, conforme se va desarrollando el proyecto y poder terminar con el ensamble de todo lo que se refiere al armazón o esqueleto del modelo.

1.1.6. Componentes Electrónicos/Eléctricos.

El Sistema Electrónico y Eléctrico permite configurar las aplicaciones del modelo mediante el uso de sensores y señales, (ver Figura 2).

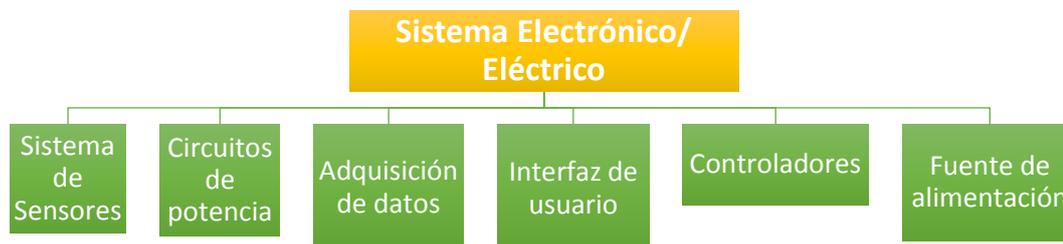


Figura 2 Esquema del Sistema Electrónico y Eléctrico.

1.1.7. Sistema de Sensores

En el sistema de sensores se contará con un sensor de temperatura que ayudará a mantener una temperatura constante de fundición evitando el sobrecalentamiento del zinc, adicionalmente para el movimiento en los ejes X e Y se utilizará fines de carrera que ayudará a colocar límites de posicionamiento.

1.1.8. Circuito de potencia

Los circuitos de potencia se usarán tanto para el manejo de motores como para el sistema de calentamiento. Por tanto, se usarán fusibles, varistores, interruptores y relés térmicos para salvaguardar al sistema en caso de una falla como cortocircuito o sobrecarga.

1.1.9. Adquisición de datos

Para la adquisición de datos se realizará por medio de la interfaz de usuario, donde el operador podrá ingresar datos como tipo de material y espesor a galvanizar, así como también el tiempo de sumergido que tendrán las piezas, tanto manualmente como automáticamente.

1.1.10. Controlador

Se usará un controlador que nos permita realizar:

- Control de movimiento para ejes X e Y.
- Control de temperatura para fundición del zinc.

- **Fuente de alimentación.**

Se usará circuitos de alimentación de 220 (V), por lo cual se usarán transformadores y conversores para alimentar los controladores y actuadores de la máquina.

- **Parte de control**

En esta etapa se cumplen todas las tareas que con llevan al control del modelo de galvanizado por inmersión en caliente, como se muestra en la Figura 3.

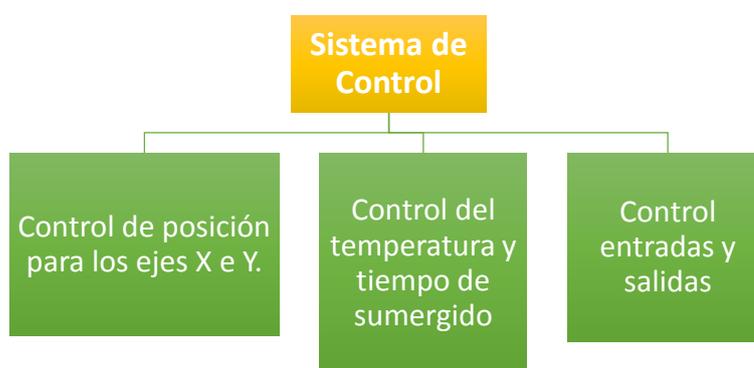


Figura 3 Esquema del Sistema de Control.

- **Control de posición para los ejes X e Y.**

Se usará fines de carrera para el control de posición de los ejes tanto para el ingreso del material a galvanizar como al momento de retirarlo del baño de zinc.

- **Control de temperatura y tiempo de sumergido**

Se usará termocuplas capaces de soportar temperaturas elevadas las cuales indicaran la temperatura del baño de zinc. Para el control de temperatura se empleará el uso de contactores de potencia que permitan energizar y desenergizar el sistema para obtener una temperatura constante.

- **Control de entradas y salidas**

Se necesitará las entradas, las cuales son los parámetros ingresados por el usuario a través del HMI, o sea, la pantalla del control. Las salidas de este control darán paso a la realización del proceso.

- **Software para implementación, análisis y simulación.**
 - AutoCAD
 - Arduino
 - CADeSIMU

1.7 Metodología

Para realizar el presente proyecto se empleará la Metodología Científica la cual está basada en las etapas de Análisis, Diseño, Implementación y Evaluación.

En la primera etapa se pretende estudiar las posibles alternativas para el diseño del sistema, así como las estructuras, componentes y limitaciones de cada una, se escogerá la que mejor rendimiento y desempeño ofrezca.

Se realizó la observación del proceso de galvanizado por inmersión en caliente en las industrias de SEDEMI y SICOMELEC, pudiendo observar las complicaciones que se presenta al no contar con una seguridad adecuada, además estas industrias utilizan combustible fósil para la fundición del zinc, la liberación de gases pasa directo al medio ambiente sin tener un tratamiento previo.

Se realizará:

- Observaciones de vídeos que cumpla con el proceso.
- Leyendo manuales relacionados al tema.
- Consultando a personas que tengan conocimiento sobre el proceso de galvanizado.

En la segunda etapa, la de diseño, se determinará la forma específica en que cada componente y sistema escogido se posicionará y aplicará para lograr los objetivos planteados, se utilizará herramientas de simulación con software especializado como Matlab, AutoCAD y Arduino.

Una vez culminada la etapa de diseño, en la implementación, se procederá la construcción del mecanismo y proceso de automatización y finalmente se procederá a realizar pruebas de campo para comprobar la efectividad y desempeño.

1.8 Estructura del documento

El documento consta de 7 capítulos y los anexos correspondientes.

- En el primer capítulo se describe el marco general del proyecto, se detalla una pequeña introducción, se identifican los objetivos planteados, justificación, alcances y metodología empleada en el proyecto de titulación.
- En el segundo capítulo está dedicado al estado del Arte, se describe los tipos de recubrimientos superficiales que están relacionados con el proyecto, además se hace énfasis en el recubrimiento superficial de galvanizado por inmersión en caliente, se describen los pasos a seguir y los resultados que se debe obtener.
- En el tercer capítulo se define las consideraciones que debe llevar el diseño del modelo de galvanizado por inmersión en caliente, iniciando con la selección y cálculos de los materiales mecánicos, eléctricos, electrónicos y sistemas electrónicos a utilizar.
- En el cuarto capítulo se describe la construcción e implementación del modelo.
- En el quinto capítulo se detalla las pruebas y resultados que se realizaron con el proyecto de titulación.
- En el sexto capítulo se genera el análisis Financiero y Económico del proyecto describiendo gastos de uso, gasto de material etc.
- En el séptimo capítulo se establecen las conclusiones y recomendaciones que se generaron al realizar el diseño, construcción e implementación del modelo de galvanizado por inmersión en caliente, en cumplimiento con la Norma ASTM A123.
- Por último, se adjunta como anexos el manual de usuario del modelo, los planos eléctricos y mecánicos del sistema.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se muestra la información sobre la galvanización en la antigüedad, los diferentes tipos de recubrimiento superficial ventajas y desventajas de los mismos. Posteriormente se habla de las etapas para el proceso de galvanización en caliente, el alistamiento y proceso productivo del galvanizado, se hace referencia sobre el agarre - colgado de las piezas y las diferentes normas a nivel internacional usadas para el mismo.

2.1 Estado del Arte

La galvanización en caliente tiene una historia registrada que comienza en 1742, cuando Paúl Malouin, un químico francés, describió un método para revestir hierro al sumergirlo en zinc fundido en una presentación a la Real Academia Francesa. Treinta años después (1772), Luigi Galvani, de aquí el nombre del galvanizado, descubrió más sobre el proceso electromecánico que se produce entre metales. La investigación de Galvani se extendió en 1829 cuando Michael Faraday descubrió la acción sacrificial del zinc, y en 1836, el ingeniero Sorel obtuvo una patente para el proceso de galvanizado inicial. Para 1850, la industria de galvanizado británica ya empleaba 10.000 toneladas de zinc al año para la protección del acero, y en 1870 se abrió la primera planta de galvanizado en Estados Unidos. En la actualidad, el galvanizado se halla en casi toda aplicación e industrias importantes donde se use hierro o acero. El galvanizado en caliente cuenta con una historia evidenciada y en crecimiento en diversas aplicaciones alrededor del mundo. (Galvanizeit, www.galvanizeit.org, 2016)

2.2 Recubrimientos Superficiales

Los recubrimientos superficiales han sido pensados como soluciones de ingeniería para mejorar las superficies de las piezas contra desgaste, corrosión, degradación térmica entre otras características.

Este proceso consiste en la aplicación de un espesor finito de algún material sobre el metal. Es la transformación de su superficie por medios químicos o electrolitos para lograr un óxido de metal original. (prezi, 2016)

Los recubrimientos superficiales pueden ser:

Cuadro 1
Tipos de Recubrimientos Superficiales

CLASIFICACION	DEFINICION	TIPO DE RECUBRIMIENTO
NO METALICOS	Se aplica a la mayoría de materiales que ofrecen variedades limitadas de color y brillo, proporcionan más posibilidades decorativas, su precio en comparación al revestimiento metálico es mucho menor.	Aceites y grasas Pintado Recubrimiento con material sintético Esmaltado Recubrimientos obtenidos químicamente (conchura negra, fosfatado, bonderizados)
METALICOS	Desde el punto de vista de protección puede ser directa o de sacrificio. Directa. - El metal debe construir una capa ininterrumpida. Sacrificio. - La película protectora se convierte en el ánodo del sistema electrolito.	Inmersión. - Consiste en recubrir las piezas metálicas con una capa delgada de (zinc, cobre, níquel) Electrolisis. - Se efectúa aplicando corriente eléctrica al metal dentro de una solución.

2.3 Clasificación de Recubrimientos Superficiales Metálicos

El fin más frecuente e importante de los recubrimientos metálicos es el de proteger a otros metales de la corrosión. Otros usos son: lograr un conjunto de propiedades diferentes que no están reunidas en un metal solo o fines decorativos.

La mayoría de los metales, expuestos a la acción del ambiente, sufren transformaciones fisicoquímicas que los degradan, reducen su utilidad y llegan a destruirlos. (PEREIRA, 2016).

2.3.1 Estañado

En la industria electrónica, el estañado por inmersión se deposita en el metal base por la acción auto catalítico gracias a su composición química y está reconocido como un método fiable de acabado superficial tanto para aplicaciones como la electrónica, eléctrica, automotriz entre otros.

Cuadro 2

Ventajas y desventajas del Estañado por Inmersión

ESTAÑADO POR INMERSION	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Aceptado por sus aspectos sanitarios	Quebradizo
Resistencia al agua y corrosión atmosférica	DESVENTAJAS
Resistencia a diversos compuestos no orgánicos	Elevado precio
Baja temperatura de derretimiento (232°C)	

Fuente: (Polilibros, 2016)

2.3.2 Cromado

El cromado sirve para fines decorativos, así como industriales. Para usos decorativos se croma directamente después de niquelar, en tanto que para fines industriales el proceso se lo realiza directamente cuando se necesita gran dureza y resistencia al desgaste. (Tratamientos, www.metalactual.com, 2016)

Existen varios tipos de cromados como son:

- Cromado Decorativo
- Cromado negro
- Cromado duro

Cuadro 3

Ventajas y desventajas del Cromado

CROMADO	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Mejora las cualidades técnicas en cuanto a dureza y resistencia al desgaste, mayor resistencia a los materiales abrasivos y a la erosión provocada por fluidos.	Arrastre excesivo de materia prima (alta generación de residuos).
Impecable apariencia superficial.	Altos costos para tratamiento y disposición de residuos

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Alta resistencia a la corrosión y a la pérdida de sus propiedades mecánicas a bajas temperaturas.	Emisión de vapores corrosivos y tóxicos. Alto deterioro de equipos auxiliares.
No necesita control exhaustivo sobre las condiciones de operación.	Depósitos defectuosos por interrupciones de corriente o por aplicar excesiva corriente.

Fuente: (Industriales, 2016)

2.3.3 Niquelado

El niquelado es un recubrimiento metálico de níquel, realizado mediante baño electrolítico, que se da a los metales, para aumentar su resistencia a la oxidación y a la corrosión y mejorar su aspecto en elementos ornamentales.

Hay dos tipos de niquelado:

- Niquelado mate
- Niquelado brillante

Cuadro 4

Ventajas y desventajas del Niquelado

NIQUELADO	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Protección contra la corrosión (MarcadorDePosición1): incrementa la resistencia a la corrosión del material base como capa intermedia o final.	Dificultad de lograr capas de espesor uniforme.
Mejora de las cualidades técnicas: aumenta la conductividad eléctrica, dureza y resistencia a la abrasión.	Tóxico al ser utilizado en utensilios de cocina.
Recubrimiento altamente decorativo: Proporciona un aspecto de gran brillo, nivelación y ductilidad.	Vida útil limitada. El coste del tratamiento de residuos es alto debido a la rápida renovación química.

Fuente: (Niquelmart, 2016)

2.3.4 Cobrizado

El cobrizado es una aplicación electrolítica de cobre metal por inmersión de una pieza limpia de metal en una solución alcalina y /o acida aplicando una corriente eléctrica. El cobrizado da un aspecto rojizo brillante y una alta conductividad eléctrica.

Sus principales aplicaciones son el aumentar la conductividad eléctrica en aceros, evita la deposición de proyecciones de soldadura, y como base posteriores recubrimientos, con pequeños espesores (4-10 um).

Aplicable sobre los siguientes materiales: hierro, acero, zamak.

Recomendable para los siguientes campos de aplicación:

- Armas
- Construcción de maquinaria
- Útiles y moldes
- Decoración
- Mobiliario

Cuadro 5

Ventajas y desventajas del Cobrizado

COBRIZADO	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Protección contra la corrosión: incrementa la resistencia a la corrosión del material.	Muy costoso al usar la adición de cianuro
Mejor aspecto en elementos ornamentales	Contaminantes
Aumenta la conductividad eléctrica	Consumo de energía elevada
Mejora la ductilidad del material al aplicar el tratamiento electrolítico.	

Fuente: (Industriales, 2016)

2.3.5 Anodizado

El anodizado consiste en un proceso electroquímico que crea una capa considerablemente más gruesa de óxido que la que se forma naturalmente. Esto brinda protección contra el desgaste mecánico y la corrosión además de convertir la superficie en aislante eléctrico. El proceso implica colocar el perfil en un baño electrolítico con una corriente continua en la que éste actúa como ánodo (de allí el nombre). Cuando se

aplica la corriente se forma una capa de óxido que pasa a formar parte integral del material. (González, 2016)

Cuadro 6

Ventajas y desventajas del Anodizado

ANODIZADO	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
No necesita mantenimiento	Gran impacto ambiental
Aumenta la protección contra la lluvia, el sol, la humedad.	negativo al generar aguas contaminadas y vapores tóxicos
Acabado decorativo, se pueden obtener diferentes tonalidades.	Gran consumo energético al aplicar la fase de sellado.
Aumenta la dureza superficial	Al ser usado en la fabricación de utensilios de cocina, este proceso puede causar enfermedades como: raquitismo, anemia, cólicos.
Resistencia a la abrasión y al desgaste	
Resistencia a la corrosión. Un anodizado de buen espesor es su durabilidad y gran vida útil	Problemas tóxicos, e incluso alérgicos, al usar las sales empleadas en los baños de sellado.

Fuente: (Rmig, 2016)

2.3.6 Galvanización por Inmersión en Caliente

Los galvanizados en caliente son recubrimientos que se aplican por inmersión de la pieza de Acero en el zinc fundido o en sus aleaciones, ya sea en forma continua o en un proceso por lotes. El proceso de galvanizado por inmersión en caliente es uno de los métodos más utilizados para la protección del Acero contra la corrosión, estos recubrimientos tienen muy buena adherencia al metal base debido a la formación del enlace metálico entre el metal base y el zinc. El procedimiento de galvanización es sencillo, pero los procesos metalúrgicos que tienen lugar durante el mismo son bastante complejos.

El galvanizado representa el uso eficiente del zinc para proteger el acero durante largos períodos, lo que significa un ahorro de recursos con un impacto mínimo en el medio ambiente. El zinc, el elemento natural responsable de la resistencia a la

corrosión, es esencial para los seres humanos, animales y plantas. En el proceso de galvanización, las estructuras de hierro o de acero se sumergen en un baño que contiene zinc fundido. (Zinc, 2016)

La temperatura normal de galvanización (445°C – 460°C) el zinc y el Acero reaccionan rápidamente. Las piezas se extraen del baño de galvanización cuando se considera que la reacción se ha completado (normalmente después de unos pocos minutos). Aunque el recubrimiento de zinc queda ya formado en este período de tiempo, su estructura sigue evolucionando mientras el material está caliente. (Yraima, redip.bqto.unexpo.edu.ve, 2016).

Cuadro 7

Ventajas y desventajas del Galvanizado por inmersión en caliente

GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Durabilidad	
Libre de Mantenimiento	
Bajo costo	
Diversidad de aplicaciones	Limitación de las dimensiones del producto.
Protección total	
Tenacidad del Recubrimiento	
Confiabilidad	
Triple Protección	Riesgo de alteración.
Fácil de Soldar	
Fácil para pintar	
El recubrimiento es muy firme y puede soportar pequeños golpes en el montaje, transporte, etc.	El exceso de zinc en los tubos que se sumergen rápidamente y son drenados en un estante inclinado puede sufrir de corrosión, y tienen una tendencia a inclinarse.

Fuente: (RMIG, 2016)

2.4 Alistamiento y Proceso Productivo del Galvanizado en Caliente

La geometría de los productos a galvanizar, se debe acomodar a la dimensión de la cuba donde se vaya a realizar el procedimiento. Es muy importante que se gestione un buen alistamiento del material, con el fin que la galvanización del producto, se logre de manera exitosa. El material que va a ser galvanizado, es necesario que posea un

drenaje adecuado, el cual logre asegurar el libre flujo de las soluciones aplicadas. Para que se logre la perfecta difusión de la solución de zinc por todo el producto a galvanizar, es necesario que éste, tenga un diseño óptimo y perforaciones. Estos, contribuyen también a ejecutar el drenaje de zinc una vez finalizado el desarrollo. (Urbano, 2016)

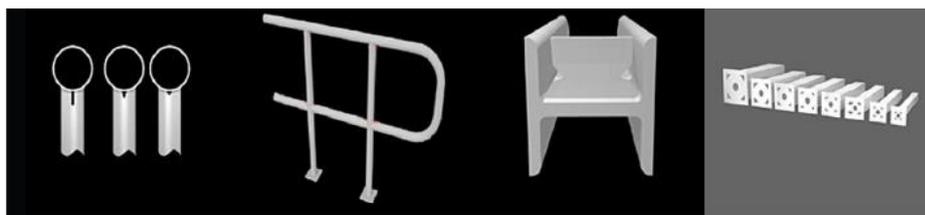


Figura 4 Productos galvanizados
Fuente: (RMIG, 2016)

2.4.1 Amarre y Colgado de las piezas

El inicio del proceso de galvanizado, antes de tratarlo químicamente, comienza con el colgado del material, el cual tiene la misma importancia que los demás procesos ya que la correcta disposición de las piezas tendrá una fuerte influencia en la calidad, apariencia, uniformidad y espesor del recubrimiento. Para que el proceso de producción pueda iniciarse, es necesario determinar la inclinación específica del material para un correcto colgado del mismo, este ángulo de inclinación se determina según el tipo de material a galvanizar. (GALVAMEC, 2016)

2.4.2 Etapas para la Galvanización en Caliente

a) Desengrase

Primero, las piezas se sumergen en un baño de desengrase caliente en medio ácido o alcalino, para eliminar y limpiar las piezas de aceites y grasas. Aunque no en todos los casos, si el desengrase es alcalino, suele existir un lavado intermedio previo a la siguiente etapa. Esta actividad consiste en sumergir la pieza en un baño de desengrase para eliminar contaminantes orgánicos como grasa, aceite y tierra que se adhieren a la superficie metálica.



Figura 5 Desengrasado de pieza

b) Decapado

Durante esta etapa se busca la eliminación del óxido presente en las piezas a galvanizar, mediante la utilización de una solución diluida en ácido hidrocórico. La eliminación del óxido de las superficies de las piezas permite que el galvanizado de la misma se realice sobre una superficie químicamente limpia. En este tanque se sumergen las piezas de 10 a 20 minutos. Previamente deben estar totalmente limpias de impurezas, calamina, pintura, polvo y demás productos que impidan realizar un galvanizado óptimo.



Figura 6 Limpieza de la pieza en Ácido clorhídrico

c) Enjuague

En la anterior etapa “Decapado”, quedan una serie de ácidos adheridos al material, por lo tanto, es necesario enjuagar el material para lograr una superficie más limpia y evitar que dichos ácidos lleguen a las demás etapas del proceso.



Figura 7 Limpieza el de pieza previa al baño de sales

d) Fluxado

Inmersión en solución acuosa de cloruro de zinc y amonio para disolver los óxidos ligeros que se hayan vuelto a formar sobre la superficie del acero, con este procedimiento se asegura que la superficie no vuelva a oxidarse para un recubrimiento uniforme del zinc. Para un fluxado eficiente, sólo es recomendable utilizar compuestos de cloruro de zinc y amonio que no se quemen con la alta temperatura del zinc fundido. (Oscar Infante A, 2016)



Figura 8 Baño de sales (Flux)

e) Secado

Durante esta etapa, la pieza o estructura metálica es secada y preparada para galvanizar esto se hace por medio de la utilización de aire caliente. La Figura 6, presenta una plancha la cual se encuentra aproximada a 80 °C.



Figura 9 Secado de pieza a 80 °C

f) Galvanizado en caliente

Es la inmersión de los materiales en un crisol con zinc fundido a 450 °C. Durante el baño se produce la difusión del zinc en la superficie del acero lo que da lugar a la formación de diferentes capas de aleaciones zinc - hierro de distinta composición, originando un recubrimiento unido metalúrgicamente al acero. Durante esta etapa, en un baño de zinc fundido al 99.9% de pureza, el material es completamente sumergido durante el tiempo suficiente para alcanzar una temperatura de 450°C.



Figura 10 Proceso de galvanizado por inmersión en caliente

g) Enfriamiento

Después de Galvanizar el material, es necesario sumergirlo en agua a temperatura ambiente, a continuación, pasan al área de acabado para eliminar rebabas, gotas punzantes, adherencias superficiales de cenizas o sales, esto con el fin de que se enfríe y así poder inspeccionarlo.



Figura 11 Reposo de la pieza galvanizada

h) Inspección

Como paso final en el proceso, el revestimiento galvanizado en caliente es inspeccionado para su conformidad con las especificaciones pertinentes. Los métodos de inspección de artículos galvanizados son el visual, espesor, uniformidad en el recubrimiento, adherencia del recubrimiento y apariencia.

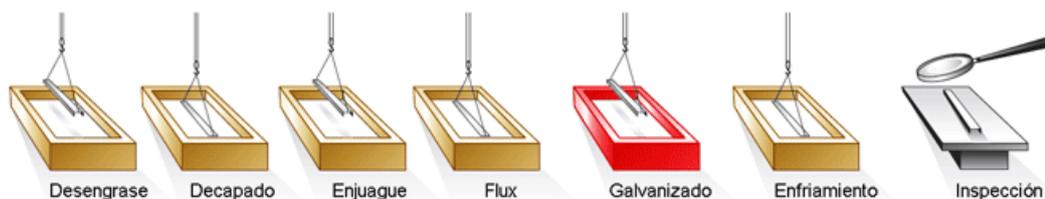


Figura 12 Proceso de Galvanizado por inmersión en caliente según la norma ASTM A123
Fuente: (CEMESA)

2.5 Diseño para Galvanizar

Cuando se proyectan construcciones de piezas y estructuras metálicas que vayan a galvanizarse en caliente, deben tenerse en cuenta ciertas reglas sencillas que tienen como finalidad:

- Garantizar la seguridad del personal galvanizador
- Facilitar la galvanización
- Mejorar la calidad del recubrimiento galvanizado
- Disminuir los costos del proceso

2.5.1 Tamaño y Forma de las piezas

Mediante la galvanización en caliente se puede proteger piezas de formas muy complicadas y tamaños muy diversos, desde tornillos y herrajes hasta cisternas, pilares y vigas de grandes dimensiones, la única limitante es el tamaño de la cuba de galvanización. Existen tres tipos de inmersiones ya sea por doble inmersión, esto es cuando la pieza sobre pasa el tamaño de la cuba, inmersión parcial, que es la introducción de la pieza en la cuba y rotación de la pieza sobre su eje. Las construcciones metálicas de gran tamaño se galvanizan por elementos que luego son ensamblados ya sea por tornillos o soldadura.

a) Cisternas y Recipientes cerrados

Para este tipo de recipientes es necesario disponer un orificio para llenado y vaciado, otro para respiración el cual estará situado en el extremo diagonalmente opuesto. Los orificios deben tener un mínimo de 50mm por cada 500 litros de volumen.

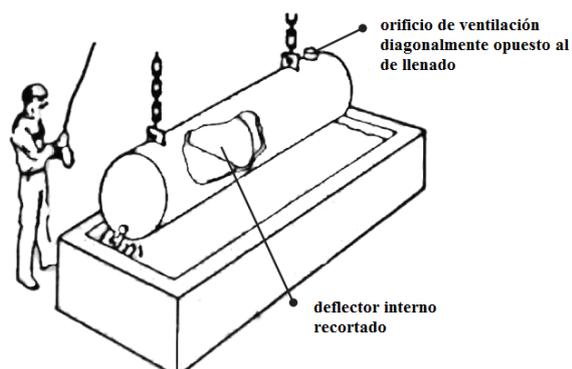


Figura 13 Recorte de los deflectores internos
Fuente: (COMERCIALGALVACOM, 2016)

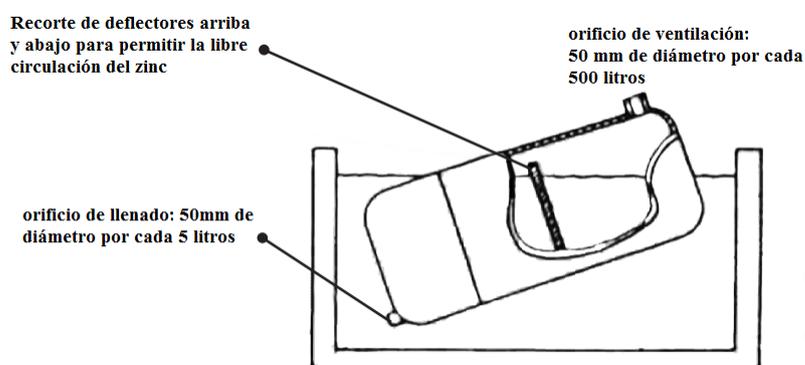


Figura 14 Recorte de los deflectores internos
Fuente: (COMERCIALGALVACOM, 2016)

Si no se desea galvanizar por el interior, se debe colar tubos de ventilación para que se permita la salida del aire al sumergir la cisterna en el baño de zinc.

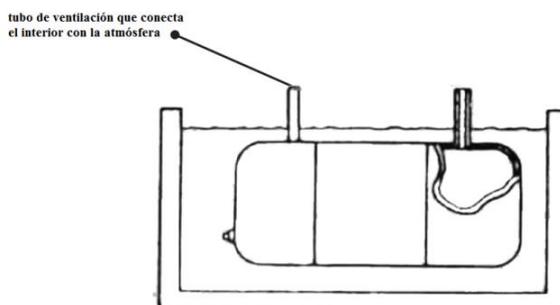


Figura 15 Recorte de los deflectores internos
Fuente: (COMERCIALGALVACOM, 2016)

b) Superficies solapadas

Para este tipo de superficies es recomendable que los bordes estén cerrados por soldadura continua, ya que puede penetrar ácido entre las superficies de contacto lo cual causaría un deterioro en el recubrimiento.

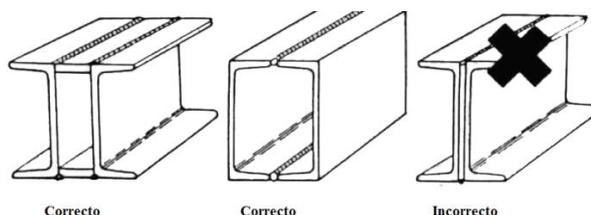


Figura 16 Disposición de los bordes por soldadura continua
Fuente: (COMERCIALGALVACOM, 2016)

c) Ensamble de tubos por soldadura

Los ensambles entre tubos deben hacerse en forma de ingletes abiertos, o por lo menos con orificios de interconexión de diámetros no inferiores a 20 mm. Es recomendable la realización de orificios externos para la ventilación, el cual tenga un diámetro correspondiente al 25% del diámetro interior del tubo, pero nunca menor a 10mm. Los orificios de ventilación pueden taponarse con tacos de plomo después de la galvanización.

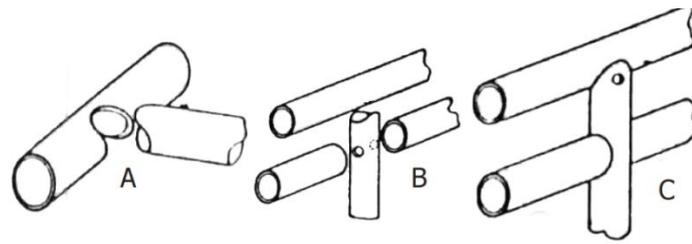


Figura 17 Ensamble de tubos por soldadura, a) forma de ingletes abiertos, b) orificios de interconexión, c) orificios externos de ventilación
Fuente: (COMERCIALGALVACOM, 2016)

d) Construcciones con perfiles tubulares

Para este tipo de diseño se dispone de orificios de ventilación en los lados de los extremos de cada tramo tubular, o por lo menos uno en cada lado en posiciones diagonalmente opuestas. El tamaño de los orificios dependerá del tipo de perfil y de la forma de construcción. Como regla aproximada puede establecerse la sección de los orificios en un 25% de la sección interna de los perfiles.

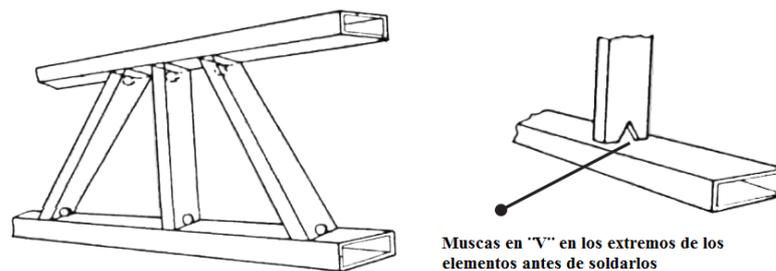


Figura 18 Orificios de ventilación en perfiles tubulares
Fuente: (COMERCIALGALVACOM, 2016)

2.6 Estructura del recubrimiento Galvánico por Inmersión en caliente

Durante el galvanizado en caliente, incluso con muy poco tiempo de contacto entre el Acero y el zinc líquido se conduce a la formación de inter-metálicos. El galvanizado en caliente posee las fases inter-metálicas que proporcionan un alto grado de vinculación entre el sustrato de Acero y el zinc, estos son duros y frágiles, por lo tanto, cuando se pretende deformar el material base, existe una alta probabilidad de que se desarrollen grietas en el recubrimiento de zinc, este comportamiento limita la capacidad de deformar al material. La formación de inter-metálicos diferentes durante la galvanización depende de varios parámetros del proceso como:

Variaciones en estos parámetros pueden ocasionar cambios significativos en la estructura, Apariencia y propiedades del recubrimiento.

El recubrimiento, por lo general, consta de varias capas. La estructura compleja de capas que lo componen es muy variable en la composición química, física y propiedades mecánicas, siendo afectadas por la actividad química, la difusión y posterior enfriamiento, lo cual incluye al proceso de solidificación. La capa protectora que se forma durante la inmersión, normalmente entre 450 °C y 480 °C.

Gamma (Γ), Delta (δ), Zeta (ζ) y una capa exterior de Eta (η), muy rica en zinc.

Estas fases tienen las siguientes características:

a) Fase Gamma (Γ)

Es apreciable cuando se galvaniza con un tiempo de inmersión grande, debido a que requiere un tiempo de incubación, en la mayoría de los casos, sólo se observa como una línea entre el Acero y fase Delta. Tiene un amplio rango de solubilidad en estado sólido. Esta capa está constituida por una aleación de hierro y zinc que contiene un 25% de hierro. (Yraima, redip.bqto.unexpo.edu.ve, 2012)

b) Las fases Delta (δ),

Formada por una aleación que tiene un 10% de hierro aproximadamente, y Zeta (ζ), que contiene un 6% de hierro, son visibles e intermedias, a menos que se haya añadido aluminio al baño de galvanización ya que este disminuye notablemente la reactividad del Zinc y se limita la formación de estas fases. Estos compuestos son frágiles, y, si el material se deforma teniendo un gran espesor de recubrimiento, se formarán grietas en el depósito.

c) La fase Eta (η)

Finalmente, la capa más externa, está constituida por zinc prácticamente puro. Es fácil de comprender la estructura del recubrimiento si consideramos que las capas Gamma, Delta y Zeta son “capas de aleaciones” y es útil saber que estas capas proporcionan al recubrimiento varias de sus características más interesantes. Esta capa puede desaparecer si el material después de galvanizado, se somete a un tratamiento térmico que favorece el crecimiento de la fase Zeta a expensas de la Eta. (CEMESA)

Tabla 1
Composición y Propiedades de las capas de aleación en el galvanizado por inmersión en caliente

Capa	Aleación	Hierro, %	Punto de Fusión	Estructura del cristal		Características de la aleación
				°C	°F	
Eta(η)	Zinc	0.03	419	787	Hexagonal	Suave, dúctil
Zeta(ζ)	FeZn ₁₃	5.7-6.3	530	986	Monoclínico	Dura, frágil
Delta(δ)	FeZn ₇	7.0-11.0	530-670	986-1238	Hexagonal	Dúctil
Gamma(Γ)	Fe ₃ Zn ₁₀	20.0-27.0	670-780	1238-1436	Cúbica	Delgada, fuerte, frágil
Metal Base del Acero	Hierro	99+	1510	2750	Cúbica	_____

Fuente: (GalvInfoNote, www.latiza.com, 2016)

Cuadro 8
Comparación de las Principales características del Galvanizado

FACTORES	GALVANIZADO POR INMERSION EN CALIENTE	GALVANIZADO ELECTROLITICO
PREPARACIÓN	Las etapas del galvanizado son esenciales para obtener un mejor resultado del proceso, el decapado ácido es una parte esencial, ya que si la superficie no está limpia no se formará ninguna capa de zinc. El control de la preparación no es esencial.	Este proceso de galvanizado también consta con la etapa de decapado en ácido y es una parte fundamental ya que, si la pieza no se encuentra libre de impurezas como grasas, no se obtendrá un buen recubrimiento de zinc.
PROCESO	Las pequeñas variaciones que puedan suceder tienen una influencia insignificante o nula en la calidad de la capa de zinc.	Dependiendo del flujo de corriente, el tiempo y de la concentración de zinc en el electrolito se deposita más o menos zinc en la superficie del acero.
APLICACIÓN	La capa de zinc se forma con una reacción entre el hierro y el zinc. La reacción es controlada por leyes fisicoquímicas y por las normas de galvanización que se esté utilizando.	La pieza es sumergida en una solución de sal conectada como cátodo con una fuente de la corriente directa. Otra pieza de zinc puro está conectada como ánodo.

Continua 

FACTORES	GALVANIZADO POR INMERSION EN CALIENTE	GALVANIZADO ELECTROLITICO
CONDICIONES DE APLICACIÓN		
TEMPERATURA	El proceso no se ve afectado por la temperatura ambiente, pero es necesario un control en la cuba de zinc ya que si se sobre pasa la temperatura de fundición el zinc puede llegar a quemarse.	No se ve afectado por temperatura ambiente o las variaciones normales en la temperatura del proceso.
HUMEDAD	No es afectado	No es afectado
CONTAMINACION AMBIENTE	No es afectado	No es afectado
TIPO DE ACERO	El contenido sobre todo de silicio y fosforo en el acero afecta el espesor y el aspecto de la capa.	No tiene influencia
PROPIEDADES DE LA COBERTURA		
ESPESOR	La reacción entre en zinc fundido y el hierro da cierto espesor mínimo estándar. El silicio y en contenido de fosforo en ciertos niveles en el acero, el incremento de peso, el espesos del material y la rugosidad de la superficie aumenta el espesor de la capa.	Tiene un espesor muy bajo comparado con en galvanizado en caliente y no tiene subcapas.
ADHERESION	La capa de zinc forma una aleación con el acero.	El zinc salta como una cascara ante un impacto moderado.
UNIFORMIDAD	Cobertura totalmente uniforme con solo sumergir en el zinc fundido. La capa suele ser 50% más fina alrededor de los bordes.	Algunas partes quedan sin revestimiento de zinc, esto se da en materiales de superficies rugosas o cañerías.
TIEMPO DE SECADO	La capa se seca totalmente después de algunos segundos del retiro de la pieza del baño de zinc.	La capa se seca totalmente después de algunos segundos del retiro de la pieza del baño electrolítico.
INSPECCION	Se debe realizar una inspección visual y además medir el espesor de la capa después del galvanizado.	Se debe realizar una inspección visual y además medir el espesor de la capa después del galvanizado.
RIESGO DE DAÑO DURANTE EL TRASNPORTE O MANIPULACION	La cobertura soporta el impacto mecánico. El daño es de menor importancia no necesita ser reparada. Daños más serios se pueden reparar por medio de zinc-rich en aerosol.	Ante un golpe o ralladura el material queda sin protección, esto se da porque no consta con capas intermedias.

Fuente: (GALVASA, 2016)

2.7 Comportamiento del Acero Galvanizado

La vida protectora de un galvanizado está determinada primordialmente por el espesor del recubrimiento y la severidad de las condiciones de exposición. Estas condiciones incluyen ambientes atmosféricos clasificados como altamente industriales, moderadamente industriales (urbanos), suburbanos, rurales y marinos. En la corrosión de los galvanizados influyen muchos factores. Los siguientes, dentro de la amplia clasificación de los ambientes atmosféricos, son los que más influyen.

a) Ambientes Industriales y Urbanos

En esta clasificación de exposición atmosférica están comprendidas las emisiones industriales generales tales como gases sulfurosos, neblinas y vapores corrosivos que se liberan inadvertidamente de las plantas químicas, refinerías y plantas de procesamiento similares. Las condiciones de corrosión más agresivas pueden esperarse que ocurran en áreas de actividad industrial intensa donde el recubrimiento frecuentemente está expuesto a la lluvia, a una condensación o a la nieve.

b) Ambientes rurales y Suburbanos

A diferencia de los ambientes industriales, los entornos de las atmósferas rurales y suburbanas son relativamente benignos, particularmente si las exposiciones se encuentran lejos de las costas y de las actividades industriales y urbanas. En las atmósferas, rurales o suburbanas, la corrosión es relativamente lenta. Debido a que las películas de la reacción del zinc que se forman en estas atmósferas tienden a ser adherentes y por lo general no se deslavan de la superficie del zinc, su retención al zinc proporciona una protección superior para el acero.

c) Ambientes Marinos

La protección de la galvanización en los ambientes marinos está influenciada por la proximidad del litoral, topografía costera y vientos que prevalezcan. En el aire marino, los cloruros de la niebla de mar reaccionan con la película normalmente protectora y producen cloruros de zinc solubles. Estas sales de zinc pueden eliminarse de la superficie con la lluvia o la neblina, y dejar expuesta una superficie de zinc despejada que reaccione más adelante.

Tabla 2
Protección por años según espesor de zinc y tipo de atmosfera

	Espesor de la capa de zinc en micras (μm)											
	10	20	33	43	53	66	76	86	96	106	119	129
Tipo de Atmosfera	Años de protección hasta el 5% de oxidación de la superficie											
Rural	7	12	19	25	31	38	43	50	57	62	68	74
Mariano Tropical	5	10	15	20	24	29	33	39	43	48	53	58
Marino Templado	4	9	13	17	21	26	30	35	39	43	48	51
Sub-Urbano	3	6	10	14	18	21	24	29	32	36	40	42
Industrial Moderado	2	4	8	11	14	18	21	24	28	31	34	38
Industrial Pesado	1	2	4	7	9	11	13	15	15	19	21	22

Fuente: (Ingemecánica, 2016)

2.8 Medición del Revestimiento

Las especificaciones según la norma a utilizar proporcionan requisitos en relación con la cantidad de revestimiento aplicado a la parte de acero durante el proceso de galvanizado en caliente. La cantidad de revestimiento puede especificarse por el espesor o peso por área de superficie. Las especificaciones incluyen tablas propias de cada norma que proporcionan requisitos específicos para espesor y peso por área de superficie según el tipo de la parte de acero y el espesor de acero medido.

El espesor del revestimiento es un requisito importante en la especificación y la eficacia del galvanizado en caliente como un sistema de protección contra la corrosión. Sin embargo, medir el espesor del revestimiento es solo uno de los muchos requisitos de especificación en el proceso de inspección. Otros requisitos clave incluyen la adherencia, el aspecto y el acabado. Los requisitos de revestimiento mínimos especificados por la ASTM para distintas clases de trabajo se resumen en las siguientes tablas.

Tabla 3
Grados de espesor de revestimiento de A123/A 123M de la ASTM

GRADO DE ESPESOR DEL REVESTIMIENTO				
GRADO	MILS	OZ/FT ²	μM	G/M ²
35	1.4	0.8	35	245
45	1.8	1.0	45	320
55	2.2	1.3	55	390
65	2.6	1.5	65	460
75	3.0	1.7	75	530
85	3.3	2.0	85	600
100	3.9	2.3	100	705

Fuente: (www.cemesacr.com, 2016)

Tabla 4

Mínimo espesor de revestimiento de ASTM A123/A123M

MÍNIMO GRADO DE ESPESOR DE REVESTIMIENTO PROMEDIO POR CATEGORÍA DE MATERIAL – ASTM A123/A123M (FORMAS LAMINADAS, A PRESIÓN Y FORJADAS, PIEZAS FUNDIDAS, PLACAS, BARRAS Y TIRAS)					
Categoría de Material	TODOS LOS ESPECÍMENES ANALIZADOS (RANGO DE ESPESOR DEL ACERO (MEDIDO), EN (MM))				
	<1/16 (<1.6)	1/16 to <1/8 (1.6 TO <3.2)	1/8 TO 3/16 (3.2 TO 4.8)	>3/16 TO <1/4 (>4.8 TO <6.6)	>1/4 (>6.4)
STRUCTURAL SHAPES	45	65	75	85	100
STRIP AND BAR	45	65	75	85	100
PIPE AND TUBING	45	45	75	75	75
WIRE	35	50	60	65	80
REINFORCING BAR	---	---	--	---	100

Fuente: (www.cemesacr.com, 2016)

Tabla 5

Mínimo espesor de revestimiento de ASTM A 153/A 153M

MÍNIMO ESPESOR DE REVESTIMIENTO PROMEDIO POR CLASES DE MATERIAL – ASTM A153/A153M					
(EQUIPO DE HIERRO Y ACERO)		M PESO MÍNIMO DE REVESTIMIENTO DE ZINC, OZ/FT ² (G/M ²) DE SUPERFICIE ^A		ESPESOR MÍNIMO, MILS (MICRONES)	
CLASE DE MATERIAL		PROMEDIO DE ESPECÍMENES ANALIZADOS	CUALQUIER ESPÉCIMEN INDIVIDUAL	PROMEDIO DE ESPECÍMENES ANALIZADOS	CUALQUIER ESPÉCIMEN INDIVIDUAL
CLASE A	PIEZAS FUNDIDAS, HIERRO MALEABLE, ACERO	2.00 (610)	1.80 (550)	3.4 (86)	3.1 (79)
CLASE B	Artículos laminados, a presión y forjados (salvo los que se incluirían en clase c o d)				
B-1	476 mm (3/16 pulg) y más de espesor y más de 381mm (15pulg de longitud	2.00 (610)	1.80 (550)	3.4 (86)	3.1 (79)
B-2	Menos de 4.76mm (3/16 pulg) de espesor y más de 381 mm (15 pulg) de longitud	1.50 (458)	1.25 (381)	2.6 (66)	2.1 (53)
B-3	Cualquier espesor y 4.76 mm (15 pulg) y menos de longitud	1.30 (397)	1.10 (305)	2.2 (56)	1.9 (48)
CLASE C	Sujetadores de más de 9.52 mm (3/8 pulg) de diámetro y artículos similares arandelas de 4.76 y 6.35 mm (3/16 pulg y 1/4 pulg) de espesor	1.25 (381)	1.00 (305)	2.1 (53)	1.7 (43)
CLASE D	Sujetadores de 9.52 mm (3/8 pulg) y menos de diámetro, remaches, clavos y artículos similares arandelas de menos de 4.76 mm (3/16 pulg) de espesor	1.00 (305)	0.85 (259)	1.7 (43)	1.4 (36)

^A En caso de piezas largas, como varillas de anclaje y artículos similares por encima de 1.52 mm (5 pies) de longitud, el peso del revestimiento se determinará en cada extremo y en la mitad del artículo. En ningún caso las mediciones individuales deberán estar por debajo del mínimo mostrado en la columna "Cualquier espécimen individual".

Fuente: (www.cemesacr.com, 2016)

La diferencia entre estas especificaciones es el tipo de producto de acero cubierto por cada una. ASTM A123/A123M cubre acero estructural, cañería y tubería, barra plana/redonda, alambre y acero de refuerzo. ASTM A153/A153M incluye revestimientos de dimensiones pequeñas, clavos, tuercas, tornillos, arandelas y partes chicas centrifugadas después del galvanizado para eliminar el exceso de zinc.

ASTM A767/A767M cubre barras de acero de refuerzo.

2.8.1 Espesor del revestimiento

Para el espesor del revestimiento de galvanizado en caliente se emplean dos métodos diferentes para medir el espesor del revestimiento del acero galvanizado; un medidor de espesor magnético y microscopía óptica. El medidor de espesor magnético es una forma simple y no destructiva de medir el espesor del revestimiento. Hay tres tipos distintos de medidores de espesor magnéticos.

- **El Medidor de Tipo Lápiz**

Emplea un magneto accionado a resorte dentro de un envase con forma de lápiz. Su precisión obedece a la habilidad del inspector, por eso la medición debería realizarse varias veces. Puede medir recubrimientos con alta precisión en puntos y ambientes que sería imposible medir con otros medidores, es utilizado para mediciones en:

- Superficies calientes
- Superficies pequeñas
- Hacer mediciones en superficies verticales, horizontales y diagonales.

Su eficiente unidad magnética puede medir en partes extremadamente pequeñas por ejemplo en picos o valles de roscas. (EQUIPOS, 2016)

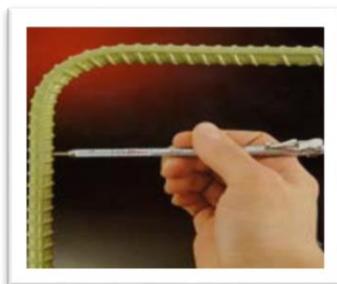


Figura 19 Medidor de estilo lápiz

Fuente: (*Galvanizeit*, 2016)

- **El Medidor Banana.** - Este medidor de espesor de revestimiento es útil en los casos en los que resulta difícil utilizar instrumentos eléctricos, como en las atmósferas inflamables en producciones de petróleo y gas. Se puede medir el espesor del revestimiento en cualquier posición, sin recalibración o interferencia por la gravedad.



Figura 20 Medidor de espesor banana
Fuente: (elcometer, 2016)

- **El Medidor de Espesor Electrónico o Digital.** - Es el más preciso y fácil de usar. Los medidores electrónicos pueden almacenar datos y realizar cálculos. Este medidor de espesor de revestimiento se ha diseñado específicamente para ofrecer mediciones de espesor de revestimientos precisas, fiables y repetibles prácticamente en cualquier sustrato, ya sea ferroso o no ferroso.



Figura 21 Medidor de espesor digital
Fuente: (elcometer, 2016)

Otro método para medir el espesor del revestimiento es la microscopía óptica, la cual consiste en una técnica destructiva que expone el borde de un revestimiento bajo un microscopio óptico. Se debe seccionar la muestra y luego montarla y pulirla para mostrar el borde expuesto del revestimiento galvanizado en caliente.



Figura 22 Microscopia óptica.
Fuente: (*Galvanizeit*, 2016)

2.8.2 Peso del revestimiento

El peso del revestimiento se refiere a la masa del revestimiento galvanizado en caliente aplicado a un producto en un área de superficie determinada. Se pueden emplear dos métodos distintos para medir el peso del revestimiento del acero galvanizado en caliente. El primer método usa un proceso denominado pesar-galvanizar-pesar, y solo es adecuado para muestras únicas.

El método pesar-galvanizar-pesar mide el peso de una parte de acero después de haberse limpiado, y otra vez después de haberse galvanizado. Esta técnica solo mide el metal zinc añadido al acero y subestimaré el peso del revestimiento total por hasta un 10 por ciento. El segundo método es una técnica destructiva denominada galvanizar-decapar-galvanizar, y solo es adecuado para muestras únicas.

Galvanizar-decapar-galvanizar mide el peso inmediatamente después de que una parte galvanizada se enfría, y otra vez después de decapar el revestimiento de la parte con solución de ácido. La técnica pesar-galvanizar-pesar elimina la utilidad de la parte porque se quita el revestimiento. Luego se dividen los pesos por área de superficie de la parte de acero para determinar el valor que puede compararse con los requisitos de especificación.¹

¹ Fuente de consulta: https://www.galvanizeit.org/uploads/publications/Inspection_Guide_Spanish.pdf/ realizada el 3 de mayo de 2016.

2.8.3 Pruebas de Inspección

Varios factores pueden afectar el acabado y el aspecto de los revestimientos galvanizados en caliente. Los galvanizadores pueden controlar algunos de estos aspectos, pero otros no. La inspección del acabado y aspecto se realiza mediante una inspección visual no magnificada, que se lleva a cabo al observar por completo todas las partes y piezas de un producto galvanizado en caliente para garantizar que se haya cumplido con todas las especificaciones. La inspección visual se realiza para observar los estados de superficie (dentro y fuera) y verificar todos los puntos de contacto, soldaduras, uniones y áreas de curvatura.

Algunas de las pruebas que se realiza para la inspección son:

- **Prueba de Adherencia.** - La prueba de adherencia del revestimiento de zinc se logra utilizando un cuchillo grueso y pasándolo suavemente por la superficie del acero sin tallar ni ranura, como se detalla en las especificaciones A123/ A123M y A153/A153M de la ASTM.

- **Prueba de Curvado para Acero de Refuerzo.** - El revestimiento en caliente en una barra de refuerzo de acero debe soportar curvarse sin descamarse o descascararse cuando se realiza la prueba de curvatura, según el procedimiento en A143/A143M. Por lo general la barra secundaria se dobla en frío antes del proceso de galvanizado en caliente. Cuando se curva antes del galvanizado, el diámetro de la curvatura fabricada debe ser igual o mayor al valor especificado en A767/A767M.

- **Prueba de Fragilidad.** - Cuando se sospeche sobre la posible fragilidad de un producto, puede ser necesario probar una pequeña muestra de los productos para medir la ductilidad según el protocolo en la especificación A143/A143M Práctica para la Protección Contra la Fragilidad de Productos de Acero Estructural Galvanizado en Caliente y Procedimiento para Detectar la Fragilidad.

- **Prueba de Pasivación.** - La especificación para determinar la presencia de cromato en superficies de zinc es ASTM B201, esta prueba consiste en aplicar gotas de solución de acetato de plomo en la superficie del producto, esperar 5 segundos y luego embotellarla con delicadeza. Si la solución crea un depósito oscuro o mancha negra, hay zinc no pasivado presente. (Galvanizeit, 2016)

2.8.4 Retoque y reparación del revestimiento

El retoque y la reparación de revestimientos de acero galvanizado en caliente es importante para mantener una barrera uniforme y una protección catódica, como también para garantizar la longevidad. Aunque el revestimiento galvanizado en caliente es muy resistente al daño, pueden producirse pequeños vacíos o defectos en el revestimiento durante el proceso de galvanizado o debido a la mala manipulación del acero después del galvanizado.

El retoque y reparación del acero galvanizado es simple ya sea recién galvanizado o en servicio por años. La práctica es la misma, pero la reparación que se permite en un nuevo producto tiene más restricciones que en un producto en servicio. La restricción principal en la especificación para reparar material recién galvanizado es el tamaño del área, que se detalla en las especificaciones de galvanizado del producto (A123, A153 y A767).

Otro principio de la especificación para el retoque y reparación es el espesor del revestimiento del área a repararse. Es necesario que los materiales de retoque cumplan con un espesor de revestimiento de al menos 50,8 μm para una aplicación, y el espesor final del revestimiento del área a repararse está dictaminado por el material empleado para la reparación, detallado a continuación.

Métodos de Retoque y Reparación. - Estos métodos de reparación se los realiza mediante la norma ASTM A780 la cual incluye tres métodos aceptables de retoque y reparación de acero galvanizado.

- **Soldaduras a Base de zinc.** - La soldadura con aleaciones a base de zinc se logra al aplicar aleación de zinc en forma de varilla o polvo. El área a repararse necesita estar precalentada a aproximadamente 315 °C. Las composiciones aceptables de material de soldaduras usadas para la reparación se incluyen en la especificación. El espesor final del revestimiento para esta reparación debe cumplir con el requisito de especificación para la categoría del material de la parte de acero que se repara, con un espesor máximo de 100 μm .

El espesor se medirá mediante cualquiera de los métodos de la norma ASTM (A123/ A123M) que no sean destructivos. Los productos de soldadura a base de zinc

combinan estrechamente con el zinc circundante y se mimetiza bien con el aspecto de revestimiento existente.

- **Pinturas Ricas en zinc.** - La pintura rica en zinc se aplica a una superficie de acero limpia y seca mediante un cepillo o spray. Estas pinturas deben contener entre 65% y 69% de zinc metálico por peso o más de 92% de zinc metálico por peso en película seca. Las pinturas que contienen polvo de zinc están clasificadas como orgánicas o inorgánicas, según el aglutinante que incluyan. Los aglutinantes inorgánicos son en particular aptos para pinturas usadas en aplicaciones de retoque de áreas galvanizadas en caliente no dañadas.

El espesor del revestimiento para la pintura debe ser un 50% más del espesor del revestimiento circundante, pero no más de 100 μm , y las mediciones deberían tomarse con un medidor magnético para garantizar el cumplimiento.

- **Espray con Zinc (Metalizador).** - El espray con zinc, o metalizador, se realiza al derretir polvo de zinc o alambre de zinc en un soplete o arco eléctrico y proyectar las gotas de zinc fundido por aire o gas hacia la superficie que va a revestirse. El zinc usado es nominalmente 99,5% puro o mejor.

El área renovada tendrá un espesor de revestimiento de zinc de al menos lo requerido en la A123/A123M de la ASTM para la categoría del material. Para mejores resultados, las mediciones de espesor para el revestimiento metalizado deben hacerse con un medidor magnético o electromagnético. (Galvanizeit, 2016)

2.9 Ventajas del Proceso de Galvanizado en Caliente

Frente a la protección que pueda ofrecer una aplicación de pintura sobre una pieza de acero, donde se puede presentar como inconveniente la ruptura en algún punto la película de pintura, en la cual en ese punto aparecerá un proceso de oxidación del acero, para el caso que se trate de una pieza galvanizada esto no ocurre, ya que si la capa de galvanizado se daña, raya o presenta discontinuidades, el zinc adyacente al acero formará inmediatamente una sal insoluble de zinc sobre el trozo de acero que queda expuesto a la intemperie. Esto va a resanar la ruptura y hace que continúe protegiendo la superficie contra cualquier corrosión.

Otros beneficios que presenta el proceso de galvanizado son:

- **Mayor vida útil:** Un producto galvanizado por inmersión tiene una vida útil que varía de 20 a 30 años, dependiendo del grado de exposición y de la masa de zinc depositada por unidad de superficie, o sea, del espesor de recubrimiento.

De hecho, se puede calcular la duración que puede proporcionar un recubrimiento galvanizado a cualquier pieza de acero. Para ello, se parte de un valor conocido para el espesor de recubrimiento de la pieza en cuestión, que se puede obtener, o bien por medición directa, estos datos hacen referencia a la norma que se esté utilizando.

- **Sin costo de mantenimiento:** Una vez galvanizado el material, no es necesario pintar ni realizar ningún tipo de mantenimiento.

- **Garantía de recubrimiento:** El galvanizado por inmersión dentro de un baño de zinc asegura un recubrimiento total de la pieza, tanto por dentro y partes ocultas, como por fuera.

- **Gran resistencia mecánica:** El gran comportamiento mecánico que presenta las piezas galvanizadas se debe a la propia estructura del proceso, formada por una capa exterior de zinc puro sobre varias capas inferiores de aleaciones Fe-Zn que presentan una dureza incluso superior a la del acero base.

De esta forma, el proceso de galvanizado transfiere a la pieza una gran resistencia a daños mecánicos y a la abrasión, debido, como se ha dicho, a la gran adherencia que presenta el recubrimiento al metal base. (Ingemecánica, 2016).

2.10 Normas Internacionales para Galvanizado

Cuadro 9 Normas Internacionales para Galvanizado

NORMA	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
	NBR6323	Galvanoplastia productos de acero o hierro fundido.
NORMAS BRASILEÑAS	NBR7397	Productos de acero o hierro fundido, recubierto con zinc por inmersión en caliente. Determinación de la masa de recubrimiento por unidad de área. Método de ensayo.
	NBR7398	Productos de acero o hierro fundido, recubierto con zinc por inmersión en caliente. Verificación de la adhesión del revestimiento.

Continua 

	NBR7399	Productos de acero o hierro fundido galvanizado en caliente. Control del espesor del proceso de recubrimiento no es destructivo. Método de ensayo.
	NBR7400	Galvanización de productos de acero o hierro fundido en caliente por inmersión. Verificación de la uniformidad de los revestimientos. Método de ensayo.
	BS EN ISO 1461:1999	Especificaciones y métodos de ensayo para recubrimientos galvanizados por inmersión en caliente sobre artículos fabricados con hierro y acero.
NORMAS BRITANICAS Y EUROPEAS	BS EN ISO 14713:1999	Protección contra la corrosión del hierro y el acero en las estructuras. Revestimientos de zinc y de aluminio. Directrices.
	BS EN 10326/ 10327: 2004	Recubrimientos de zinc por inmersión en caliente sobre chapa de acero.
NORMAS ASTM	A 123/A 123M-02	Recubrimientos galvanizados por inmersión en caliente sobre productos fabricados.
	A 1531 ^a 153M-05	Recubrimiento galvanizado por inmersión en caliente sobre las herramientas de acero y hierro.
	A385-05	Practica para ofrecer un acabado galvanizado de alta calidad.
NORMA	A6531A 653m-06 CODIGO	Chapas de acero galvanizadas por inmersión en caliente. DESCRIPCIÓN
	A767/ A767M-05	Barras de refuerzo galvanizadas por inmersión en caliente.
	A780-01	Reparación de galvanizado por inmersión en caliente dañado.
NORMAS DIN	DIN EN ISO 1461	Recubrimientos galvanizados, por inmersión en caliente sobre artículos manufacturados de hierro y acero.
	DIN 50978	Ensayo de adherencia de los revestimientos, galvanizado en caliente.
NORMAS DIN	DIN 50933	La medición del espesor del recubrimiento mediante un lápiz óptico.

Fuente: (latiza, 2015)

2.11 Resumen

- El proceso de galvanizado por inmersión en caliente consiste en sumergir la pieza de hierro o acero en una colada de zinc fundido que se encuentra a 450°C, este método es uno de los más utilizados para la protección ante la corrosión, estos recubrimientos tienen muy buena adherencia al metal base debido a la formación del enlace metálico entre el metal base y el zinc.
- Las piezas que pasarán por este proceso deben seguir una secuencia de etapas las cuales ayudaran a conseguir mejores resultados.
- La etapa de desengrase consiste en quitar la mayor cantidad de grasa o aceite con el uso de ácidos o alcalinos.
- En el decapado se procura quitar la mayor cantidad de óxido presente en las piezas, mediante el uso de ácido hidrocórico, el tiempo de sumergido depende que tan oxidada este la pieza. Previamente deben estar totalmente limpias de impurezas.
- Para quitar los ácidos que quedan adheridos al material es necesario realizar un enjuague para lograr una superficie más limpia.
- En la etapa de fluxado el material ingresa a un baño acuoso de cloruro de zinc y amonio, con este procedimiento se asegura que la superficie no vuelva a oxidarse para un recubrimiento uniforme de zinc.
- Antes de ingresar a la colada de zinc es necesario que el material pase por una etapa de secado ya que de esta manera es más fácil llegar a conseguir la temperatura a la que se encuentra el zinc fundido.
- El tiempo de sumergido en el zinc fundido depende del tipo de espesor del material, y la forma que este tenga.
- El enfriamiento se lo hace al aire libre para que luego pase a la etapa de inspección la cual se basa en la Norma ASTM A123.
- El tamaño y forma de las piezas que se puede galvanizar no es un problema su única limitante es el tamaño de la cuba donde se encuentre el zinc fundido. Se puede galvanizar desde tornillos hasta vigas de grandes dimensiones, existen diferentes tipos de inmersión ya sea por doble inmersión cuando la pieza sobre pasa el tamaño de la cuba, la inmersión parcial que es la introducción de la pieza en la cuba y la inmersión por rotación de la pieza sobre su eje.

- Para comprobar de mejor manera si el recubrimiento galvánico es bueno se puede realizar un ensayo metalográfico para comprobar la formación de capas características del proceso, estas son: Fase Gamma, fase Delta y Fase Eta.
- Como se ya dijo anteriormente la medición de revestimiento es un requisito importante ya que se determina la eficacia del galvanizado en caliente. Sin embargo, medir el espesor del revestimiento es solo uno de los muchos requisitos de especificación en el proceso de inspección. Otros requisitos clave incluyen la adherencia, el aspecto y el acabado.

CAPÍTULO 3 DISEÑO MECATRÓNICO

3.1 Diseño e implementación

El capítulo se centra en el diseño e implementación de un modelo que nos permita realizar el proceso de galvanizado por inmersión en caliente, para el diseño debemos tomar en cuenta las siguientes limitantes, el modelo posee medidas de 260mm de diámetro y 320mm de altura siendo estas las dimensiones del crisol de grafito que contiene el material fundido.

3.2 Definición de necesidades

Es de gran prioridad determinar las necesidades del usuario, una vez conocidas se podrá definir las características que guiaran al diseño final, es decir las especificaciones técnicas de la máquina.

A continuación, en el cuadro 14 se detallan las necesidades que se tomará en cuenta en el diseño del modelo para galvanización por inmersión en caliente, donde se prioriza las necesidades del Operario, Institución y Diseñador.

Cuadro 10

Detalle de necesidades

CONCEPTO	No	PROPUESTA	BENEFICIARIO	NECESIDAD
	1	Institución/diseñador	Operario	Fácil manejo
	2	Diseñador	Operario	Rigidez mecánica
	3	Diseñador	Operario	Estabilidad dinámica
	4	Diseñador	Operario	Estabilidad termina
Diseño	5	Institución/Diseñador	Operario	Seguridad
	6	Institución	Operario	Geometría de las piezas
	7	Institución	Institución	Dimensiones de la máquina para su ubicación en el taller
	8	Diseñador	Operario	Pesos máximos de carga
	9	Institución	Operario/ Institución	Sistema de alimentación eléctrico
	10	Institución/Diseñador	Operario	Manejo a través de un HMI
Sistema de Control	11	Institución	Operario/Institución	Control de acceso en el manejo de la máquina
	12	Institución/Diseñador	Operario/Institución	Tiempo de respuesta
	13	Institución	Operario/Institución	Automatización
Costos	14	Institución	Institución	Mantenimiento en general
	15	Diseñador	Institución	Costo Energético

3.3 Definición de especificaciones

Para poder definir las especificaciones, hay que partir de las necesidades del Operario. Estas necesidades son evaluadas como métricas, las cuales son el reflejo medible de las necesidades. Por lo tanto, al cumplir con estos parámetros, se logra satisfacer las necesidades del Operario. En el Cuadro 14 se establecen los parámetros que servirán para el diseño e implantación de la máquina.

Tabla 6
Detalle de especificaciones

Necesidad	Métrica	Magnitud	unidad
6-7-8	Dimensiones del entorno para galvanizado	105x105x340	Cm
6-8-9	Desplazamiento de los ejes X, Y	65x100	cm
3-9-10-11-12-13-14	Precisión	± 1	cm
1-4-5-9-12	Control de temperatura	± 5	° C
2-5-7-14	Diseño estructural	± 1	cm

3.4 Definición de la estructura funcional

Dentro del desarrollo del concepto de un producto es fundamental especificar la forma de trabajo que debe tener. Para esto es necesario conocer cómo debe funcionar el proceso, ya que esto nos permite distinguir las operaciones que realiza la máquina y dividirla en módulos de operación. En el Cuadro 15 se describen los módulos que se utilizarán en el diseño del modelo para el proceso de galvanizado por inmersión en caliente.

Cuadro 11
Módulos del proceso de galvanizado

N	Módulo	Requerimientos Funcionales	Estructura Funcional
1	Interfaz gráfica	Interfaz Humano – Máquina Ingresar al sistema	Medio de comunicación operario - máquina
2	Indicadores	Indicador luminoso	Indicador de seguridad
3	Controlador lógico	Programación de entradas y salidas del sistema	Iniciar el proceso
4	Movilidad	Motores	Activación de dispositivos electrónicos
5	Control	Transmisión de Potencia	Movimiento de los ejes X, Y
6	Instrumentación	Control de Temperatura	Transmisión de movimiento para los ejes
7	Protección	Sensor de Temperatura	Regulación de intensidad de corriente
8	Sistema de calentamiento para la fundición	Fin de carrera	Controlar la variación de temperatura
9	Estructura del horno	Fuente de Alimentación	Limitar el desplazamiento de los ejes
		Campana de Seguridad	Proteger equipos del sistema
		Tipos de energía	Protección al operario
		Recipiente para fundición	Fundición de Zinc
		Material aislante para hornos	Aislar el flujo de calor

3.5 Definición de alternativas de diseño

Para definir las alternativas de diseño se procederá a realizar los cálculos respectivos para los diferentes tipos de elementos que se necesitan en los módulos establecidos, de esta manera se obtendrá el correcto funcionamiento del modelo para galvanizado en caliente.

3.5.1 Módulo 1: Interfaz

Este módulo se refiere a la interfaz de usuario asistido por ordenador, en realidad una interfaz de uso - también conocido como un interfaz hombre-máquina (HMI), es la parte del programa de ordenador que se comunica con el usuario. En la norma ISO 9241-110, la interfaz de usuario término se define como “todas las partes de un sistema interactivo (software o hardware) que proporcionan información y control que es necesario que el usuario para completar una tarea determinada con el sistema interactivo.”²

3.5.2 Módulo 2: Indicadores

Los indicadores luminosos sirven para controlar de forma sencilla y rentable los estados de conmutación sin necesidad de dispositivos especiales. Un plástico óptico transfiere la luz de los LED mediante un arco hasta el nivel de inserción o a través del panel frontal.

3.5.3 Módulo 3. Controlador lógico

Un controlador lógico es un dispositivo operado digitalmente, el cual contiene una memoria interna de almacenamiento, en esta se registrarán instrucciones con el fin de implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registros y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas para controlar a través de entradas y salidas digitales o analógicas varios procesos. (Logicos, 2016)

3.5.4 Módulo 4. Movilidad

a. Motores

Los elementos que conforman este módulo son los encargados de generar el desplazamiento de los ejes de la máquina. Existen diferentes tipos de actuadores entre

² Fuente de consulta: <https://www.copadata.com/en-us/hmi-scada-solutions/human-machine-interface-hmi/> Realizada: 5 de mayo del 2016

los que se incluyen motores de combustión interna, de corriente alterna y continua. Estas dos últimas opciones presentan un costo elevado y una instalación compleja en comparación con los motores DC. Por esta razón que el Motor con estator bobinado y caja reductora seleccionado para el Módulo 1 será analizado con el fin de determinar las características de torque, corriente y voltaje necesario para el sistema.

Para el cálculo de los motores partimos de los datos que conocemos:

Datos

$$\begin{aligned} \text{Voltaje} &= 12V \\ \text{Corriente} &= 2A \\ \text{RPM necesarias} &= 53 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Cálculo de Motores para 53rpm

El módulo 4 especifica que se utilizará un motor DC para lo cual se realiza el cálculo del torque necesario, luego se elegirá un motor con un torque comercial.

$$T = I \cdot \alpha \quad \text{Ec. 3.5.1}$$

Del modelo en CAD tenemos la siguiente Inercia:

$$I = 6.55715 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

Con una velocidad angular de trabajo:

$$\omega = 53 \frac{\text{rev}}{\text{min}} = 0.8833 \frac{\text{rev}}{\text{s}}$$

Determinamos la aceleración angular:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{\omega_f - \omega_o}{t_f - t_o} & \text{Ec. 3.5.2} \\ \alpha &= \frac{0.8833 \frac{\text{rev}}{\text{s}}}{0.5 \text{ s}} = 1.7666 \frac{\text{rev}}{\text{s}^2} \end{aligned}$$

Con estos datos el torque es:

$$T = 11.5842983N \cdot m$$

Tomando en cuenta el valor obtenidos de torque, voltaje y corriente procedemos a seleccionar los modelos existentes en el mercado que cumplan con estas características.



Figura 23 Motor DC CEP CEP de Bosch

Características técnicas	
Voltaje Nominal	12 V
Potencia	7/10.4 W
Corriente Nominal	2 A
Máxima Corriente	7 A
Torque Nominal	2 Nm
Par de arranque	23 Nm
Peso	1Kg
Dirección de rotación	L
Reducción	63:1

Fuente: (bosch, 2016)

b. Transmisión de Potencia

Los elementos que conforman este módulo son los encargados de transmitir el movimiento de los motores a la placa conductora es por esta razón que se determinó como elemento de transmisión de potencia al sistema de polea con la ayuda de cable de acero.

3.5.5 Módulo 5. Control

Los controladores de temperatura son equipos indispensables para mantener procesos industriales a temperaturas correctas según el método. Los controles de temperatura automatizan métodos de producción para garantizar procesos conforme a

las directrices de manufactura de un producto, utilizar un controlador facilita la tarea de mantener la temperatura a rangos deseables según cada proceso.

3.5.6 Módulo 6. Instrumentación

En la instrumentación, la prioridad absoluta es obtener la máxima precisión y la más alta fiabilidad. En los procesos industriales no hay casi nada más importante que medir, posicionar, registrar y regular. Por ello, la instrumentación de procesos es una eficaz herramienta que permite incrementar el rendimiento de las instalaciones de tecnología de procesos y mejorar la calidad de los productos y optimizar el rendimiento del proceso.

3.5.7 Módulo 7. Protección

El sistema de protección debe estar bien diseñado y adecuadamente coordinado ya que debe asegurar que el sistema eléctrico de potencia opere dentro de los requerimientos y parámetros previstos.

Si se presenta una falla o una condición anormal, el sistema de protección debe ser capaz de detectar el problema inmediatamente y aislar la sección afectada, permitiendo así que el resto del Sistema de Potencia permanezca en servicio y limitar la posibilidad de daño a los otros equipos. La protección debe ser lo suficientemente sensible para que opere con rapidez aún bajo fallas incipientes.

3.5.8 Módulo 8. Sistema de calentamiento para la fundición

En este módulo se destaca el sistema de calentamiento del horno, el cual será por medio eléctrico, usando níquelina de alta potencia para llegar a la temperatura de galvanización, para lo cual se realizará los cálculos de resistencia y potencia.

a) Cálculo de potencia para la níquelina

$$\text{Calor a entregar} = \text{masa}_{\text{zinc}} * \text{calor específico} * \Delta t \quad \text{Ec. 3.5.3}$$

$$\rho_{\text{zinc}} = \frac{m}{V} \quad \text{Ec. 3.5.4}$$

$$m = 7,14 \frac{g}{ml} * 5000 \text{ ml} = 35700 \text{ g}$$

$$\text{Calor a entregar} = 35,700 \text{ Kg} * 0,093 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * (600 - 25)^\circ\text{C}$$

Calor a entregar = 1909,0575 Kcal

b) Cálculo de la potencia deseada para el sistema.

Conversión de unidades

Para el diseño del calentamiento del horno se toma en cuenta el tiempo que será necesario para alcanzar la temperatura de operación, en este caso se impuso un tiempo de 20 minutos.

$$\frac{1909,0575 \text{ K cal}}{0,33 \text{ H}} \left| \frac{4187 \text{ Joule}}{1 \text{ K cal}} \right| \left| \frac{1 \text{ W H}}{3600 \text{ Joule}} \right| = 6728 \text{ [W]}$$

$$P = V * I \quad \text{Ec. 3.5.5}$$

$$\frac{6728[W]}{220} = 31[A]$$

$$V = I * R \quad \text{Ec. 3.5.6}$$

$$R = \frac{220}{31} = 7,1 \Omega$$

Calculo de parámetros del hilo

$$\frac{cm^2}{\Omega} = \frac{P^2 * Ct}{V^2 * p} \quad \text{Ec. 3.5.7}$$

Dónde:

P: Potencia

Ct: Coeficiente de resistividad

V: Tensión

p: Carga específica

En este caso se usará una aleación de Cr 22%, Al 5,8% el resto Fe.

En la Tabla 7 tenemos los datos a considerar del elemento resistivo para seleccionar el factor de temperatura Ct.

Tabla 7

Resistividad eléctrica de las aleaciones Fe-Cr-Al

Aleación	22-6 PM	22-6	22-5	22-4	14-4
Resistividad eléctrica $\mu\Omega\text{cm}$.					
Coefficiente de resistividad:					
20°C	145	145	139	135	125
20°C	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
100°C	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01
200°C	1.00	1.00	1.01	1.01	1.02
300°C	1.00	1.00	1.01	1.01	1.03
400°C	1.00	1.00	1.02	1.02	1.04
500°C	1.01	1.01	1.03	1.03	1.05
600°C	1.02	1.02	1.04	1.04	1.07
700°C	1.02	1.02	1.04	1.05	1.09
800°C	1.03	1.03	1.05	1.06	1.11
900°C	1.03	1.03	1.05	1.06	1.13
1000°C	1.04	1.04	1.06	1.07	1.14
1100°C	1.04	1.04	1.06	1.07	1.15
1200°C	1.04	1.04	1.06	1.08	---
1300°C	1.04	1.04	1.06	1.08	---
1400°C	1.05	1.05	1.07	---	---

Fuente: (Uniov, 2016)

Para este caso la máxima temperatura de operación es de 600°C, por lo tanto, corresponde un Ct igual a 1,02, la carga específica de obtiene del siguiente diagrama.

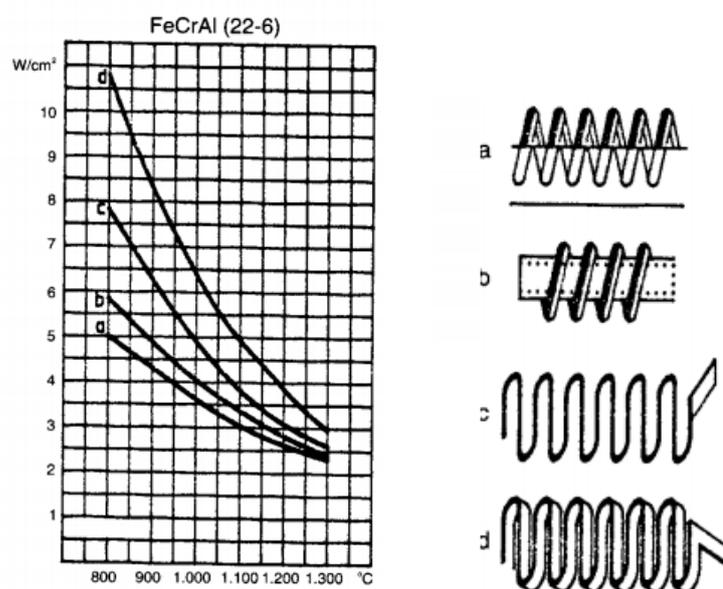


Figura 24 Descripción de la Curva de Carga específica
Fuente: (Uniov, 2016)

- Alambre arrollado en espiral o pletina ondulada sobre ranuras.
- Alambre arrollado en espiral sobre tubos cerámicos.
- Alambre ondulado y dispuesto verticalmente con soportes de gancho.
- Pletina ondulada y dispuesta verticalmente con soportes de gancho.

De la Figura 24 se obtiene:

$$p = 6 \frac{W}{cm^2} \quad P = 6720 [W]$$

$$\frac{cm^2}{\Omega} = \frac{P^2 * Ct}{V^2 * p} = \frac{6720^2 * 1,02}{220^2 * 6} = \mathbf{158,61}$$

Tabla 8
Especificaciones de alambre Kanthal A-1

	°C	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
Kanthal A-1	Cl	1	1	1	1	1	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04

Diameter [mm]	Resistanc Ω/m 20°C	cm ² / Ω 20°C	weigth per length g/m	surface cm ² /m	cross cm ² /m	diameter [mm]
9,5	0,0205	14600	503	289	70,9	9,5
8	0,0288	8710	357	251	50,3	8
7,5	0,0328	7480	314	236	44,2	7,5
7	0,0377	5840	273	220	38,5	7
6,5	0,0437	4670	236	204	33,2	6,5
6	0,0513	3680	201	188	28,3	6
5,5	0,061	2830	169	173	23,8	5,5
5	0,0738	2130	139	157	19,6	5
4,8	0,0801	880	128	151	18,1	4,8
4,5	0,0912	1550	113	141	15,9	4,5
4,2	0,105	1260	98,4	132	13,9	4,2
4	0,115	1090	89,2	126	12,6	4
3,8	0,128	934	80,5	119	11,3	3,8
3,5	0,151	730	68,3	110	9,6	3,5
3,2	0,18	558	57,1	101	8	3,2
3	0,205	459	50,2	94,2	7,1	3
2,8	0,235	374	43,7	88	6,2	2,8
2,5	0,295	266	34,9	78,5	4,9	2,5
2,2	0,381	181	27	69,1	3,8	2,2
2	0,462	136	22,3	62,8	3,1	2
1,9	0,511	117	20,1	59,7	2,8	1,9
1,8	0,57	99,2	18,1	56,5	2,5	1,8
1,7	0,639	83,6	16,1	53,4	2,3	1,7
1,6	0,721	69,7	14,3	50,3	2	1,6
1,5	0,821	57,4	12,5	47,1	1,8	1,5
1,4	0,941	46,7	10,9	44	1,5	1,4
1,3	1,09	37,4	9,42	40,8	1,33	1,3
1,2	1,28	29,4	8,03	37,7	1,13	1,2
1,1	1,53	22,6	6,75	34,6	0,95	1,1
1	1,85	17	5,58	31,4	0,79	1

Fuente: (kanthal, 2016)

Para el valor calculado corresponde un diámetro de hilo de 2,2 mm.

$$d_{hilo} = 2,2 \text{ mm}$$

La resistencia en temperatura máxima calculada fue de: $R = 7,1\Omega$.

La resistencia a temperatura ambiente será:

$$R_{amb} = \frac{R}{Ct} = \frac{7,1}{1,02} = 6,9608 \Omega$$

Longitud del hilo (L)

$$L = \frac{P}{\pi * d * p} \quad \text{Ec. 3.5.8}$$

$$L = \frac{6720 [W]}{\pi * 0,22[cm] * 6 \frac{W}{cm^2}} = 1620,5 [cm] \approx 16,2 [m]$$

Diámetro de la espiral (D)

Tabla 9

Diámetro de espiral y paso del arrollamiento

Aleación	Aleación Ni-Cr		Aleación Fe-Cr-Al	
	En ranuras (mm)	En tubos (mm)	En Ranuras (mm)	En tubos (mm)
D/d para elementos \leq 1000 °C	6 - 9	12 - 14	6 - 8	12 - 14
D/d para elementos $>$ 1000 °C	5 - 8	12 - 14	5 - 8	12 - 14
Paso S/d	2 - 3	3 - 6	2 - 3	3 - 6

Fuente: (kanthal, 2016)

Según la tabla 9, para hornos con temperaturas \leq a 1000°C se tiene una relación de: $D/d=6$

Entonces $D=6d=13,2 [mm]$

Numero de espiras (n)

$$n = \frac{1000 * L}{\pi * (D - d)} \quad \text{Ec. 3.5.9}$$

$$n = \frac{1000 * 16,2}{\pi * (13,2 - 2,2)} = 468,78 \approx 469$$

Numero de espiras comprimidas (L_w)

$$L_w = n * d \quad \text{Ec. 3.5.10}$$

$$L_w = 469 * 2,2 = 1031,8 \text{ [mm]} \approx 1,03 \text{ [m]}$$

Paso de arrollamiento (s)

Para que la radiación reciproca sea menor se debe obtener la distancia más larga posible entre las espiras vecinas.

Los valores recomendados para el paso son: $s/d = [2-3]$

Para el diseño se tomó una relación de: $\frac{s}{d} = 3$

$$L_w = n * d = 469 * 2,2 = 1031,8 \text{ [mm]} \approx 1,03 \text{ [m]}$$

$$s = 3 * d = 3 * 2,2 = 6,6 \text{ [mm]}$$

Longitud de la espira extendida (L_e)

$$L_e = s * n \quad \text{Ec. 3.5.11}$$

$$L_e = 8,8 * 469 = 4127,2 \text{ [mm]} \approx 4,13 \text{ [m]}$$

c) Análisis Transferencia de calor

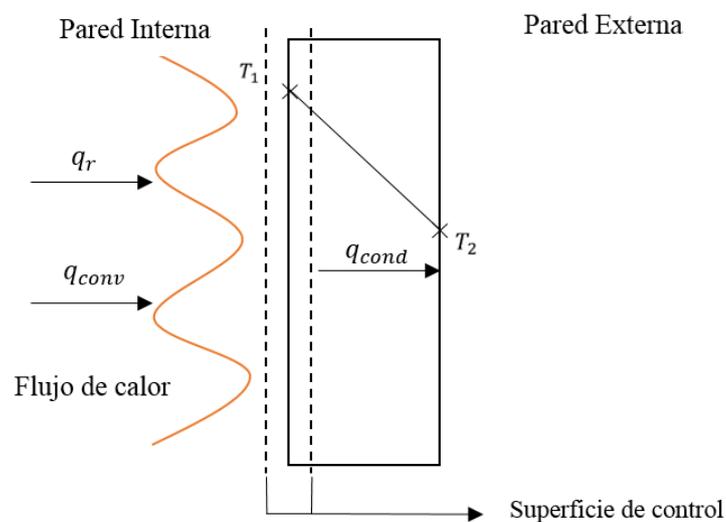


Figura 25 Análisis de transferencia de calor

Dónde:

$$q_x = 6728 [W]$$

En el sistema se necesita 6728 [W] para obtener una temperatura de 600°C, pero esta potencia debe ser distribuida en cada una de las paredes del horno, en este caso el horno constará de cuatro paredes con material refractario que tendrá una distribución de 1682 [W] en cada una de ellas.

3.5.9 Módulo 9. Estructura del horno

a) Recipientes para fundición

Es una cavidad en los hornos que recibe el metal fundido. Estos recipientes normalmente está hecho de grafito con cierto contenido de arcilla y que puede soportar elementos a altas temperaturas, ya sea el oro derretido o cualquier otro metal, normalmente a más de 500 °C. Algunos recipientes aguantan temperaturas que superan los 1500 °C. También se le denomina así a un recipiente de laboratorio resistente al fuego y utilizado para fundir sustancias. Como recipientes para fundición analizaremos los crisoles de grafito.

b) Conglomerante Refractario

Un Conglomerante refractario es aquel capaz de resistir la acción del fuego sin alterarse. Normalmente están elaborados con cementos aluminosos, lo que les otorga una serie características adicionales, como el fraguado rápido, la resistencia a cloruros, sulfatos y la resistencia en ambientes ácidos.

c) Material Aislante

Es un material usado en la construcción y en la industria, caracterizado por su alta resistencia térmica. Establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura, impidiendo que el calor traspase los separadores del sistema que interesa (como una vivienda o una nevera) con el ambiente que lo rodea.

Para el cálculo de la constante de conductividad térmica se realizó pruebas de laboratorio con la máquina de Medidor de coeficiente de conductividad térmica localizada en el laboratorio de termodinámica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Se inició con la calibración de la máquina para lo cual se usó dos reóstatos, fuente de alimentación de 24V DC, termómetros digitales, paredes de ladrillo refractario de 350x350x60 mm.

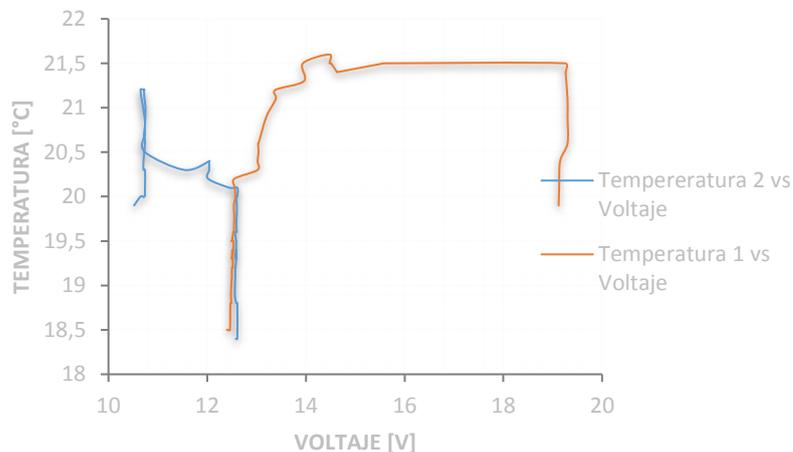


Figura 26 Estabilización de voltaje y temperatura

Como se observa en la Figura 24 se llegó a establecer la calibración del sistema para iniciar con las mediciones de conductividad térmica de los ladrillos, esta calibración se la realizo con la captura de datos cada 15 min durante un periodo de 8 horas, los datos fueron Voltaje de cada reóstato y temperatura de dos termocuplas localizadas en la máquina, lo que se pretende con esta calibración es equilibrar las temperaturas de los niquelinas internas de la máquina, dicha máquina posee un calefactor (placa interna) y una guarda (placa exterior) las cuales deben estar a la misma temperatura, ya que si se obtiene este equilibrio la conductividad de calor generado por el calefactor es de forma perpendicular hacia la pared de ladrillos.

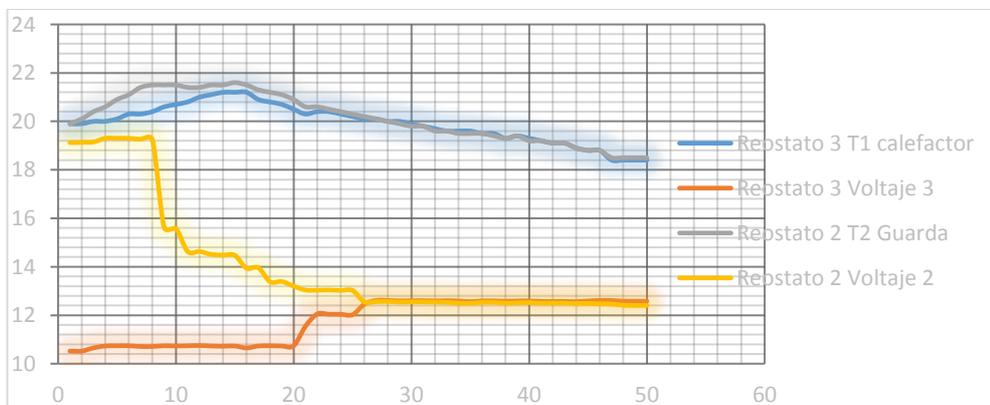


Figura 27 Equilibrio de Voltaje y Temperatura de reóstatos

Obtenía la calibración de la máquina termodinámica procedemos a la realización de toma de datos los cuales serán cada 15min durante 8 horas teniendo en cuenta que algunos datos tendrán ligeros cambios, esto se debe a los picos de voltaje que poseen los laboratorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

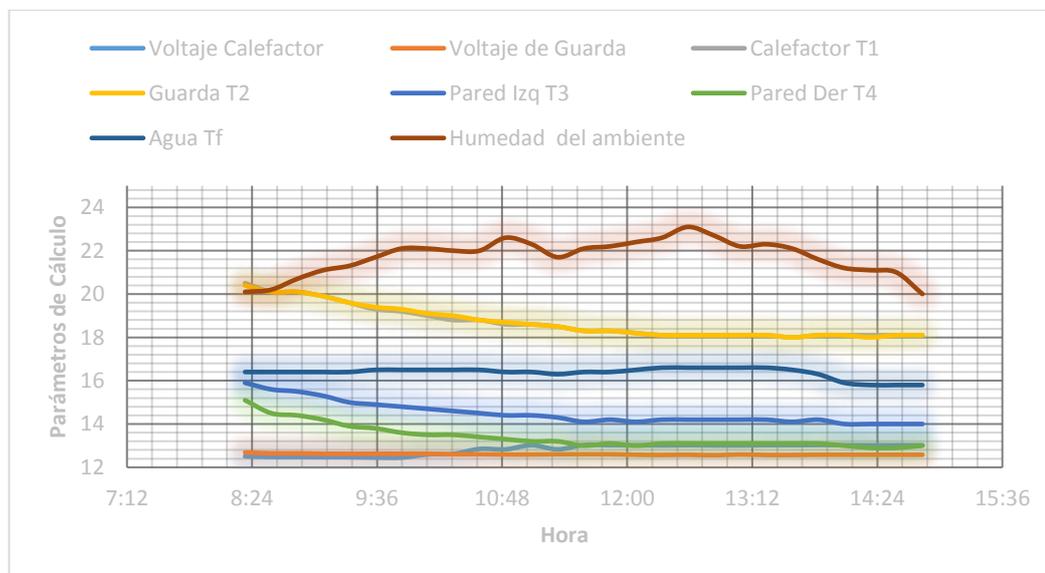


Figura 28 Parámetros de Cálculo de coeficiente de conductividad térmica de los ladrillos refractarios

Tabla 10

Parámetros de Cálculo de coeficiente de Conductividad térmica de los ladrillos refractarios

Hora		10:20	10:50	14:20	14:50
T1	°C	18,8	18,6	18,1	18,1
T2	°C	19	18,7	18	18,1
T3	°C	14,6	14,4	14	14
T4	°C	13,5	13,3	12,9	13
V	V	12,62	12,83	13,02	13,02
V2	V	12,6	12,59	12,58	12,58
Tr		16,5	16,4	15,8	15,8
%H	%				
t	°C				
P1	gr	Ladrillo - Cemento			
P2	gr				
t sistema enf.	°C				
Q total	W	1,71068099	1,768087	1,82084211	1,82084211
Q	W	0,75630107	0,78168057	0,80273684	0,81146224

ΔT	$^{\circ}K$	4,2	4,2	4,1	4,1
A	m^2	0,02265	0,02265	0,02265	0,02265
L	m	0,06	0,06	0,06	0,06
λ_{conv}	$W/^{\circ}K.m$	0,47701108	0,49301833	0,51864761	<u>0,52428509</u>
λ	$W/^{\circ}K.m$	0,53947682	0,55758026	0,58822229	0,58822229
T1-T4		5,3	5,3	5,2	5,1
T1-T3		4,2	4,2	4,1	4,1
		1,26190476	1,26190476	1,26829268	1,24390244

Los datos obtenidos en la prueba de laboratorio que se localizan en la Tabla 10 se pueden identificar que la constante de conductividad térmica del ladrillo refractario es de 0.5242 W/ $^{\circ}K.m$.

d) Análisis de transferencia de calor por conducción

Para realizar el cálculo del espesor de la pared refractaria, se utilizó el método de transferencia de calor por conducción, en donde: (Incropera, 1999)

$$\frac{q_x[W]}{A[m^2]} = q_x'' = k * \frac{T_1 - T_2}{L} \quad \text{Ec. 3.5.12}$$

$$L[m] = k \left[\frac{W}{m * K} \right] * \frac{(T_1 - T_2)K}{\frac{q_x[W]}{A[m^2]}} \quad \text{Ec. 3.5.13}$$

Datos:

$$T_1 = 873 [^{\circ}K]$$

$$T_2 = 323 [^{\circ}K]$$

$$q_x = 1682 [W]$$

$$A = \text{Largo} * \text{ancho}$$

$$A = (0,35 * 0,29) [m^2]$$

$$A = 0,1015 [m^2]$$

$$k = 0,6 \left[\frac{W}{m^{\circ}K} \right]$$

$$L = 0,6 \left[\frac{W}{m * ^{\circ}K} \right] * \frac{(873 - 323) [^{\circ}K]}{\frac{1682[W]}{0,1015[m^2]}} = 0,02 [m] = 2 [cm]$$

Por lo tanto, para obtener una reducción de temperatura de (873 a 323) $^{\circ}K$, será necesario una pared de 0,02 [m] de material refractario.

e) **Análisis de conducción unidimensional de estado estable por pared compuesta**

Este método de conducción unidimensional para paredes compuestas incluye cualquier número de resistencias térmicas en serie y en paralelo debido a capas de diferentes materiales.

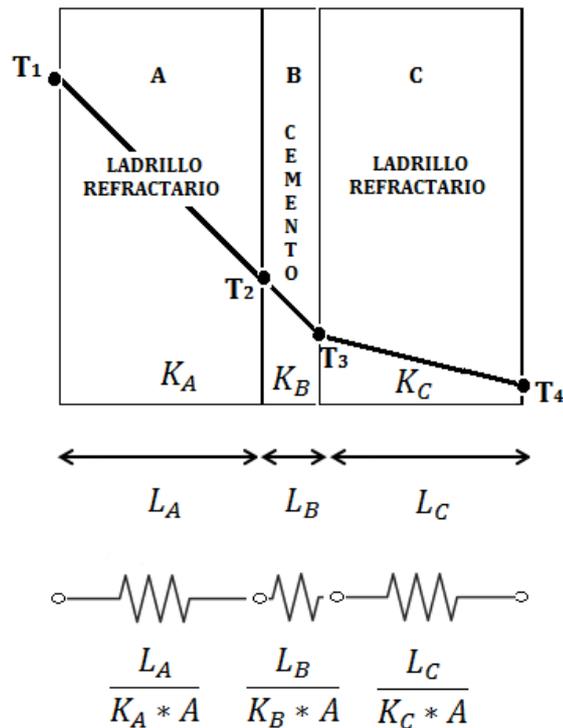


Figura 29 Circuito térmico equivalente para una pared compuesta en serie

$$q_x = \frac{T_1 - T_4}{\sum R_T} \quad \text{Ec. 3.5.14}$$

Donde $T_1 - T_4$ es la diferencia total de temperatura, y la suma incluye todas las resistencias térmicas. Por tanto, se tiene:

$$q_x = \frac{T_1 - T_4}{\frac{L_A}{K_A * A} + \frac{L_B}{K_B * A} + \frac{L_C}{K_C * A}} \quad \text{Ec. 3.5.15}$$

Por lo tanto, para la realización de los cálculos y la obtención de la temperatura T_4 se tiene como datos lo siguiente:

Datos

Ladrillos Refractarios [A]

$$q_x = 1682 \text{ [W]}$$

$$T_1 = 873 \text{ [}^\circ\text{K]}$$

$$L_A = 0,02 \text{ [m]}$$

$$K_A = 0,6 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}} \right]$$

Cemento Refractarios [B]

$$L_B = 0,003 \text{ [m]}$$

$$K_B = 0,7 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}} \right]$$

Ladrillos Refractarios [C]

$$T_4 = ?$$

$$L_C = 0,02 \text{ [m]}$$

$$K_C = 0,6 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}} \right]$$

$$T_4 = T_1 - q_x * \left(\frac{L_A}{K_A * A} + \frac{L_B}{K_B * A} + \frac{L_C}{K_C * A} \right)$$

$$T_4 = 873 - 1682 * \left(\frac{0,02}{0,6 * 0,1015} + \frac{0,003}{0,7 * 0,1015} + \frac{0,02}{0,6 * 0,1015} \right) = -302,78 \text{ [}^\circ\text{K]}$$

Al transformar los grados kelvin a grados centígrados se obtiene un sobredimensionamiento para lo cual se realizará nuevamente el cálculo utilizando en el diseño un ladrillo y cemento refractario.

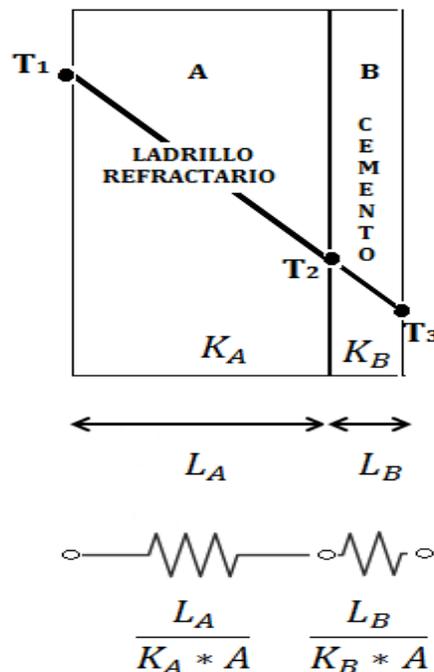


Figura 30 Circuito térmico equivalente para una pared compuesta en serie

$$q_x = \frac{T_1 - T_3}{\frac{L_A}{K_A * A} + \frac{L_B}{K_B * A}}$$

Datos

Ladrillos Refractarios [A]

$$q_x = 1682 [W]$$

$$T_1 = 873 [^{\circ}K]$$

$$L_A = 0,02 [m]$$

$$K_A = 0,6 \left[\frac{W}{m^{\circ}K} \right]$$

$$A = 0,1015 [m^2]$$

Cemento Refractarios [B]

$$L_B = 0,003 [m]$$

$$K_B = 0,7 \left[\frac{W}{m^{\circ}K} \right]$$

$$T_3 = T_1 - q_x * \left(\frac{L_A}{K_A * A} + \frac{L_B}{K_B * A} \right)$$

$$T_3 = 873 - 1682 * \left(\frac{0,02}{0,6 * 0,1015} + \frac{0,003}{0,7 * 0,1015} \right)$$

$$T_3 = 249,6 [^{\circ}K]$$

f) Analisis estructural

Para la ubicación del sistema de alimentación de las piezas a galvanizar se procedera con el Analisis de esfuerzo cortante y momento flector de la parte estructural que sostendra el sistema de movimiento:

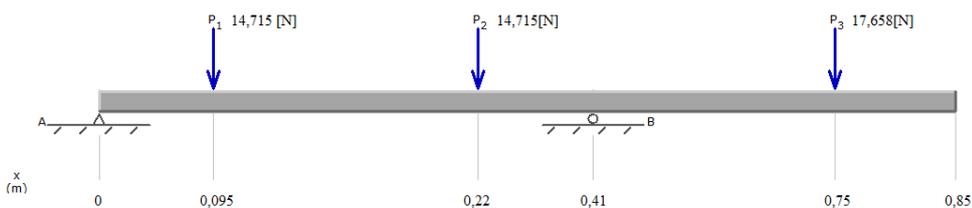


Figura 31 Diagrama de fuerzas aplicadas

Diagrama del Cuerpo libre

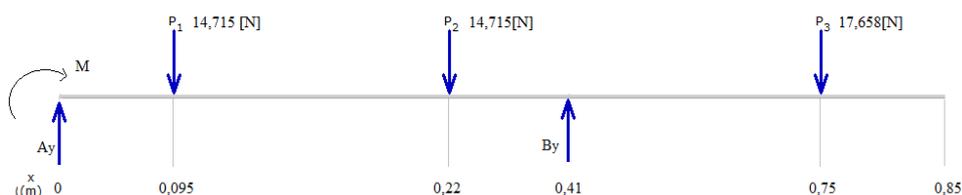


Figura 32 Diagrama de cuerpo libre

Sumatorias de fuerzas en el eje Y

$$\sum F_y = 0 \quad \text{Ec. 3.5.16}$$

$$A_y + B_y = P_1 + P_2 + P_3$$

$$A_y + B_y = (14,715 + 14,715 + 17,658)N$$

$$A_y = (47,088)N - B_y \quad (1)$$

Sumatorias de Momentos en el punto A

$$\sum M_A^+ = 0 \quad \text{Ec. 3.5.17}$$

$$P_1 * (0,095) + P_2 * (0,315) - B_y * (0,41) + P_3 * (0,75) = 0$$

$$14,715 * (0,095) + 14,715 * (0,315) - B_y(0,41) + 17,658 * (0,75) = 0$$

$$B_y = \frac{19,276}{0,41}$$

$$B_y = 47,02 \text{ [N]}$$

El valor de B_y se reemplaza en la ecuación (1)

$$A_y = (47,088 - 47,02)N$$

$$A_y = 0,07 \text{ [N]}$$

Calculo de fuerza cortante

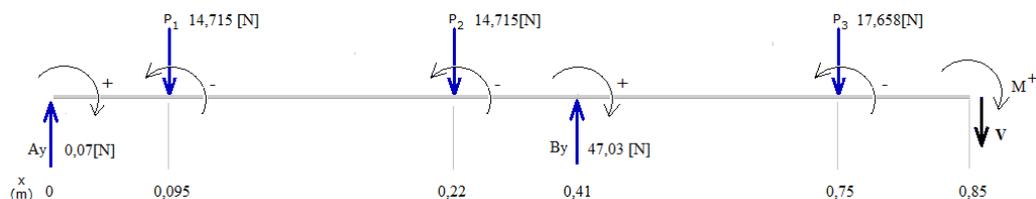


Figura 33 Diagrama de fuerzas y momentos combinados

$$V_A = 0,07 \text{ [N]}$$

$$V_{P_1} = (0,07 - 14,715)[N] = -14,645[N]$$

$$V_{P_2} = (-14,715 - 14,715)[N] = -29,36[N]$$

$$V_B = (-29,36 + 47,02)[N] = -17,66[N]$$

$$V_{P_3} = (17,66 - 17,658)[N] = 0[N]$$

Calculo de Momento flector

$$V_A = 0 [N * m]$$

$$V_{P_1} = (0,07 * 0,095)[N] = -0,00665[N * m]$$

$$V_{P_2} = (14,64 * 0,22)[N] = 3,22[N * m]$$

$$V_B = (3,22 - (-29,36 * 0,095))[N * m] = -17,66[N]$$

$$V_{P_3} = (6 - (17,66 * 0,34))[N] = 0[N * m]$$

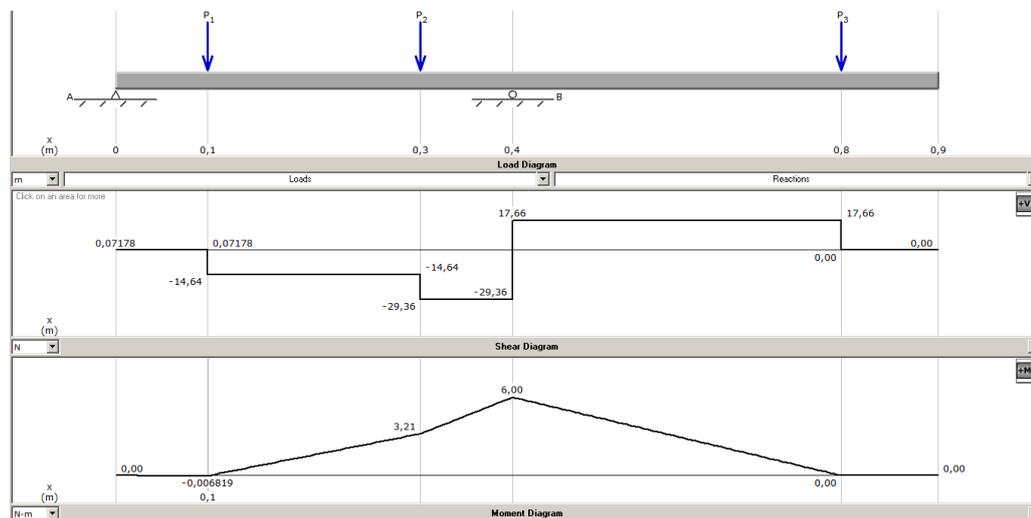


Figura 34 Diagrama de Fuerzas Cortantes y Momentos Flectores

Como se puede observar en la Figura 32 la estructura metálica soporta sin ningún esfuerzo el peso de las piezas a galvanizar.

3.6 Selección de Alternativas

3.6.1 Módulo 1. Interfaz

a) Pantalla Nextion NX3224T028

Nextion es una solución Human Machine Interface (HMI) que proporciona una interfaz de control y visualización entre un humano, máquina y un proceso, Es la mejor solución para reemplazar la pantalla LCD tradicional.

Ventajas	Desventajas
Editor de programación Nextion Studio.	Resolución de 320 x 240.
Ranura para tarjeta micro-SD para actualización de firmware.	Área Visual: 57.6mm x 43.2mm.
Componentes masivos de programación.	Memoria Flash 4M
Protocolo UART compatible con Arduino.	
Panel resistivo táctil.	

Tabla 11

Características técnicas Pantalla Nextion NX3224T028

Características técnicas Pantalla Nextion NX3224T028	
Resolución	320 x 240
RGB	65K fiel a los colores de la vida
Pantalla	TFT
Panel	Resistivo Táctil
Interfaz	4 pines a cualquier TTL Host Serial
Memoria Flash	4M
Ranura para tarjeta	Micro-SD para actualización de firmware
Área Visual	57.6 mm x 43.2 mm
Brillo ajustable	0 ~180 nit

Fuente: (HeTPro, 2016)

b) Paneles SIMATIC HMI

La interfaz SIMATIC HMI está optimizada para satisfacer sus necesidades específicas de interfaz hombre-máquina utilizando interfaces abiertas y estandarizadas de hardware y software, que permiten una fácil integración en sus sistemas de automatización.

Ventajas	Desventajas
Programación ingeniería en el TIA Portal	Dificultad con la conexión con Arduino
Pantalla táctil y/o teclas de manejo de 22"	Costos elevados
Interfaz PROFINET Gigabit	No soporta temperaturas superiores a los 60 °C
Máxima seguridad de datos	
Fácil conexión con diversos PLC	

Tabla 12
Características del Panel Simatic HMI

Características Paneles SIMATIC HMI	
Área Visual	4" a 22"
Pantalla	Formato panorámico
Panel	Táctil
Seguridad de Datos	Máxima
Conexión	periféricos USB
Switch Ethernet	2 puertos
Interfaz	PROFINET Gigabit
Resolución	profundidad de 64.000
Software	Ingeniería en el TIA Portal
Control	PLC gama siemens

Fuente: (SIEMENS, 2016)

c) Interfaz gráfica en Ordenador

Conocida también como GUI (del inglés graphical user interface), es un programa informático que actúa de interfaz de usuario, utilizando un conjunto de imágenes y objetos gráficos para representar la información y acciones disponibles en la interfaz. Su principal uso, consiste en proporcionar un entorno visual sencillo para permitir la comunicación con el sistema operativo de una máquina o computador³.

Ventajas	Desventajas
Fácil Programación	Se necesita un ordenador que esté instalado el Software
El tamaño de visualización depende del monitor	Dificultad en la configuración de puertos de entrada y salida entre la Interfaz y Arduino
Interfaz amigable con el usuario	Adquisición de librerías para configuración
Conexión con varios dispositivos de control	
Facilidad de envío y recepción de datos entre Arduino y la Interfaz	

Tabla 13
Características de Interfaz gráfica por Ordenador

Características Interfaz gráfica por Ordenador	
Área Visual del monitor	15.6 "
Pantalla	plana de cristal líquido
Resolución	1280x720 pixeles

³ Fuente de consulta: <http://www.howtogeek.com/howto/17528/change-the-user-interface-language-in-ubuntu/> Realizada: 2 de junio del 2016

Características Interfaz gráfica por Ordenador	
Puesto de entrada	VGA
Procesador de Ordenador	Min 2GB
Tarjeta de video	Min 500 MB
Memoria	180 MB
Lenguaje de programación	C++

3.6.2 Módulo 2. Indicadores

a) Piloto Luminoso Modular p/ luz incandescente

Tipo Piloto Luminoso Modular, Color Lente Blanco, Forma del lente Redondo Rasante, Dimensiones 22mmD, Tipo de lámpara Incandescente.

Ventajas	Desventaja
El tipo de iluminación es LED.	Trabaja con fuente de alimentación de 120V. No soporta elevados cambios de voltaje
El montaje al tablero electrónico es por enchufe.	
Posee protección IP66.	
Generación de calor Baja.	
Vida útil muy alta.	

Tabla 14

Características de Indicador luminoso LED

Características de Indicador luminoso LED	
Tipo	LED Blanco
Montaje	enchufe
Tipo de protección	IP66
Voltaje	110 V AC
Frecuencia	60Hz
Luminancia	Alta
Capas adaptables de casquete	Rojo, Amarillo, Verde, Azul, Blanco

Fuente: (STAHL, 2016)

b) Boutique AC 220 V LED rojo

AC 220 V LED rojo indicador de alimentación Piloto lámpara de luz única 22 25mmProduct Nombre: indicador de señal de luz; Modelo No.: AD16-22S Voltaje: CA 220 V; corriente: Degreee protector de la cabeza IP65 montaje diámetro del agujero: 22mm/0.9 "; Total Tamaño: 51x29mm/2" x 1.1 "(L * D)

Ventajas	Desventajas
El voltaje de alimentación es de 220V AC La colocación del dispositivo es de forma de tornillo Amperaje de trabajo 20mA Requerimiento de energía eléctrica bajo	Lámpara única de color rojo. No permite el intercambio de color en la luz piloto. En sobre carga la luz piloto no posee gran protección.

Tabla15

Características de indicador de alimentación Piloto

Características de indicador de alimentación Piloto	
Tipo	Lámpara de luz única
Montaje	rosca
Tipo de protección	IP65
Voltaje	220 V AC
Frecuencia	60Hz
Luminancia	Alta
Capas adaptables de casquete	No posee

Fuente: (aliexpress, 2016)

c) Indicador luminoso LED

Disponible en tres modelos con el fin de indicar un abierto/paró al protector enclavijado (rojo), y un armado/cerró al protector enclavijado.

Ventaja	Desventaja
Cambio de colores en el encendido y el paro con el uso del mismo dispositivo. Trabaja a 110V AC y 220V AC. Corriente de trabajo 20mA. Bóveda translúcida del policarbonato. Alambres de plomo de vuelo de 130 milímetros (5 adentro).	Sensible a variación bruscas de Voltaje y corriente. Colocación de protecciones de gran capacidad. En caso de avería la luz LED no se puede reemplazar.

Tabla 16

Indicador luminoso LED

Características de Indicador luminoso LED	
Tipo	LED
Montaje	rosca
Tipo de protección	IP67
Voltaje	110 y 220 V AC
Frecuencia	50 y 60Hz
Luminancia	Alta
Capas adaptables de casquete	No posee

Fuente: (BANNER, 2016)

3.6.3 Módulo 3. Controlador lógico

a) Controlador Lógico Programable (PLC)

El Controlador Lógico Programable (PLC) es un dispositivo electrónico, el cual realiza la ejecución de un programa de forma cíclica. Estos controladores son utilizados en ambientes industriales donde la decisión y la acción deben ser tomadas en forma muy rápida, para responder en tiempo real. Los PLC son utilizados donde se requieran tanto controles lógicos como secuenciales o ambos a la vez. ((PLC), 2016)

Ventajas	Desventajas
Es un gasto efectivo para controlar sistemas complejos.	Es necesario adiestrar a los técnicos.
Poseen gran flexibilidad y pueden ser aplicados para controlar otros sistemas de manera rápida y fácil.	Costo inicial.
Permite programar fácilmente y reduce el tiempo de inactividad del proceso.	Es preciso que el proyectista lo conozca tanto en su amplitud como en sus limitaciones.
Alta velocidad de Operación.	
Puede trabajar en condiciones severas como: vibraciones, campos magnéticos, humedad, temperaturas extremas.	

Tabla 17

Características técnicas PLC

Características Técnicas PLC	
Alimentación	24 Vdc
Temperatura de Operación	20-60 °C
Humedad Relativa	95% sin condensación
Periferia mínima	14 entradas digitales [24Vdc]
	10 salidas digitales [24Vdc]
	2 entradas analógicas 0-10 [Vdc]
	4 entradas analógicas a 20mA configurables.
	2 salidas analógicas a 20mA configurables
Puerto Integrado	Interfaz PROFINET
Conexiones Punto a Punto	RS-485/422, RS-232, AS-i, GPRS, PROFIBUS DP
Comunicación IE abierta	TCP/IP, ISO-on-TCP
Conexión de datos permanentes	Activo 24 horas del día

Fuente: (equipos, 2016)

b) Raspberry Pi

Raspberry Pi es una placa computadora (SBC), se podría decir que es un ordenador de tamaño reducido, del orden de una tarjeta de crédito, desarrollado en el Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi la cual tiene como objetivo de estimular la enseñanza de la informática en las escuelas.

Ventajas.	Desventajas.
Bajo consumo, aproximadamente consume 700mA lo que nos permite tenerlo encendido 24/7.	
Bajo precio, el cual es accesible para todos y es más rentable comprar uno para nuestros propios proyectos que pagar un servidor, por ejemplo.	Menor procesador y memoria RAM lo que limita la ejecución de tareas.
Gran comunidad y proyectos basados en él. Aunque en el mercado hay otras alternativas, Raspberry Pi cuenta con muchos usuarios y una gran cantidad de proyectos de todo tipo.	Con el uso se puede producir un calentamiento debido a que no cuenta un sistema integrado de refrigeración.
Tamaño reducido. La placa completa puede ser algo más grande que una tarjeta de crédito, lo que permite llevarla a cualquier sitio e instalarla en lugares con poco espacio.	
Se lo puede utilizar con diferentes sistemas operativos como Linux, apache, samba.	

Tabla 18
Características técnicas Raspberry Pi.

Características Técnicas Raspberry Pi	
Alimentación.	5V / 700 [mA]
CPU ARM1176JZF-S	700 [MHz]
Memoria RAM	512 [MB]
Conexiones.	4x USB 2.0
	1x salida audio mini Jack 3.5 [mm]
	1x Salida audio/video HDMI.
	1X Micro USB
	1x RJ45 10/100 Ethernet RJ45.
Conectividad.	LAN Red Local Wifi

Fuente: (binarios, 2016)

c) Arduino.

Es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

Ventajas.	Desventajas.
<p>Simplifica el proceso de trabajar con microcontroladores.</p> <p>Son más accesibles comparadas con otras plataformas de microcontroladores. Los módulos más caros de Arduino pueden ser montadas a mano bajando sus costos. Su entorno de programación es fácil de usar para principiantes y flexible para los usuarios avanzados.</p> <p>Además, está basado en el entorno de programación de Processing, con lo que los estudiantes que aprendan a programar en este entorno se sentirán familiarizados con el entorno de desarrollo.</p> <p>La licencia de distribución es libre y preparado para ser adaptado por programadores experimentados. El lenguaje puede ampliarse a través de librerías de C++, y en caso de querer profundizar en los detalles técnicos, se puede dar el salto a la programación en el lenguaje AVR. (IntekElectronica, 2016)</p>	<p>Dado que la programación no se realiza en ensambler, el precio a pagar por el uso de las librerías es un retraso en la ejecución de las instrucciones, algunos microsegundos que en el caso de dispositivos de uso cotidiano son irrelevantes, pero significativos a la hora de hacer adquisición de datos.</p> <p>El hecho de que la plataforma venga ya ensamblada les quita flexibilidad a los proyectos, así por ejemplo estaríamos obligados a usar un espacio y forma acorde con el PCB del Arduino.</p>

Tabla 19

Características técnicas Arduino

Características Técnicas Arduino	
Micro-controlador	ATmega2560
Voltaje de Operación	5V
Voltaje Recomendado de Entrada	7-12V
Límite de voltaje entrada	6-20V
Entradas/salidas digitales	54 (14 como salidas PWM)
Entradas analógicas	16
Corriente por Pin Entrada/salida	40mA
Corriente para el Pin 3.3V	50mA

Características Técnicas Arduino

Memoria Flash	256 KB (Solo (KB son usados por la secuencia de arranque "bootloader"))
SRAM	8 KB (dos bancos: 64 KB y 32 KB)
EEPROM	4 KB
Velocidad de Reloj	16 MHz

Fuente: (Arduino, 2016)

3.6.4 Módulo 4. Movilidad

- **Motores**

- a) **Motores con estator bobinado y caja reductora**

Es el motor de más uso a nivel mundial pues abarca gran variedad de tamaños y de parámetros de trabajo.

Ventajas	Desventajas
Posee una alimentación de 12VDC accionamiento directo (24 VCC). Tiene un torque de 40 RPM (+/- 5rpm). Potencia de trabajo 600w. Fácil manipulación, instalación y adquisición. Caja de cambios de sellado mantiene la lubricación.	Precio elevado. Programación compleja. Costos elevados para los implementos de control del motor a pasos.

Tabla 20

Características del Motor paso a paso

Características del Motor paso a paso	
Fuente	4.5 VDC
RPM	30
Fuerza	14 Kg/cm
Angulo de paso	1.8 grados
Pasos	200/ Vuelta
Fases	4
Corriente	2 A/Fase
Torque	2.3 Nm.

Fuente: (bricogeek, 2016)

- b) **Servomotor**

Un servomotor (también llamado servo) es un dispositivo similar a un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición.

Ventajas	Desventajas
El voltaje de operación de 2 a 30 Voltios. Control de operación sencillo. Fácil montaje. Mantiene el torque cuando este en reposo.	Difícil adquisición con elevados costos. Rápido desgaste de los rodamientos. Operación ruidosa.

Tabla 21
Características de Servomotor Futuba S3003

Características de Servomotor Futuba S3003	
Fuente	4.8 V a 6V
Corriente de operación	7.2mA
Torque	3.2KG·CM(4.8V) A 4.1KG·CM(6V)
Fases	3
Tamaño	4.05 x 1.95 x 4.3 CM
Velocidad	0.28SEC/60°(4.8V) A 0.22SEC/60°(6V)
Medio de control	DIGITAL/PWM (1500uS NEUTRO)
Peso	44g

Fuente: (Futaba, 2016)

- **Transmisión de Potencia**

- a) **Bandas de Transmisión**

Entre los dispositivos de transmisión mecánica, se encuentra la transmisión por banda, la cual es una aplicación común en la industria, este sistema consta de dos poleas solidarias cada una a un eje y acopladas por medio de una banda; es un sistema muy silencioso, no necesita lubricación y resulta poco costoso de construir.

Ventajas	Desventajas
Son utilizadas en donde se requiere transporte de productos con alta precisión y cuidado del mismo. Internamente están reforzadas con cuerdas de acero o con hilos de kevlar, exteriormente son recubiertas con poliuretano. Son de trabajo silencioso y de para larga vida útil. Pueden ser recubiertas con tejido de poliamida del lado dentado, para aplicaciones con alta velocidad poco ruido y alta resistencia al desgaste.	Inconstancia de la relación de transmisión cinemática debido al deslizamiento elástico. Vida útil de la banda relativamente baja. Requiere tensión de montaje. Cargas transversales sobre los ejes. Deslizamiento elástico de la banda (1-2%). Variación de la longitud de la banda y del coeficiente de fricción en función de las condiciones ambientales (temperaturas elevadas, polvo, contacto con vapor de agua, aceite, etc.). (docs.google.com, 2016)

b) Correas

Las correas se utilizan para transmitir, mediante un movimiento de rotación, potencia entre árboles normalmente paralelos, entre los cuales no es preciso mantener una relación de transmisión exacta y constante.

Son estas transmisiones adecuadas para distancias entre ejes relativamente grandes, actuando bajo condiciones adversas de trabajo (polvo, humedad, calor, etc.), son además silenciosos y tienen una larga vida útil sin averías ni problemas de funcionamiento.

Ventajas	Desventajas
<p>La distancia entre ejes puede ser tan pequeña como permitan las poleas. La relación de diámetros entre poleas puede ser muy grande, llegando hasta 12/1. Las correas trapeciales trabajan en cualquier posición. Pueden usarse correas múltiples. Requieren gracias al efecto cuña muy poca tensión inicial. Soporta muy bien las temperaturas extremas. No atacan a los cojinetes de soporte de las poleas por tensión excesiva. Resisten la intemperie.</p>	<p>Las grasas, aceites, gasolinas y gas las atacan. Su longitud crece con el uso. El deslizamiento las destruye rápidamente. (uclm, 2016)</p>

c) Polea

Una polea es una máquina simple, un dispositivo mecánico de tracción, que sirve para transmitir una fuerza. Además, formando conjuntos —aparejos o polipastos— sirve para reducir la magnitud de la fuerza necesaria para mover un peso.

Ventajas	Desventajas
<p>Posibilidad de unir el árbol conductor al conducido a distancias relativamente grandes. Funcionamiento suave, sin choques y silencioso. Costo inicial de adquisición o producción relativamente bajo</p>	<p>Grandes dimensiones exteriores. Inconstancia de la relación de transmisión cinemática debido al deslizamiento elástico. Vida útil de la correa relativamente baja.</p>

Ventajas	Desventajas
Facilidad de ser empleada como un fusible mecánico, debido a que presenta una carga límite de transmisión, valor que de ser superado produce el patinaje (resbalamiento) entre la correa y la polea. Diseño sencillo.	Grandes cargas sobre los árboles y apoyos, y por consiguiente considerables pérdidas de potencia por fricción.

3.6.4. Módulo 5. Control

a) Control de temperatura PID

Debido a su nuevo desarrollo único y avanzado del algoritmo PID, la Serie TK realiza un mejor control con un ciclo de muestreo de alta velocidad a 50ms y una precisión de display a 0.3%.

Ventajas	Desventajas
Ciclo de muestreo de alta velocidad (10 veces mayor en comparación con modelos ya existentes). Visibilidad mejorada con un amplio display y LED de alta luminosidad. Control de alto rendimiento con control de calentamiento/enfriamiento y modos de control automático/manual. Entrada múltiple / Rango múltiple.	Costo elevado. Instalación cuidadosa. Rango de temperaturas limitadas por un máximo y un mínimo.

Tabla 22

Características de Controlador de temperatura PID

Características de Controlador de temperatura PID	
Alimentación	100-240VAC 50/60 Hz
Rango de voltaje permitido	90~100% de voltaje nominal
Consumo	Max. 8 VA
Método de display	7 segmentos
Tipo de entrada	RTD, Termopares, Analógica
Medición de temperatura ambiente	23°C ± 5°C

Fuente: (Autonics, 2016)

b) Control de temperatura ON-OFF

En el control ON-OFF se define una temperatura de referencia (la temperatura a la que queremos llegar y mantener) y una banda de accionamiento, que en este caso es

la variación de temperatura que vamos a permitir, con respecto a la de referencia, y que debe ser acorde a las características del proceso; por ejemplo, podría ser +/- 2°C.

Ventajas	Desventajas
Resulta muy sencillo procesarlas mediante circuitos electrónicos, que son tan económicos como fiables. Buena precisión en la medida de la temperatura, gran adaptación de diferentes tipos de termocuplas.	Visualización de la temperatura indirectamente. Consumo de energía elevado Error en la regulación de temperatura con poco rango de variación

Tabla 23

Características de controlador de temperatura ON-OFF

Características de Controlador de temperatura ON-OFF	
Alimentación	100-240VAC 50/60 Hz
Rango de voltaje permitido	50~100% de voltaje nominal
Consumo	Max. 13 VA
Método de display	7 segmentos
Tipo de entrada	Termopares, Analógica
Medición de temperatura ambiente	24°C ± 5°C

Fuente: (Omega, 2016)

c) Controlador de temperatura por implementación de circuito

Un sistema de control implementado con la adquisición de los componentes electrónicos.

Ventajas	Desventajas
Se controla rangos pequeños de temperatura. No consume mucha energía. Regulación manual.	Adquisición de los componentes electrónicos compleja. Pérdida de tiempo en calibración de los componentes. Estabilización de fuente de alimentación. Variación en la medida de temperatura.

3.6.5. Módulo 6. Instrumentación

- **Sensores de temperatura**

- a) **Termocupla**

Las termocuplas son los sensores de temperatura eléctricos más utilizados en la industria. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un

extremo, al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, del orden de mili-voltios el cual aumenta con la temperatura.

El principio de medición que utiliza este sensor se basa en tres principios físicos, que son:

Efecto Thomson. - Consiste en un gradiente de temperatura en un conductor metálico, está acompañado por un gradiente de voltaje, cuya magnitud y signo depende del metal que se esté utilizando.

Efecto Peltier. - Consiste en que cuando una corriente eléctrica fluye a través de una juntura de dos metales diferentes, se libera o absorbe calor. Cuando la corriente eléctrica fluye en la misma dirección que la corriente Seebeck, el calor es absorbido en la juntura caliente y liberado en la juntura fría.

Efecto Seebeck. - Al unir dos alambres de materiales diferentes formando un circuito, se presenta una corriente eléctrica cuando las juntas se encuentran a diferente temperatura. Esto es debido a la combinación de los dos efectos anteriores.

Ventajas.	Desventajas
Fácil de encontrar en el mercado Económicas y muy robustas Cubren amplios rangos de temperatura (-180 a 1370°C).	No poseen alta precisión (+/- 0,5°C) No pueden extenderse a más de 10 o 20 metros del indicador por las interferencias de corriente y por el costo del cable · Su vida útil se reduce considerablemente al ser expuestas a altas temperaturas o a atmósferas oxidantes y reductoras.

Tabla 24
Características Técnicas Termocuplas Metálicas

Característica Técnicas Termocuplas Metálicas				
Tipo ANSI-ISA	Combinación de metales	Sensibilidad	Composición química	Rangos de temperatura [°C]
J	Hierro/Constantan	5,6 mV /100°C	Fe 44Ni:55Cu	-40 a +750

Tipo ANSI-ISA	Combinación de metales	Sensibilidad	Composición química	Rangos de temperatura [°C]
K	Cromel/Alumel	3,6 mV /100°C	90Ni9Cr 94 Ni: Al: Mn: Fe	-40 a +1200
T	Cobre/Constantan	4,6 mV /100°C	Cu 44 Ni:55Cu	-50 a +400
E	Cromel/Constantan	7,9 mV /100°C	90 Ni:9 Cr 44 Ni:55 Cu	-40 a +900

Fuente: (Instrumental, 2016)

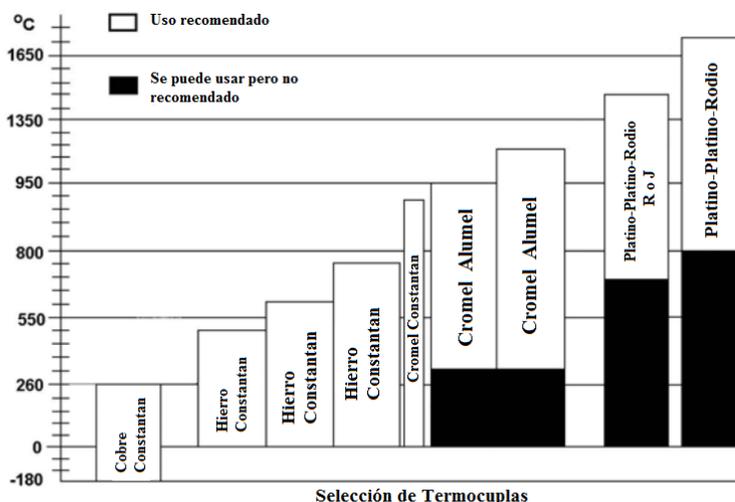


Figura 35 Selección de Termocopias, según su composición química.
Fuente: (Alvarez, 2016)

b) Detector de temperatura Resistivo (RTD)

Este sensor de temperatura se basa en el principio físico en la resistividad de los metales, es decir, en variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Esto se debe ya que al incrementar la temperatura los iones vibran con mayor amplitud y así se dificulta el paso de los electrones a través del conductor. (Ingeniatic, 2016)

Ventajas.	Desventajas
Alta precisión, de hasta +/- 0.1 °C. Ideal para bajas temperaturas, en industrias	Costoso en comparación a los termopares. Trabajan en un rango de temperatura limitado (Max. 700°C).

Ventajas	Desventajas
alimenticias. Puede ser extendido fácilmente hasta 30 metros, con cable de cobre común.	Frágiles, no utilizables en lugares donde haya mucha vibración.

Tabla 25
Características Técnicas RTD

Características Técnicas RTD	
Precisión	Alta Precisión 0.1 °C
Rango de Temperatura	200 a 850 °C
Tensión de alimentación	230 VAC (10%) o 24 VDC
Máximo error global	<0.1%
Máximo error de compensación de linealidad	<0,08%
Intensidad Máxima	10mA
Resistencia a la carga	min. 1K
Deriva Térmica	0,2 mV/°C

Fuente: (krenel, 2016)

c) Termistores

Los termistores, o resistores térmicos, son dispositivos semiconductores que se comportan como resistencias con un coeficiente de temperatura de resistencia alto y, generalmente negativo. En algunos casos, la resistencia de un termistor a temperatura ambiente puede disminuir hasta un 6% por cada 1°C que se eleve la temperatura. Dada esta alta sensibilidad al cambio de temperatura hacen al termistor muy conveniente para mediciones, control y compensar con precisión la temperatura.

Ventajas.	Desventajas.
Velocidad de respuesta muy alta al tener una pequeña masa. Bajo costo Valor adecuado de la de la resistencia total, en la variación apreciable de esa resistencia con la temperatura.	Falta de estabilidad en el tiempo. Gran dispersión en comparación con las termorresistencia (RTD) que pueden fabricarse con valores de resistencia superiores, mayor exactitud y valores normalizados. Autocalentamiento al tener jornadas continuas de trabajo. Debilidad de la estandarización.

Tabla 26
Características Técnicas Termistores.

Características Técnicas	
Rango de Temperatura	-100 °C a 450°C
Resistencia a 25°C	0.5 Ω a 100M Ω (± 5% o ±10%) 1kΩ a 10M Ω es lo habitual
Precisión	0.1 °C o 0.2 °C >125°C
Temperatura máxima	300°C habitual en rango permanente 600°C habitual en régimen intermitente
Coefficiente de disipación	1mW/K en aire en reposo 8mW/K en aceite
Constante de tiempo térmica	1ms a 22s
Potencia Disipable	1mw a 1w

Fuente (ROJAS, 2016)

- **Sensores de Proximidad**

- a) **Sensor Ultrasónico**

Los sensores ultrasónicos son detectores de proximidad que trabajan libres de roces mecánicos y que detectan objetos a distancias que van desde pocos centímetros hasta varios metros. Este sensor emite sonidos y mide el tiempo que la señal tarda en regresar.

Ventajas	Desventajas
Posee un rango de detección relativamente alto.	Las medidas en objetos lejanos pueden ser erróneas.
Puede presenciar cualquier tipo de objeto independiente de su color y material.	Las falsas medidas dependen del ángulo de posicionamiento del sensor, si se ubica en la zona ciega del sensor se obtendrán mediciones erróneas.
Relativamente insensibles a la suciedad y al polvo.	Las superficies pulidas del objeto a detectar agravan el problema de medición.
Detección segura en objetos transparentes.	

Tabla 27
Características Técnicas Sensor ultrasónico

Características técnicas	
Voltaje de operación	5 V [Dc]
Corriente de operación	15 [mA]
Máximo rango de emisión	4 [m]
Mínimo rango de emisión	2 [cm]
Frecuencia de Operación	40 [Hz]
Angulo de medición	15 grados

Fuente. (electrónica, 2016)

b) Sensores Infrarrojos

El sensor infrarrojo es un dispositivo electrónico capaz de medir la radiación electromagnética infrarroja de los cuerpos en su campo de visión. Todos los cuerpos reflejan una cierta cantidad de radiación, esta resulta invisible para nuestros ojos, pero no para estos aparatos electrónicos, ya que se encuentran en el rango del espectro justo por debajo de la luz visible.⁴

Ventajas	Desventajas
Requiere de rangos bajos de voltaje para su funcionamiento. Bajo costo No requiere hardware especial, puede ser incorporado en el circuito integrado de un producto. Como los dispositivos deben ser apuntados casi directamente alineados (capaces de verse mutuamente) para comunicarse.	Se bloquea la transmisión con materiales comunes como personas, paredes, etc. Corto alcance, la performance cae con distancias más largas. Sensible a la luz y el clima, la luz directa del sol, lluvia, niebla, polvo pueden afectar la transmisión. La transmisión de datos es más baja que la típica transmisión cableada.

Tabla 28
Características Técnicas Sensor Infrarrojo

Características técnicas Sensor Infrarrojo	
Voltaje de operación	4.5 - 20 V [DC]
Corriente de reposo	< 60 [μA]
Salida de tensión	Alta/ Baja de nivel de señal: 3.3 V de salida TTL
Distancia de detección	3 a 7 [m]
Tiempo de retardo	5-200 [s] (se puede ajustar, por defecto 5s ± 3%)
Angulo de detección	< 110 grados
Temperatura de trabajo	-20 a 80 [°C]

Fuente. (Electrobiomedical, 2016)

⁴ Fuente de consulta: <http://pacific.fi-p.unam.mx/cursos/sensor%20infrarrojo/INFRA.pdf> . Realizada 2 de junio del 2016

c) Sensor Fin de Carrera

Los fines de carrera son sensores de contacto que muestran una señal eléctrica, ante la presencia de un movimiento mecánico. Son utilizados ampliamente en ambientes industriales para censar la presencia de objetos en una posición específica, pueden determinar la presencia, ausencia, paso y posicionamiento de un objeto.

Su principio de funcionamiento se basa en el movimiento mecánico en forma de leva o empujador el cual actúa sobre la palanca o pistón de accionamiento del interruptor de posición haciendo abrir o cerrar un contacto eléctrico del interruptor. Esta señal eléctrica se utiliza para posicionar, contar, parar o iniciar una secuencia operativa al actuar sobre los elementos de control de la máquina.

Ventajas	Desventajas
Facilidad de instalación.	
Robustez del sistema	Velocidad de detección y la posibilidad de rebotes en el contacto
Insensible a estados transitorios.	
Trabaja a tensiones altas.	Depende de la fuerza de actuación.
Es inmune a la electricidad estática debido a que no posee imanes.	

Tabla 29

Características Técnicas Sensor Fin de Carrera

Características técnicas DC1C-A1SC	
Valores nominales de los contactos	6A a 250 Vac
Temperatura de funcionamiento	-40 a 120 [°C]
Fuerza de Funcionamiento	0.8 [N]
Vida útil mecánica	$> 2 * 10^6$
Índice de protección IP	IP 67
Tipo de actuador	rodillo

Fuete (Cetronic, 2016)

3.6.6. Módulo 7. Protección

- **Fusibles de Potencia**

- a) **Fusibles de Expulsión**

Un fusible de expulsión es un fusible ventilado en el que el efecto de expulsión de los gases producidos por el arco interno, por su cuenta o con la ayuda de otros mecanismos, provoca la interrupción de la corriente. Un fusible de expulsión no es limitador de corriente y, por consiguiente, limita la duración de una falla en el sistema eléctrico ya que posee poca capacidad de interrupción de corriente. (Eaton, 2016)

Ventajas	Desventajas
Estos dispositivos es que pueden ser recargados con un link fusible relativamente económico. Existe una amplia variedad de tipos y tamaños de links fusibles que podrían utilizarse en el mismo compartimiento del fusible. Relativamente económico. Limita y extingue las corrientes de cortocircuito en ¼ de ciclo, reduciendo así las sollicitaciones térmicas y dinámicas en la instalación Su funcionamiento es independiente	Poca precisión Envejecimiento Tiempos de operación demasiado prolongados para las sobrecargas No es conveniente para sobre corrientes débiles. No deben ser reparados (pierde sus características). (osinergminorienta, 2016)

Tabla 30

Características Técnicas fusible de expulsión

Características Técnicas	
Tensión Nominal	15 [KV]
Corriente Nominal	300 [A]
Frecuencia Nominal	50 / 60 Hz
Tensión de ensayo a frecuencia industrial 50 Hz 1 min (KV)	Terminal contra masa: 34 entre terminales: 38
Capacidad de interrupción simétrica	7.1 [KA]
Capacidad de interrupción asimétrica	10 [KA]
Máxima elevación de temperatura de los contactos	20 [°C]
Máxima elevación de temperatura de los terminales	17 [°C]

Fuente: (Concha, 2016)

b) Fusibles limitadores de corriente

Su principal función es la interrupción de corrientes de cortocircuito, estos cartuchos son el principal dispositivo de protección usado en máquinas eléctricas, debido a ser dispositivos seguros, fiables, no agresivos con el medioambiente y económicos, los fusibles de interrupción de corriente son el dispositivo de protección más recomendable para la protección de transformadores de distribución, pero también debido a su rapidez de funcionamiento y a la gran capacidad para limitación de corriente en caso de un cortocircuito. (Cooperbusmann, 2016)

Ventajas	Desventajas
<p>Son seguros ya que poseen una alta capacidad de interrupción y pueden operar con altas corrientes sin ruptura. Utilizados adecuadamente, previenen apagones: solamente el fusible más cercano a la falla se abre sin que los fusibles anteriores resulten afectados. En protección contra altas corrientes de corto circuito y bajo las mismas características de diseño, un fusible tiene un costo más bajo que los interruptores.</p> <p>En caso de una falla o daño, es más barato cambiar fusibles que interruptores.</p> <p>Requerimiento mínimo de espacio.</p>	<p>En caso de una falla dentro de los valores permisibles, el interruptor se necesita solamente reestablecer y el fusible necesita cambio.</p> <p>Al momento de realizar un cambio de fusible, puede que el técnico instale uno que no sea el adecuado, y esto podría provocar accidentes.</p> <p>Para proteger motores contra pérdida de fase, el fusible deberá estar bien diseñado para que abran los otros dos fusibles por sobre corriente, y el motor trabaje a su corriente nominal. (electricidad, 2016)</p>

Tabla 31

Características Técnicas fusible limitador de corriente

Características Técnicas fusible limitador Clase G	
Rango de Voltaje	300 Vac únicamente
Rango de Corriente	0-60 [A]
Capacidad de ruptura	100 KA simétricos
Dimensiones Norma	UL 198.2
Retardo de tiempo opcional	El retardo debe tener como mínimo 12 [s] a 200% de la corriente nominal según UL 198.2

Fuente: (Fusibles.cl, 2016)

c) Fusible eléctrico

El fusible eléctrico es un dispositivo destinado a proteger una instalación eléctrica y sus componentes contra sobre corrientes, su principal función la de interrumpir el flujo de la corriente eléctrica cuando esta sobrepasa el valor de la corriente de fusión del fusible dentro de un tiempo determinado.

Ventajas	Desventajas
Seguridad en su accionamiento frente a una sobre carga de tensión.	Dificultad de protección contra sobrecargas
Economía en relación con el servicio que presta.	En labores de mantenimiento se puede reemplazar un fusible por otro de calibre superior obteniéndose una falsa protección.
	En sistema trifásico, si se funde una sola fase pueden seguir funcionando las máquinas sobrecargando las otras dos fases.

- **Relés**

a) Relé de estado Solido

El relé de estado sólido (SSR) es un elemento que permite aislar eléctricamente el circuito de entrada o mando y el circuito de salida. Los relés de estado sólido son bastante sensibles a las perturbaciones y transitorios eléctricos, así como a las sobrecargas en tensión y en corriente.

Ventajas	Desventaja
Son más rápidos ya que trabajan a altas frecuencias.	Circuito de entrada muy sensible a perturbaciones.
Su construcción sellada herméticamente los hace más resistentes a las condiciones ambientales.	Necesita protección extrema (Disipadores de calor, redes de protección).
Son inmunes a choques y vibraciones	Demasiada sensibilidad a la temperatura y a sobretensiones.
Al no usar partes móviles no sufren de desgaste mecánico.	Mayor complejidad en su uso. (S.A., 2016)
Son robustos, silenciosos, livianos y confiables.	
Pueden conmutar altas corrientes y voltajes sin producir arcos o ionizar el aire circundante.	
Generan muy poca interferencia.	
Manejan aislamientos del orden de kilovatios entre la entrada y la salida.	

Tabla 32

Características Técnicas Relé de estado solido

Características Técnicas	
Tensión Nominal	40-440 [VAC]
Corriente Nominal	25-80 [A]

Características Técnicas	
Aislamiento dieléctrico	2500 [VAC]
Temperatura de Funcionamiento	-25 a 70[°C]
Temperatura de almacenamiento	-35 a 85 [°C]
Humedad ambiental de funcionamiento	hasta 85%
Rango de tensión de control	3-32 [VDC]
Máxima tensión inversa	32 [VDC]

Fuente: (relequick, 2016)

b) Relé térmico

El relé térmico se basa en la dilatación de los metales al calentarse. Tras cierto tiempo de permanecer un relé térmico atravesado en sus bimetales por la intensidad a controlar y si ésta fuera elevada (sobrecarga), se producirá una curvatura hacia el lado opuesto al metal que más se dilata.

Ventajas	Desventajas
Montaje flexible, ahorra tiempo de montaje gracias al montaje directo en el contactor. La fácil parametrización reduce el tiempo de puesta en servicio. Tiempos de parada cortos gracias a la indicación de errores en el Display. El análisis adicional del termistor ofrece una protección total del motor	Contactos defectuosos por oxidación de los mismos Creación de arco voltaico con efecto de abrasión o destrucción de los contactos auxiliares. Tiempo de conmutación excesivamente alto en comparación con otros componentes electrónicos Separación galvánica entre circuito de mando y de potencia.

Tabla 33

Características Técnicas Relé de estado solido

Características Técnicas	
Tensión Nominal de aislamiento	690[V]
Frecuencia Nominal de operación	25 / 400 Hz
Grado de protección	IP20
temperatura ambiente de operación	-25 a 55[°C]
Temperatura ambiente de almacenado	-55 a 80[°C]
Máxima elevación de temperatura de los contactos	40 [°C]
Rango de corriente	0-60 [A]

Fuente. (ecatalog, 2016)

c) Contactor

Un **contactor** es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se dé tensión a la bobina (en el caso de ser contactores instantáneos). En los esquemas eléctricos, su simbología se establece con las letras KM seguidas de un número de orden.

Ventajas	Desventajas
Es muy robusto y fiable, ya que no incluye mecanismos delicados. Se adapta con rapidez y facilidad a la tensión de alimentación del circuito de control (cambio de bobina).	Principal desventaja es el tamaño que posee, al incrementar la corriente de trabajo el tamaño del contactor aumenta Genera grandes campos magnéticos los cuales pueden afectar a los componentes electrónicos
Facilita la distribución de los puestos de paro de emergencia y de los puestos esclavos, impidiendo que la máquina se ponga en marcha sin que se hayan tomado todas las precauciones necesarias.	Al activar los contactos del contactor genera mucho ruido y movimiento, si no está bien sujeto el contactor puede soltarse.
Protege el receptor contra las caídas de tensión importantes (apertura instantánea por debajo de una tensión mínima).	
Funciona tanto en servicio intermitente como en continuo.	

Tabla 34
Características Técnicas del Contactor

Características Técnicas	
Tensión Nominal de aislamiento	110-220[V]
Frecuencia Nominal de operación	50-60 Hz
temperatura ambiente de operación	-25 a 150[°C]
Temperatura ambiente de almacenado	-55 a 80[°C]
Máxima elevación de temperatura de los contactos	170 [°C]
Rango de corriente	0-60 [A]

Fuente. (Suarez, 2016)

3.6.7. Módulo 8. Sistema de calentamiento para la fundición

a) Energía a Combustión

La combustión es la conversión de la energía química primaria contenida en combustibles tales como carbón, petróleo y madera en energía calorífica secundaria por medio de un proceso de oxidación. La combustión es, por consiguiente, el término técnico para la reacción del oxígeno con los constituyentes inflamables de combustibles, que libera energía. (academiatesto, 2016)

Ventajas	Desventajas
Produce energía de forma regular con buen rendimiento. De él se obtienen diferentes productos.	El uso de combustibles calientes genera emisiones de gases de efecto invernadero y de lluvia ácida a la atmósfera, junto a partículas volantes que pueden contener metales pesados. Al ser los combustibles fósiles una fuente de energía finita, su uso está limitado a la duración de las reservas o su rentabilidad económica. Sus emisiones térmicas y de vapor pueden alterar el microclima local. Afectan negativamente a los ecosistemas fluviales debido a los vertidos de agua caliente en éstos.
Se obtiene una gran cantidad de energía de forma sencilla, cómoda y regular.	La obtención de energía térmica implica un impacto ambiental. La combustión libera CO ₂ y otras emisiones contaminantes, los riesgos de contaminación por accidentes en el uso de los materiales implicados, como los derrames de petróleo o de productos petroquímicos derivados. Su combustión, extracción y transporte genera problemas ambientales.

b) Energía eléctrica

La energía eléctrica es causada por el movimiento de las cargas eléctricas en el interior de los materiales conductores, por tanto, asociada a la corriente eléctrica. Este tipo de energía se puede transformar en muchos otros tipos de energía como energía mecánica (motores, máquinas), en energía calorífica (calefactores, estufa) o en energía

lumínica (luz). La gran ventaja que nos da la energía eléctrica es la facilidad de transporte. (iesvillalbahervastecnologia, 2016).

Ventajas	Desventajas
<p>Reducción de los costos energéticos, gracias al ahorro que se consigue en energía primaria y al menor costo de operación de una planta de cogeneración.</p> <p>Independencia de la red eléctrica y seguridad en el suministro, ya que la energía necesaria para los procesos industriales es autogenerada en la planta de cogeneración diseñada para funcionar 24 horas al día.</p> <p>Mayor protección del medio ambiente, al reducirse considerablemente las emisiones nocivas para la flora y la fauna.</p> <p>Mayor eficiencia en la generación, transporte y distribución de la electricidad y del calor, ya que la energía se genera allí donde es consumida.</p> <p>Mejor adecuación entre oferta y demanda energética, lo que tiene como consecuencia la reducción y el equilibrio en los precios de la energía.</p> <p>Al utilizar una fuente de energía de primer orden se minimizan las emisiones monóxido, dióxido de carbono y las pérdidas en la transformación y en el transporte. (Tecnología, 2016)</p>	<p>Su dificultad de almacenamiento, por lo que solo está disponible en pequeñas cantidades y adaptadas a aplicaciones de bajo consumo.</p> <p>Si no se tiene cuidado al manipularla su contacto puede ser mortal.</p>

3.6.8. Módulo 9. Estructura del horno

- **Recipientes para fundición**

- a) **Crisol de Grafito**

Los crisoles de grafito son especialmente diseñados para cada aplicación en específico, y se obtiene una alta eficacia en su funcionamiento, el grafito por ser un material con excelentes propiedades antiadherentes, los acabados de los crisoles son lisos facilitando así la reducción de mermas por incrustaciones de material fundido. (brunssen)

Ventajas	Desventajas
<p>Anti adherencia con materiales metálicos fundidos.</p> <p>Capacidad de material fundido 3 lt a 25lt.</p> <p>Temperatura máxima que soporta 2000 °C.</p> <p>No desprende ninguna partícula afectando las</p>	<p>Material frágil.</p> <p>No soporta cambios bruscos de temperatura.</p> <p>El manejo debe ser realizado con cuidado.</p>

Ventajas	Desventajas
propiedades de la fundición. Buena adherencia con pinzas de vaciado. Expansión térmica mínima.	Transferencia de calor un alta.

Tabla 35

Características de Crisol de Grafito

Características de Crisol de Grafito	
Adherencia con metales	Baja menos de 1N/mm ²
Capacidad Volumétrica	6.26 lt
Temperatura que soporta	2000°C
Composición	Base de grafito y carburo de silicio
Dimensiones	Alto 320mm, Diámetro superior 260mm, Diámetro interno 220mm

Fuente: (Morganmms, 2016)

b) Crisol de Porcelana

Tiene forma de copa, se utiliza para colocar en su interior compuestos químicos que se calientan a temperaturas muy altas. Su función es principalmente calentar, fundir, quemar, y calcinar sustancias.

Ventajas	Desventaja
Muy buena resistencia química. Expansión térmica mínima. Alta resistencia a los choques térmicos. Temperatura máxima de funcionamiento: 1100 ° C. Acristalamiento. Capacidad de material fundido 0.5lt a 1lt.	No utilizado en la industria metalurgia. Capacidad volumétrica baja. Mala anti adherencia con metales corrosivos Frágil al manipular en estado de operación.

Tabla 36

Características de Crisol de Porcelana

Características de Crisol de Porcelana	
Adherencia con metales	Baja menos de 3N/mm ²
Capacidad Volumétrica	1lt
Temperatura que soporta	1100°C
Composición	Porcelana
Dimensiones	Alto 300mm, Diámetro superior 260mm, Diámetro interno 120mm

Fuente: (laboratorio, 2016)

c) Crisol de Hierro Fundido

Es uno de los materiales más empleados, conteniendo más del 2% de carbono y más de 1% de silicio, además de fósforo, magnesio y azufre. Sus propiedades mecánicas pueden variar dentro de amplios intervalos y factores como la composición química, el enfriamiento después del vaciado, espesor y tamaño de las piezas, tratamiento térmico, la naturaleza de la matriz y el tamaño y forma de la hojuela de grafito.

Ventajas	Desventaja
Alta conductividad térmica	
Resistencia a la corrosión	Es un material frágil y no es tenaz.
Posee copos de grafito que proporcionan un alto nivel de estabilidad y que minimizan la contracción durante el proceso de fundición.	No soporta cambios bruscos de temperatura.
Bajos costos de elaboración.	La pieza de fundición debe ser especialmente fina o flexible.
Posee una buena resistencia al desgaste	En altas temperaturas el hierro fundido desprende pequeñas.

Tabla 37

Características del Crisol de Hierro fundido

Características del Crisol de Hierro fundido	
Adherencia con metales	Baja menos de 10N/mm ²
Capacidad Volumétrica	0.5lt a 20lt
Temperatura que soporta	1200°C
Composición	Hierro fundido con 2% de Grafito
Dimensiones	Alto 290mm, Diámetro superior 150mm, Diámetro interno 83mm

Fuente: (allbiz, 2016)

- **Conglomerante Refractario**

- a) **Arcilla refractaria**

Las arcillas refractarias están formadas principalmente por silicatos aluminicos, que generalmente se hacen plásticas cuando se humedecen y al ser expuestas al fuego toman una forma rígida. Estas propiedades dan a la arcilla refractaria su utilidad, puesto que se les puede moldear en casi todas las formas, las cuales conservan después de ser sometidas a la acción del fuego.

Ventaja	Desventaja
Resistencia a temperaturas elevadas.	Se debe adicionar otros componentes para que la mezcla de arcilla genere el recubrimiento y la aislación al calor correcta.
Composición plástica al mezclarse con agua.	
Fácil manipulación de la mezcla.	Al unir mezclar la arcilla con otros componentes disminuye sus propiedades refractarias.
Secado rápido y gran adherencia.	
Composición solida dura al enfriarse.	Si no se colocan los aditamentos con la medida indicada la arcilla refractaria no se fijará a la estructura refractaria.
Fácil de moldear.	

Tabla 38

Características de la Arcilla Refractaria

Características de la Arcilla Refractaria	
Resistencia térmica	Hasta 800 °C
Presentación	Granulada en polvo
Cantidad aproximada para pegar con 25Kg	Capa de 1mm cubre un área de 20m ²
Secado y Adherencia	48 horas para secado y gran adherencia
Composición	24% Al ₂ O ₃ , 63% Si O ₂
Constante de conductividad térmica	0.5 $\left[\frac{W}{m}\right]$

Fuente: (Piro, 2016)

b) Mortero refractario

Es un compuesto de conglomerantes inorgánicos, agregados finos y agua, y posibles aditivos que sirven para pegar elementos de construcción tales como ladrillos refractarios. Además, se usa para rellenar los espacios que quedan entre los bloques y para el revestimiento de paredes, con esto se brinda un excelente aislamiento térmico en hornos de fundición.

Ventaja	Desventaja
Resistencia a temperaturas elevadas.	
Composición plástica lista para su aplicación.	Tiene costo muy elevado debido a su elaboración.
Fácil manipulación de la mezcla.	El proceso de secado se lo debe hacer al medio ambiente.
Secado rápido y gran adherencia.	
Composición solida dura al enfriarse.	
Fácil de moldear.	

Tabla 39
Características de Mortero refractario

Características de Mortero refractario	
Resistencia térmica	Hasta 2000 °C
Presentación	Masilla
Cantidad aproximada para pegar con 25Kg	Capa de 1mm cubre un área de 50m ²
Secado y Adherencia	24 horas para secado y gran adherencia
Composición	43% Al ₂ O ₃ , 50.3% SiO ₂
Constante de conductividad térmica	0.2 $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right]$

Fuente: (Vesuvius, 2016)

c) Cemento Refractario

Tiene por excelencia como producto las cerámicas y se los utiliza en diversos tipos de hornos, ya sean industriales, químicas, metalúrgicas o siderurgias, en refinerías de petróleo o bien, ladrilleras, cementeras, industrias de vidrio, entre otras.

Ventaja	Desventaja
Resistencia a temperaturas elevadas.	Debe colocarse aditamentos tales como aglutinantes para su preparación.
Composición pastosa al momento de la preparación.	Se demora alrededor de 4 días en secar completamente
Fácil manipulación de la mezcla.	Si no se realiza la combinación correcta de aglutinantes no se tiene una buena fijación a los ladrillos
Fácil de moldear.	Si solo se mezcla con agua el cemento al secar es muy frágil.
Bajos costos.	El proceso de secado se lo debe hacer al medio ambiente.

Tabla 40
Características de Cemento Refractario

Características de Cemento Refractario	
Resistencia térmica	Hasta 1800 °C
Presentación	Granulada
Cantidad aproximada para pegar con 25Kg	Capa de 1mm cubre un área de 15m ²
Secado y Adherencia	72 horas para secado
Composición	23% Al ₂ O ₃ , 50.3% SiO ₂
Constante de conductividad térmica	0.6 $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right]$

Fuente: (revestimientos, 2016)

- **Material Aislante**

- a) **Ladrillo refractario**

Los ladrillos refractarios son hechos de material cerámico específicamente diseñado para soportar altas temperaturas. Están hechos de una mezcla de arcilla refractaria, sílice y alúmina en diferentes proporciones de acuerdo al uso final que se le dará al ladrillo. Sus aplicaciones son diversas, desde hornos domésticos y asadores, hasta grandes hornos industriales.

Ventaja	Desventaja
Mayor almacenamiento de calor.	
Soporta temperaturas de 2000°C.	
Conserva su forma al estar expuesta a altas temperaturas	Costo muy elevado.
Posee baja conductividad térmica es por esto que es un material aislante	No soportan cambios bruscos de temperatura.
Contiene alto contenido de Sílice.	Es un material frágil.
Piezas de alta densidad.	La fatiga por cambios bruscos de temperatura los desintegra.
Poseen textura lisa y homogénea.	
Alto punto de fusión.	

Tabla 41

Características de Ladrillo refractario

Características de Ladrillo Refractario	
Densidad media	800 kg/m ³
Temperatura máxima que soporta	2000 °C
Resistencia a la compresión en caliente	0.2 MPa
Composición	58Al ₂ O ₃ 39.1SiO ₂
Conductividad térmica	0.5 $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ K}\right]$
Dimensiones	230x120x60 mm

Fuente: (Resuestario, 2016)

- b) **Ladrillo de tejar**

Es un material de construcción, generalmente cerámica y con forma octaédrico, cuyas dimensiones permiten que se pueda colocar con una sola mano por parte de un operario.

Ventaja	Desventaja
Mayor almacenamiento de calor.	Costo muy elevado.
Soporta temperaturas de 800°C.	No soporta altas temperaturas.
Posee baja conductividad térmica es por esto que es un material aislante	Absorbe la humedad del ambiente.
Poseen textura homogénea.	La fatiga por cambios bruscos de temperatura los desintegra.
Costos bajos.	
Es un material que soporta la presión.	

Tabla 42

Características de Ladrillo de tejar

Características de Ladrillo de tejar	
Densidad media	1534.4 kg/m ³
Temperatura máxima que soporta	815 °C
Resistencia a la compresión en caliente	28 MPa
Composición	Arcilla roja
Conductividad térmica	0.376 $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ K}\right]$
Dimensiones	260x50x25 mm

Fuente: (ecopiedra, 2016)

3.7. Evaluación y selección de diseño

3.7.1. Módulo 1

Para el desarrollo y selección de alternativas, en el módulo 1 se tomaron las siguientes posibles soluciones.

Posibles Soluciones:

3.7.1.1. Interfaz Grafica

- Solución A: Pantalla Nextion NX3224T028
- Solución B: Paneles SIMATIC HMI
- Solución C: Interfaz gráfica en ordenador

Tabla 43

Criterio de ponderación para la selección de Interfaz grafica

Área Visual > Resolución > Costo					
Criterio	Resolución	Área Visual	Costos	$\sum +1$	Ponderación
Resolución	-	0,5	1	2,5	0,33
Área Visual	1	-	1	3	0,40
costos	0,5	0,5	-	2	0,27
			Suma	7,5	1,00

En la tabla 43 se procede a generar la evaluación de cada una de las alternativas, tomando en cuenta los criterios de mayor relevancia para realizar una selección adecuada.

Tabla 44

Resolución en el análisis de las posibles soluciones

Resolución	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	0,5	0	1,5	0,21
Solución B	1	-	0,5	2,5	0,36
Solución C	1	1	-	3	0,43
			Suma	7	1

Tabla 45

Área Visual en el análisis de las posibles soluciones

Área Visual	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	0,5	0	1,5	0,21
Solución B	1	-	0,5	2,5	0,36
Solución C	1	1	-	3	0,43
			Suma	7	1

Tabla 46

Costos en el análisis de las posibles soluciones

Costos	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3	0,46
Solución B	0	-	0,5	1,5	0,23
Solución C	0,5	0,5	-	2	0,31
			Suma	6,5	1

Una vez generado las evaluaciones del módulo se tiene en la tabla 42 las conclusiones y la ponderación de la solución más viable a ser utilizada.

Tabla 47

Conclusiones de selección

Solución C>Solución B> Solución A					
Conclusión	Resolución	Área Visual	Costos	\sum	Ponderación
Solución A	0,07	0,09	0,12	0,28	3
Solución B	0,12	0,14	0,06	0,32	2
Solución C	0,14	0,17	0,08	0,40	1

Respecto a los criterios de resolución, área visual y costos, la solución C (Interfaz gráfica en ordenador) es la que mejor se adapta a los requerimientos para la visualización y mando en el proceso de la máquina, destacándose sobre las otras opciones como Pantalla Nextion NX3224T028, Paneles SIMATIC HMI.

3.7.2. Módulo 2

Para el desarrollo y selección de alternativas, en el módulo 2 se tomaron las siguientes posibles soluciones.

Posibles Soluciones:

3.7.2.1. Indicadores

- Solución A: Piloto luminoso modular p/ luz incandescente
- Solución B: Boutique AC 220 V led rojo
- Solución C: Indicador luminoso led.

Tabla 48

Criterio de ponderación para la selección de Indicadores luminosos

Luminancia > Costo > Montaje					
Criterio	Costo	Montaje	Luminancia	$\sum+1$	Ponderación
Costo	–	1	0,5	2,5	0,33
Montaje	0,5	–	0,5	2	0,27
Luminancia	1	1	–	3	0,40
			Suma	7,5	1,00

En la tabla 48 se procede a generar la evaluación de cada una de las alternativas, tomando en cuenta los criterios de mayor relevancia para realizar una selección adecuada.

Tabla 49

Costo en el análisis de las posibles soluciones

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	–	0,5	1	2,5	0,33
Solución B	1	–	1	3	0,40
Solución C	0,5	0,5	–	2	0,27
			Suma	7,5	1

Tabla 50

Montaje en el análisis de las posibles soluciones

Montaje	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	–	0,5	0,5	2	0,27
Solución B	1	–	1	3	0,40
Solución C	1	0,5	–	2,5	0,33
			Suma	7,5	1

Tabla 51
Luminosidad en el análisis de las posibles soluciones

Luminosidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	–	0,5	0,5	2	0,27
Solución B	1	–	1	3	0,40
Solución C	1	0,5	–	2,5	0,33
			Suma	7,5	1

Una vez generado las evaluaciones del módulo se tiene en la tabla 47 las conclusiones y la ponderación de la solución más viable a ser utilizada.

Tabla 52
Conclusiones de selección

Solución B>Solución C> Solución A					
Conclusión	Costo	Montaje	Luminosidad	Σ	Ponderación
Solución A	0,11	0,07	0,11	0,29	3
Solución B	0,13	0,11	0,16	0,40	1
Solución C	0,09	0,09	0,13	0,31	2

Respecto a los criterios de costo, montaje y luminosidad, la solución B (Boutique AC 220 V led rojo) es la que mejor se adapta a los requerimientos para la señalización del proceso en la máquina, destacándose sobre las otras opciones como Piloto luminoso modular p/ luz incandescente e Indicador luminoso led.

3.7.3. Módulo 3

Para el desarrollo y selección de alternativas, en el módulo 3 se tomaron las siguientes posibles soluciones.

Posibles Soluciones:

3.7.3.1. Controladores Lógicos

- Solución A: Controlador lógico programable (PLC)
- Solución B: Raspberry Pi
- Solución C: Arduino

Tabla 53
Criterio de ponderación para Controladores Lógicos

Facilidad de Uso>Costo> Mantenimiento					
Criterio	Facilidad de Uso	Costo	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Facilidad de Uso	-	1	1	3	0,40
Costo	0,5	-	1	2,5	0,33
Mantenimiento	0,5	0,5	-	2	0,27
			Suma	7,5	1

En la tabla 53 se procede a generar la evaluación de cada una de las alternativas, tomando en cuenta los criterios de mayor relevancia para realizar una selección adecuada.

Tabla 54
Facilidad de Uso en el análisis de las posibles soluciones

Facilidad de Uso	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0,5	0,5	2	0,27
Solución B	1	-	0,5	2,5	0,33
Solución C	1	1	-	3	0,40
			Suma	7,5	1

Tabla 55
Costo en el análisis de las posibles soluciones

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0,5	0	1,5	0,21
Solución B	1	-	0,5	2,5	0,36
Solución C	1	1	-	3	0,43
			Suma	7	1

Tabla 56
Mantenimiento en el análisis de las posibles soluciones

Mantenimiento	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0	0	1	0,17
Solución B	0,5	-	0,5	2	0,33
Solución C	1	1	-	3	0,50
			Suma	6	1

Una vez generado las evaluaciones del módulo se tiene en la tabla 53 las conclusiones y la ponderación de la solución más viable a ser utilizada.

Tabla 57
Conclusiones de selección

Solución C>Solución B> Solución A					
Conclusión	Facilidad de uso	Costo	Mantenimiento	Σ	Ponderación
Solución A	0,11	0,07	0,04	0,22	3
Solución B	0,13	0,12	0,09	0,34	2
Solución C	0,16	0,14	0,13	0,44	1

Respecto a los criterios de facilidad de uso, costo y mantenimiento, la solución C (Tarjeta Arduino) es la que mejor se adapta a los requerimientos para control de procesos de la máquina, destacándose sobre las otras opciones como el PLC y Raspberry Pi.

3.7.4. Módulo 4

Para el desarrollo y selección de alternativas, en el módulo 4 se tomaron las siguientes posibles soluciones.

Posibles Soluciones:

3.7.4.1.Motores

- Solución A: Motor con estator bobinado y caja reductora
- Solución B: Motor paso a paso
- Solución C: Servomotor

Tabla 58
Criterio de ponderación para la movilidad del Sistema

Control>Costo> Instalación					
Criterio	Costo	Instalación	Control	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo	-	1	0,5	2,5	0,33
Instalación	0,5	-	0,5	2	0,27
Control	1	1	-	3	0,40
			Suma	7,5	1,00

En la tabla 58 se procede a generar la evaluación de cada una de las alternativas, tomando en cuenta los criterios de mayor relevancia para realizar una selección adecuada.

Tabla 59

Costo en el análisis de las posibles soluciones

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	–	1	1	3	0,40
Solución B	0,5	–	0,5	2	0,27
Solución C	0,5	1	–	2,5	0,33
			Suma	7,5	1

Tabla 60

Instalación en el análisis de las posibles soluciones

Instalación	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	–	1	1	3	0,43
Solución B	0,5	–	0	1,5	0,21
Solución C	0,5	1	–	2,5	0,36
			Suma	7	1

Tabla 61

Control en el análisis de las posibles soluciones

Control	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	ponderación
Solución A	–	1	0,5	2,5	0,36
Solución B	0,5	–	0,5	2	0,29
Solución C	1	0,5	–	2,5	0,36
			Suma	7	1

Una vez generado las evaluaciones del módulo se tiene en la tabla 59 las conclusiones y la ponderación de la solución más viable a ser utilizada.

Tabla 62

Conclusiones de selección

Solución A > Solución C > Solución B					
Conclusión	Costo	Instalación	Control	Σ	Ponderación
Solución A	0,13	0,11	0,14	0,39	1
Solución B	0,09	0,06	0,11	0,26	3
Solución C	0,11	0,10	0,14	0,35	2

Respecto a los criterios de costo, instalación y control, la solución A (Motor con estator bobinado y caja reductora) es la que mejor se adapta a los requerimientos para control y movilidad del proceso en la máquina, destacándose sobre las otras opciones como el motor paso a paso y servomotor.

3.7.4.2. Transmisión de potencia

- Solución A: Bandas de Transmisión
- Solución B: Correas
- Solución C: Polea

Tabla 63

Criterio de ponderación para la movilidad del Sistema

Vida útil > Temperatura de funcionamiento > Deslizamiento por fricción					
Criterio	Temperatura de funcionamiento	Vida útil	Deslizamiento por fricción	$\sum+1$	Ponderación
Temperatura de funcionamiento	–	0,5	1	2,5	0,33
Vida útil	1	–	1	3	0,40
deslizamiento por fricción	0,5	0,5	–	2	0,27
			Suma	7,5	1,00

En la tabla 63 se procede a generar la evaluación de cada una de las alternativas, tomando en cuenta los criterios de mayor relevancia para realizar una selección adecuada.

Tabla 64

Temperatura de funcionamiento en el análisis de las posibles soluciones

Temperatura de funcionamiento	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	–	0,5	0	1,5	0,21
Solución B	1	–	0,5	2,5	0,36
Solución C	1	1	–	3	0,43
			Suma	7	1

Tabla 65

Vida útil en el análisis de las posibles soluciones

Vida útil	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	–	0,5	0	1,5	0,25
Solución B	0,5	–	0	1,5	0,25
Solución C	1	1	–	3	0,50
			Suma	6	1

Tabla 66

Deslizamiento por fricción en el análisis de las posibles soluciones

Deslizamiento por fricción	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	–	0,5	0	1,5	0,21
Solución B	1	–	0,5	2,5	0,36
Solución C	1	1	–	3	0,43
			Suma	7	1

Una vez generado las evaluaciones del módulo se tiene en la tabla 63 las conclusiones y la ponderación de la solución más viable a ser utilizada.

Tabla 67

Conclusiones de selección

solución C>solución B> solución A					
Conclusión	Temperatura de funcionamiento	Vida útil	deslizamiento por fricción	Σ	Ponderación
solución A	0,07	0,10	0,06	0,23	3
Solución B	0,12	0,10	0,10	0,31	2
Solución C	0,14	0,20	0,11	0,46	1

Respecto a los criterios de Temperatura de funcionamiento, Vida útil y deslizamiento por fricción, la solución C (Polea) es la que mejor se adapta a los requerimientos para control y movilidad del proceso en la máquina, destacándose sobre las otras opciones como la banda y correas.

3.7.5. Módulo 5

Para el desarrollo y selección de alternativas, en el módulo 5 se tomaron las siguientes posibles soluciones.

Posibles Soluciones:

3.7.5.1. Control de temperatura

- Solución A: Control de temperatura PID
- Solución B: Control de temperatura ON / OFF
- Solución C: Control de temperatura por implementación de circuito.

Tabla 68

Criterio de ponderación para la movilidad del Sistema

Rango de Temperatura>Tipo de entrada> Visualización					
Criterio	Rango de temperatura	Tipo de entrada	Visualización	$\sum+1$	Ponderación
Rango de temperatura	–	1	1	3	0,40
Tipo de entrada	0,5	–	1	2,5	0,33
Visualización	0,5	0,5	–	2	0,27
			Suma	7,5	1,00

En la tabla 68 se procede a generar la evaluación de cada una de las alternativas, tomando en cuenta los criterios de mayor relevancia para realizar una selección adecuada.

Tabla 69

Rango de temperatura en el análisis de las posibles soluciones

Rango de temperatura	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3	0,43
Solución B	0,5	-	1	2,5	0,36
Solución C	0	0,5	-	1,5	0,21
			Suma	7	1

Tabla 70

Tipo de entrada en el análisis de las posibles soluciones

Tipo de entrada	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	–	1	1	3	0,40
Solución B	0,5	–	1	2,5	0,33
Solución C	0,5	0,5	–	2	0,27
			Suma	7,5	1

Tabla 71

Visualización en el análisis de las posibles soluciones

Visualización	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	–	1	1	3	0,43
Solución B	0,5	–	1	2,5	0,36
Solución C	0	0,5	–	1,5	0,21
			Suma	7	1

Una vez generado las evaluaciones del módulo se tiene en la tabla 68 las conclusiones y la ponderación de la solución más viable a ser utilizada.

Tabla 72
Conclusiones de selección

Solución A>Solución B> Solución C					
Conclusión	Rango de temperatura	Tipo de entrada	Visualización	Σ	Ponderación
Solución A	0,17	0,13	0,11	0,42	1
Solución B	0,14	0,11	0,10	0,35	2
Solución C	0,09	0,09	0,06	0,23	3

Respecto a los criterios de Rango de temperatura, Tipo de entrada y Visualización, la solución A (Control de temperatura PID) es la que mejor ya que se adapta a los requerimientos para el control de temperatura del proceso en la máquina, destacándose sobre las otras opciones como Control de temperatura ON / OFF y Control de temperatura por implementación de circuito.

3.7.6. Módulo 6

Para el desarrollo y selección de alternativas, en el módulo 6 se tomaron las siguientes posibles soluciones.

Posibles Soluciones:

3.7.6.1.Sensores de Temperatura

- Solución A: Termocupla
- Solución B: Detector Temperatura de resistivo (RTD)
- Solución C: Termistores

Tabla 73
Criterio de ponderación para Sensores de Temperatura

Rango de Temperatura>Precisión> Sensibilidad					
Criterio	Rango de temperatura	Precisión	Sensibilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Rango de Temperatura	-	1	1	3	0,40
Precisión	0,5	-	1	2,5	0,33
Sensibilidad	0,5	0,5	-	2	0,27
			Suma	7,5	1

En la tabla 73 se procede a generar la evaluación de cada una de las alternativas, tomando en cuenta los criterios de mayor relevancia para realizar una selección adecuada.

Tabla 74

Rango de Temperatura en el análisis de las posibles soluciones

Rango de Temperatura	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3	0,40
Solución B	0,5	-	1	2,5	0,33
Solución C	0,5	0,5	-	2	0,27
			Suma	7,5	1

Tabla 75

Precisión en el análisis de las posibles soluciones

Precisión	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0	0,5	1,5	0,21
Solución B	1	-	1	3	0,43
Solución C	1	0,5	-	2,5	0,36
			Suma	7	1

Tabla 76

Sensibilidad en el análisis de las posibles soluciones

Sensibilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3	0,43
Solución B	0,5	-	0	1,5	0,21
Solución C	0,5	1	-	2,5	0,36
			Suma	7	1

Una vez generado las evaluaciones del módulo se tiene en la tabla 73 las conclusiones y la ponderación de la solución más viable a ser utilizada.

Tabla 77

Conclusiones de selección

Solución A > Solución B > Solución C					
Conclusión	Rango de Temperatura	Precisión	Sensibilidad	Σ	Ponderación
Solución A	0,16	0,07	0,11	0,35	1
Solución B	0,13	0,14	0,06	0,33	2
Solución C	0,11	0,12	0,10	0,32	3

Respecto a los criterios de Rango de temperatura, precisión y sensibilidad, la solución A (Termocupla) es la que mejor se adapta a los requerimientos para control

de procesos de la máquina, destacándose sobre las otras opciones como el RTD y los termistores.

3.7.6.2. Sensores de Proximidad

- Solución A: Sensor Ultrasónico
- Solución B: Sensor Infrarrojo
- Solución C: Sensor Fin de Carrera

Tabla 78

Criterio de ponderación para Sensores de Proximidad.

Temperatura de Funcionamiento > Robustez > Distancia de detección					
Criterio	Distancia de detección	Robustez	Temperatura de trabajo	$\Sigma+1$	Ponderación
Distancia de detección	–	0,5	0,5	2	0,27
Robustez	1	-	0,5	2,5	0,33
Temperatura de trabajo	1	1	–	3	0,40
			Suma	7,5	1

En la tabla 78 se procede a generar la evaluación de cada una de las alternativas, tomando en cuenta los criterios de mayor relevancia para realizar una selección adecuada.

Tabla 79

Distancia de detección en el análisis de las posibles soluciones

Distancia de detección	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0,5	0,5	2	0,33
Solución B	1	-	1	3	0,50
Solución C	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1

Tabla 80

Robustez en el análisis de las posibles soluciones

Robustez	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0	0,5	1,5	0,25
Solución B	0,5	-	0	1,5	0,25
Solución C	1	1	-	3	0,50
			Suma	6	1

Tabla 81

Temperatura de trabajo en el análisis de las posibles soluciones

Temperatura de trabajo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0,5	0	1,5	0,21
Solución B	1	-	0,5	2,5	0,36
Solución C	1	1	-	3	0,43
			Suma	7	1

Una vez generado las evaluaciones del módulo se tiene en la tabla 78 las conclusiones y la ponderación de la solución más viable a ser utilizada.

Tabla 82

Conclusiones de selección

Solución C>Solución B> Solución A					
Conclusión	Distancia de detección	Robustez	Temperatura de trabajo	Σ	Ponderación
Solución A	0,09	0,08	0,09	0,26	3
Solución B	0,13	0,08	0,14	0,36	2
Solución C	0,04	0,17	0,17	0,38	1

Respecto a los criterios de Distancia de detección, robustez y temperatura de trabajo, la solución C (Sensor fin de carrera) es la que mejor se adapta a los requerimientos para control de procesos de la máquina, destacándose sobre las otras opciones como el Sensor ultrasónico y el sensor infrarrojo.

3.7.7. Módulo 7

Para el desarrollo y selección de alternativas, en el módulo 7 se tomaron las siguientes posibles soluciones.

Posibles Soluciones:

3.7.7.1.Fusibles de Potencia

- Solución A: Fusibles de Expulsión
- Solución B: Fusibles limitadores de corriente
- Solución C: Fusible eléctrico

Tabla 83

Criterio de ponderación para Fusibles de Potencia.

Corriente nominal > Costo > Mantenimiento					
Criterio	Corriente nominal	Costo	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Corriente nominal	–	1	1	3	0,40
Costo	0,5	–	1	2,5	0,33
Mantenimiento	0,5	0,5	–	2	0,27
			Suma	7,5	1,00

En la tabla 83 se procede a generar la evaluación de cada una de las alternativas, tomando en cuenta los criterios de mayor relevancia para realizar una selección adecuada.

Tabla 84

Corriente nominal en el análisis de las posibles soluciones

Corriente nominal	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	–	0	0,5	1,5	0,23
Solución B	1	–	1	3	0,46
Solución C	0,5	0,5	–	2	0,31
			Suma	6,5	1

Tabla 85

Costo en el análisis de las posibles soluciones

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	–	0	0	1	0,15
Solución B	1	–	1	3	0,46
Solución C	1	0,5	–	2,5	0,38
			Suma	6,5	1

Tabla 86

Mantenimiento en el análisis de las posibles soluciones

Mantenimiento	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	–	0	0	1	0,14
Solución B	1	–	1	3	0,43
Solución C	1	1	–	3	0,43
			Suma	7	1

Una vez generado las evaluaciones del módulo se tiene en la tabla 83 las conclusiones y la ponderación de la solución más viable a ser utilizada.

Tabla 87
Conclusiones de selección

Solución B>Solución C> Solución A					
Conclusión	Corriente nominal	Costo	Mantenimiento	Σ	Ponderación
Solución A	0,09	0,05	0,04	0,18	3
Solución B	0,18	0,15	0,11	0,45	1
Solución C	0,12	0,13	0,11	0,37	2

Respecto a los criterios de Corriente nominal, costo y mantenimiento, la solución B (Fusibles limitadores de corriente) es la que mejor se adapta a los requerimientos para la parte de protección del sistema de la máquina, destacándose sobre las otras opciones como el Fusibles de Expulsión y el Fusible eléctrico.

3.7.7.2.Relés

- Solución A: Relé de estado Solido
- Solución B: Contactor
- Solución C: Relé Temporizador

Tabla 88
Criterio de ponderación para Relés.

Rango de Corriente>Tiempo de respuesta> Temperatura de funcionamiento					
Criterio	Rango de Corriente	Temperatura de funcionamiento	Tiempo de respuesta	$\Sigma+1$	Ponderación
Rango de Corriente	–	1	1	3	0,40
Temperatura de funcionamiento	0,5	–	0,5	2	0,27
Tiempo de respuesta	0,5	1	–	2,5	0,33
			Suma	7,5	1,00

En la tabla 88 se procede a generar la evaluación de cada una de las alternativas, tomando en cuenta los criterios de mayor relevancia para realizar una selección adecuada.

Tabla 89
Rango de Corriente en el análisis de las posibles soluciones

Rango de Corriente	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	–	0	0,5	1,5	0,23
Solución B	1	–	1	3	0,46
Solución C	0,5	0,5	–	2	0,31
			Suma	6,5	1

Tabla 90

Temperatura de funcionamiento en el análisis de las posibles soluciones

Temperatura de funcionamiento	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	–	0,5	0,5	2	0,29
Solución B	1	–	1	3	0,43
Solución C	0,5	0,5	–	2	0,29
			Suma	7	1

Tabla 91

Tiempo de respuesta en el análisis de las posibles soluciones

Tiempo de respuesta	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	–	0,5	1	2,5	0,36
Solución B	1	–	1	3	0,43
Solución C	0	0,5	–	1,5	0,21
			Suma	7	1

Una vez generado las evaluaciones del módulo se tiene en la tabla 88 las conclusiones y la ponderación de la solución más viable a ser utilizada

Tabla 92

Conclusiones de selección

Conclusión	Solución B>Solución A> Solución C			Σ	Ponderación
	Rango de corriente	Temperatura de funcionamiento	Tiempo de respuesta		
Solución A	0,09	0,08	0,12	0,29	2
Solución B	0,18	0,11	0,14	0,44	1
Solución C	0,12	0,08	0,07	0,27	3

Respecto a los criterios de Rango de corriente, Temperatura de funcionamiento y Tiempo de respuesta, la solución B (Contactor) es la que mejor se adapta a los requerimientos para la parte de protección del sistema de la máquina, destacándose sobre las otras opciones como relé de estado sólido y el relé temporizador.

3.7.8. Módulo 8

Para el desarrollo y selección de alternativas, en el módulo 8 se tomaron las siguientes posibles soluciones.

Posibles Soluciones:

3.7.8.1. Sistema de calentamiento para la fundición

- Energía a Combustión
- Energía eléctrica

Tabla 93

Criterio de ponderación para el sistema de calentamiento.

Seguridad > Contaminación > Costo				
Criterio	Contaminación	Costo	$\sum+1$	Ponderación
Contaminación	–	1	2	0,31
Costo	0,5	–	1,5	0,23
Seguridad	1	1	3	0,46
		Suma	6,5	1,00

En la tabla 93 se procede a generar la evaluación de cada una de las alternativas, tomando en cuenta los criterios de mayor relevancia para realizar una selección adecuada.

Tabla 94

Contaminación en el análisis de las posibles soluciones

Contaminación	Solución A	Solución B	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	–	0,5	1,50	0,43
Solución B	1	–	2	0,57
		Suma	3,5	1

Tabla 95

Costo en el análisis de las posibles soluciones

Costo	Solución A	Solución B	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	–	0,5	1,5	0,50
Solución B	0,5	–	1,5	0,50
		Suma	3	1

Tabla 96

Seguridad en el análisis de las posibles soluciones

Seguridad	Solución A	Solución B	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	–	0	1	0,33
Solución B	1	–	2	0,67
		Suma	3	1

Una vez generado las evaluaciones del módulo se tiene en la tabla 93 las conclusiones y la ponderación de la solución más viable a ser utilizada

Tabla 97

Conclusiones de selección

Solución B>Solución A					
Conclusión	Contaminación	Costo	Seguridad	Σ	Ponderación
Solución A	0,13	0,12	0,15	0,40	2
Solución B	0,18	0,12	0,31	0,60	1

Respecto a los criterios de Contaminación, costo y seguridad, la solución B (Energía eléctrica) es la que mejor se adapta a los requerimientos para el sistema de calentamiento de la máquina, destacándose sobre la energía a combustión.

3.7.9. Módulo 9

Para el desarrollo y selección de alternativas, en el módulo 9 se tomaron las siguientes posibles soluciones.

Posibles Soluciones:

3.7.9.1. Recipiente para fundición

- Solución A: Crisol de grafito
- Solución B: Crisol de porcelana
- Solución C: Crisol de hierro fundido

Tabla 98

Criterio de ponderación para la construcción del horno.

Temperatura que soporta > Dimensiones > Capacidad Volumétrica					
Criterio	Temperatura que soporta	Dimensiones	Capacidad Volumétrica	$\Sigma+1$	Ponderación
Temperatura que soporta	-	0,5	1	2,5	0,38
Dimensiones	0,5	-	1	2,5	0,38
Capacidad Volumétrica	0	0,5	-	1,5	0,23
			Suma	6,5	1,00

En la tabla 98 se procede a generar la evaluación de cada una de las alternativas, tomando en cuenta los criterios de mayor relevancia para realizar una selección adecuada.

Tabla 99

Temperatura que soporta en el análisis de las posibles soluciones

Temperatura que soporta	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	–	1	1	3	0,40
Solución B	0,5	–	0,5	2	0,27
Solución C	0,5	1	–	2,5	0,33
			Suma	7,5	1

Tabla 100

Dimensiones que soporta en el análisis de las posibles soluciones

Dimensiones	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	–	1	1	3	0,46
Solución B	0,5	–	0,5	2	0,31
Solución C	0	0,5	–	1,5	0,23
			Suma	6,5	1

Tabla 101

Capacidad Volumétrica que soporta en el análisis de las posibles soluciones

Capacidad Volumétrica	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	–	1	1	3	0,46
Solución B	0,5	–	0,5	2	0,31
Solución C	0	0,5	–	1,5	0,23
			Suma	6,5	1

Una vez generado las evaluaciones del módulo se tiene en la tabla 98 las conclusiones y la ponderación de la solución más viable a ser utilizada

Tabla 102

Conclusiones de selección

Solución A>Solución B> Solución C					
Conclusión	Temperatura que soporta	Dimensiones	Capacidad Volumétrica	Σ	Ponderación
Solución A	0,15	0,18	0,11	0,44	1
Solución B	0,10	0,12	0,07	0,29	2
Solución C	0,13	0,09	0,05	0,27	3

Respecto a los criterios de temperatura que soporta, Dimensiones y capacidad volumétrica, la solución A (Crisol de grafito) es la que mejor se adapta a los

requerimientos para la fundición de zinc, destacándose sobre el Crisol de porcelana y crisol de hierro fundido.

3.7.9.2. Material aislante para hornos

3.6.9.2.1 Conglomerado refractario

- Solución A: Arcilla refractaria
- Solución B: mortero refractario
- Solución C: Cemento refractario

Tabla 103

Criterio de ponderación para la construcción del horno.

Conductividad térmica > Resistencia térmica > Tempo de secado					
Criterio	Conductividad Térmica	Resistencia térmica	Tempo de secado	$\Sigma+1$	Ponderación
Conductividad Térmica	-	0,5	1	2,5	0,38
Resistencia térmica	0,5	-	1	2,5	0,38
Tempo de secado	0	0,5	-	1,5	0,23
			Suma	6,5	1,00

En la tabla 103 se procede a generar la evaluación de cada una de las alternativas, tomando en cuenta los criterios de mayor relevancia para realizar una selección adecuada.

Tabla 104

Conductividad Térmica que soporta en el análisis de las posibles soluciones

Conductividad Térmica	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0,5	1	2,5	0,36
Solución B	1	-	1	3	0,43
Solución C	0,5	0	-	1,5	0,21
			Suma	7	1

Tabla 105

Resistencia térmica que soporta en el análisis de las posibles soluciones

Resistencia térmica	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3	0,43
Solución B	0,5	-	1	2,5	0,36
Solución C	0	0,5	-	1,5	0,21
			Suma	7	1

Tabla 106

Tiempo de secado que soporta en el análisis de las posibles soluciones

Tempo de secado	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0,5	0,5	2	0,31
Solución B	1	-	1	3	0,46
Solución C	0,5	0	-	1,5	0,23
			Suma	6,5	1

Una vez generado las evaluaciones del módulo se tiene en la tabla 103 las conclusiones y la ponderación de la solución más viable a ser utilizada

Tabla 107

Conclusiones de selección

Solución B > Solución A > Solución C

Conclusión	Conductividad Térmica	Resistencia térmica	Tempo de secado	Σ	Ponderación
Solución A	0,14	0,16	0,07	0,37	2
Solución B	0,16	0,14	0,11	0,41	1
Solución C	0,08	0,08	0,05	0,22	3

Respecto a los criterios de Conductividad térmica, resistencia térmica y tiempo de secado, la solución B (Mortero refractario) es la que mejor se adapta a los requerimientos para la construcción del horno, destacándose sobre la arcilla refractaria y el cemento refractario.

3.6.9.2.2 Ladrillos

- Solución A: Ladrillo refractario
- Solución B: Ladrillo de tejar

Tabla 108

Criterio de ponderación para la construcción del horno.

Conductividad Térmica > Resistencia térmica > Densidad medida

Criterio	Conductividad Térmica	Temperatura máxima de trabajo	Dimensiones	$\Sigma+1$	Ponderación
Conductividad Térmica	-	1	1	3	0,43
Resistencia térmica	0,5	-	1	2,5	0,36
Densidad medida	0	0,5	-	1,5	0,21
			Suma	7	1,00

En la tabla 104 se procede a generar la evaluación de cada una de las alternativas, tomando en cuenta los criterios de mayor relevancia para realizar una selección adecuada.

Tabla 109

Conductividad Térmica en el análisis de las posibles soluciones

Conductividad Térmica	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	–	1	2	0,57
Solución B	0,5	–	1,5	0,43
		Suma	3,5	1

Tabla 110

Temperatura máxima de trabajo en el análisis de las posibles soluciones

Temperatura máxima de trabajo	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	–	1	2	0,57
Solución B	0,5	–	1,5	0,43
		Suma	3,5	1

Tabla 111

Dimensiones en el análisis de las posibles soluciones

Dimensiones	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	–	1	2	0,57
Solución B	0,5	–	1,5	0,43
		Suma	3,5	1

Una vez generado las evaluaciones del módulo se tiene en la tabla 108 las conclusiones y la ponderación de la solución más viable a ser utilizada

Tabla 112

Conclusiones de selección

Solución B>Solución A> Solución C					
Conclusión	Conductividad Térmica	Temperatura máxima de trabajo	Dimensiones	Σ	Ponderación
Solución A	0,24	0,20	0,12	0,57	1
Solución B	0,18	0,15	0,09	0,43	2

Respecto a los criterios de Conductividad térmica, temperatura máxima de trabajo y dimensiones, la solución A (Ladrillo refractario) es la que mejor se adapta a los requerimientos para la construcción del horno, destacándose sobre el ladrillo de tejar.

3.8. Definición del diseño

Los componentes seleccionados para construcción del modelo para el proceso de galvanizado por inmersión en caliente se muestran en la tabla 109

Tabla 113
Selección de diseños a usar en cada módulo

Módulo	Definición	Selección
Módulo 1	Interfaz Grafica	Pantalla Nextion NX3224T028
Módulo 2	Indicadores	Boutique AC 220 V led rojo
Módulo 3	Controlador lógico	Arduino
Módulo 4	Movilidad	Motor con estator bobinado y caja reductora Polea
Módulo 5	Control	Control de temperatura PID
Módulo 6	Instrumentación	Termocupla Sensor Fin de Carrera
Módulo 7	Protección	Fusibles limitadores de corriente Contactor
Módulo 8	Sistema de calentamiento	Energía eléctrica
Módulo 9	Estructura del horno	Crisol de grafito Mortero refractario Ladrillo refractario

3.9. Resumen

- El capítulo se centró en el diseño e implementación de un modelo que nos permita realizar el proceso de galvanizado por inmersión en caliente, para el diseño se debe partir de las medidas del lugar de trabajo destinado que tiene la máquina.
- Definimos las necesidades que tiene el usuario ya que este conocimiento es prioritario para el diseño, una vez conocidas se podrá definir las características que guiaran al diseño final, es decir las especificaciones técnicas de la máquina.

- Para poder definir las especificaciones, hay que partir de las necesidades del Operario. Estas necesidades son evaluadas como métricas, las cuales son el reflejo medible de las necesidades. Por lo tanto, al cumplir con estos parámetros, se logra satisfacer las necesidades del Operario.
- Dentro del desarrollo del concepto de un producto es fundamental especificar la forma de trabajo que debe tener. Para esto es necesario conocer cómo debe funcionar el proceso, ya que esto nos permite distinguir las operaciones que realiza la máquina y dividirla en módulos de operación.
- Para definir las alternativas de diseño se procederá a plantear diferentes soluciones a cada uno de los módulos establecidos para el correcto funcionamiento del modelo para galvanizado en caliente.
- Para establecer un diseño se crearon módulos que permitan satisfacer una necesidad específica. Estos módulos son: 1) Interfaz, 2) Indicadores, 3) Controlador Lógico, 4) Movilidad, 5) Control, 6) Instrumentación, 7) Protección, 8) Sistema de calentamiento, 9) Estructura del horno.
- Se efectúa un análisis comparativo que permite descartar las soluciones menos óptimas para la construcción del modelo, y a partir de este análisis iniciara el siguiente capítulo de construcción e implementación.

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCION E IMPLEMENTACION

En este capítulo se muestran las diferentes etapas del proceso de construcción e implementación del sistema mecánico, eléctrico y electrónico.

4.1. Diseño del sistema Mecánico

4.1.1. Diseño de las paredes del horno

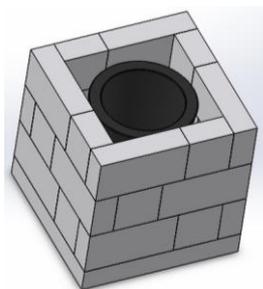
Para el diseño de las paredes del horno se empezó realizando los cálculos de transferencia de calor los cuales ayudaron al dimensionamiento del espesor de las paredes.

Para calcular la conductividad térmica de los ladrillos refractarios se hizo uso de la máquina de medición de conductividad térmica, perteneciente al laboratorio de termodinámica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, con la cual se obtuvo el coeficiente de conductividad de los ladrillos y de esta manera se procedió a calcular el espesor adecuado para la protección del operario frente al horno.



Figura 36 Máquina de medición de conductividad Térmica

Posteriormente se realizó el dimensionamiento de la cantidad de ladrillos necesarios que se requerirá en la construcción del horno y que a su vez exista una separación no mayor a dos centímetros entre la pared y el crisol con el fin de evitar pérdidas de calor.



Fueron necesarios 18 ladrillos refractarios de 23x12x6 cm, para las paredes que tendrá por dimensiones 410x410x350, y se utilizó 8 ladrillos refractarios de 23x12x3 cm, para la base del horno.

Para obtener la medida deseada de las paredes se procedió a cortar 6 ladrillos a la mitad teniendo como medida final 11x12x6 cm.



Figura 37 Corte y medición de ladrillos refractarios

Ya que el sistema de calentamiento se lo realiza por medio de niquelinas, se procedió a maquinarse ranuras en los ladrillos de dimensiones 1,3 x 1,3 cm, esto se lo realizó en la fresadora vertical universal del laboratorio de manufactura.





Figura 38 Maquinado de ranuras para la niquelina

4.1.2. Construcción de la estructura metálica del horno.

Para la construcción de la estructura metálica se partió de las dimensiones del horno, se midió y corto perfiles en L de 40x40x3 mm, para formar una base cuadrada que servirán de soporte para la construcción de las paredes.



Figura 39 Medición, corte y soldadura de la base del horno

Una vez completa la estructura base se procedió al armado de las paredes del horno, la unión de los ladrillos refractarios se la realizo usando mortero refractario.

Las paredes fueron enlucidas con la finalidad de obtener un aislamiento térmico y un mejor acabado.



Figura 40 Armado de las paredes del horno en la estructura metálica

Finalmente se procedió a la colocación de la niquelina en las ranuras de los ladrillos refractarios.



Figura 41 Montaje de Niquelina en las paredes del horno

4.1.3. Diseño del Sistema mecánico de inmersión.

Para el diseño del sistema mecánico se tomó en cuenta las limitaciones en dimensionamiento que el laboratorio proporciona para el proyecto.

Tomando en cuenta que el modelo de galvanizado emite gases es necesario que este ubicado de bajo de una campana de extracción, la cual limita la altura del sistema de inmersión.

Teniendo en cuenta que la altura a la que está ubicada la campana con respecto al suelo es de 1,85 m, el sistema de inmersión será ubicado a una altura de 1,7 m.

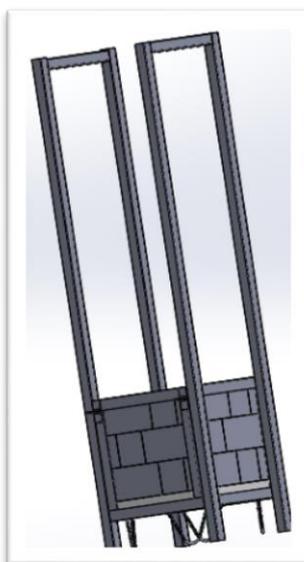


Figura 42 Diseño CAD del sistema mecánico de inmersión.

4.1.4. Construcción del sistema mecánico de inmersión

Para la construcción del sistema de inmersión se partió de las dimensiones del modelo CAD, se midió y corto tubo rectangular de 40x20x2 mm, para formar soportes que tendrán una altura de 1,7 m con la finalidad de evitar que la radiación emitida por el horno dañe los elementos eléctricos del mismo.



Figura 43 Soporte del sistema de inmersión

Se realizó el corte de dos perfiles en L 40x40x3 [mm] con una longitud de 850 [mm] los cuales se ubicarán en la parte superior de la estructura, estos servirán de soporte para los motores. En estos perfiles se soldó rieles en V que servirán de guía para el carro móvil encargado de ubicar y sumergir la pieza en la colada de zinc.

El carro móvil fue diseñado con plancha de 2 [mm] y tiene por dimensiones 275x275x2 [mm], en los extremos se realizaron dobleces con la finalidad de obtener mayor rigidez en la placa. En el carro irá ubicado un motor el cual se encarga de sumergir y retirar la pieza del zinc fundido.



Figura 44 Rieles para el transporte del material.

Para evitar la fricción entre el carro móvil y el riel en V, se tornearon ruedas con ejes de $\frac{1}{2}$ in, los cuales irán sujetos a ejes de 8 [mm] y serán ubicados a los extremos del carro. Para evitar que las ruedas se salgan del riel, se hicieron ranuras para ubicar arandelas de presión.

El eje a la placa móvil está sujeto por medio de prisioneros M5.

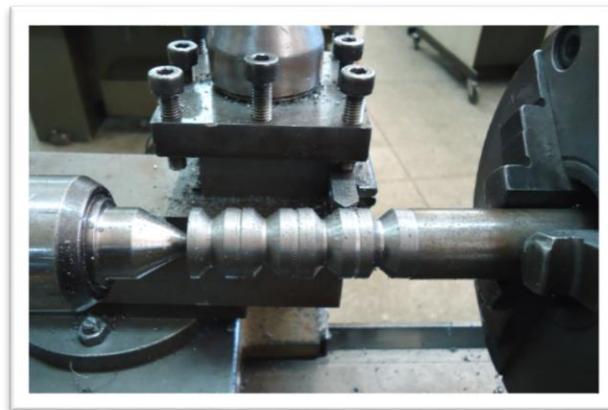


Figura 45 Torneado de las ruedas

Para sumergir las piezas en el zinc fundido se realizó un recipiente en forma de canasta, la cual fue elaborada con malla de acero. Las medidas de la canasta están basadas en las dimensiones del crisol de tal manera que entre y sumerja las piezas.



Figura 46 Recipiente para la inmersión de las piezas a galvanizar.

4.1.5. Construcción de protección para las paredes del horno.

Para la elaboración de las paredes del horno se realizó el diseño tomando en cuenta las temperaturas tanto interna como externa. Se planteó una temperatura externa de 60°C la cual si está en contacto con el operario podría causar alguna quemadura. Para evitar este caso de accidentes se procedió a elaborar una malla de protección que cubre en su totalidad las paredes.

Esta malla tiene como dimensiones 493×370 [mm].



Figura 47 Construcción de malla para protección.

4.2. Diseño del sistema eléctrico de Potencia.

En el capítulo 3 se realizó los cálculos para el diseño eléctrico, y se obtuvo que la niquelina trabajaría con una corriente de 31 [A], con este dato podemos realizar una simulación que nos ayudara en el seleccionamiento de las protecciones del sistema.

Mediante el software libre CADeSIMU se realizó la simulación de la parte de potencia y de control.

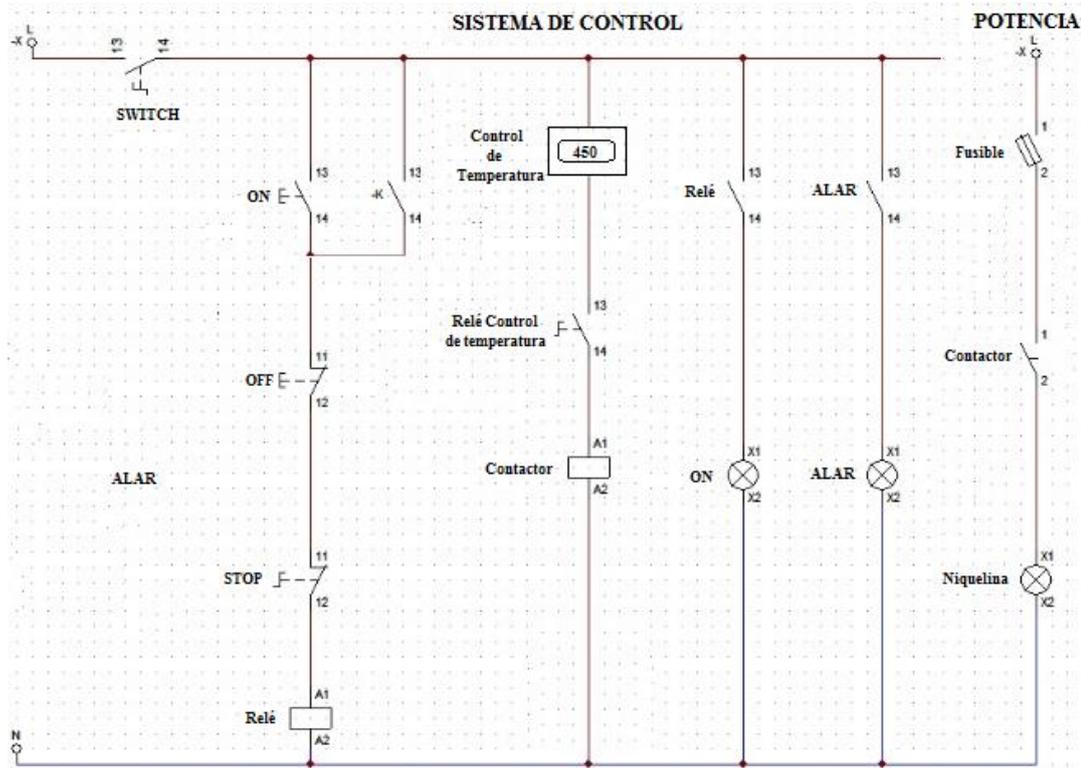


Figura 48 Esquema eléctrico de control y potencia.
Fuente: Autores

4.2.1. Diseño eléctrico para los motores DC.

Los motores DC son los encargados del transporte de la pieza a galvanizar tanto en los ejes X e Y. el cambio de giro de los motores será mediante el integrado L293, (puente H).

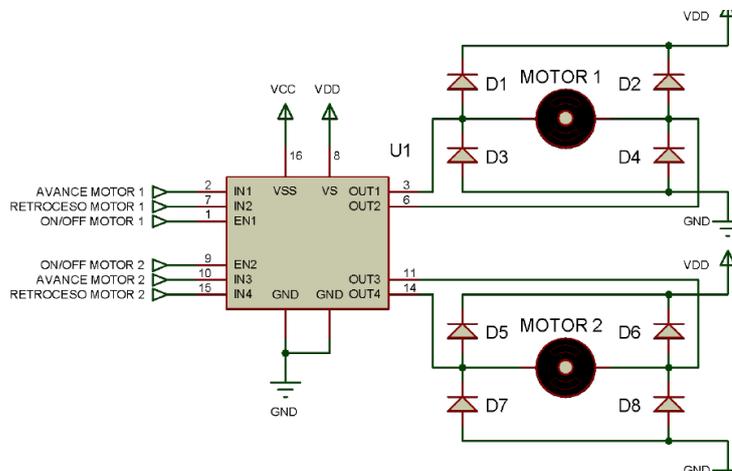


Figura 49 Puente H, circuito integrado.

4.3.Resumen

- Una vez definidas las necesidades se procede a la construcción e implementación del sistema de tal forma que en un mismo sistema se puedan integrar todos sus componentes ya sean estos mecánicos, eléctricos y electrónicos.
- Se empezó realizando el diseño de las paredes de tal forma que la pérdida de calor sea mínima, una vez conocido el coeficiente de conductividad térmica se pudo determinar el número de ladrillos refractarios que serían necesarios.
- Se realizó un maquinado en los ladrillos para ubicar la niquelina viva, de tal forma que quede sujeta por sí misma, esto se lo logra ya que al ser esta activada tiende a extenderse un poco quedando sujeta en las ranuras realizadas.
- La estructura del horno es completamente metálica ya que se requiere una buena fijación de todos sus elementos, esto se lo realizó teniendo en cuenta la protección del operario y para un buen funcionamiento de la máquina.
- El diseño del sistema eléctrico posee las medidas necesarias de protección para los elementos que integran el modelo de galvanización en caliente. Se realizaron diferentes simulaciones de potencia con las cuales se determinó los elementos necesarios para tener un buen funcionamiento del sistema.

CAPÍTULO 5 PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se muestran los resultados de pruebas realizadas en el modelo para galvanizado en caliente haciendo uso de la norma ASTM A123. Se tomaron diferentes muestras para determinar el tiempo adecuado de sumergido, esto se lo realizó para obtener un mejor recubrimiento de zinc. Los tiempos calculados mediante prueba y error fueron realizados para perfiles estructurales y tubería. Los perfiles estructurales que se utilizaron en las pruebas fueron seleccionados por su rango de espesor, siendo los espesores:

- Rango 1: < 1,6 [mm]
- Rango 2: ≥ 1,6 a 3,2 [mm]
- Rango 3: ≥ 3,2 a 4,8 [mm]

Tabla 114

Mínima media del espesor en revestimiento del grado por categoría según la Norma ASTM A123.

Material Category	All Specimens Tested Steel Thickness Range (Measured), in. [mm]		
	<1/16 [<1.6]	≥1/16 to <1/8 [≥1.6 to <3.2]	≥1/8 to <3/16 [≥3.2 to 4.8]
Structural Shapes	45	65	75
Strip and Bar	45	65	75
Plate	45	65	75
Pipe and Tubing	45	45	75
Wire	35	50	60
Reinforcing Bar

Fuente: Tabla 1 de la Norma ASTM A123/A 123M-09

Tabla 115

Grado del espesor de revestimiento, Norma ASTM A123

Coating Grade	mils	oz/ft ²	μm	g/m ²
35	1.4	0.8	35	245
45	1.8	1.0	45	320
50	2.0	1.2	50	355
55	2.2	1.3	55	390
60	2.4	1.4	60	425
65	2.6	1.5	65	460
75	3.0	1.7	75	530
80	3.1	1.9	80	565
85	3.3	2.0	85	600
100	3.9	2.3	100	705

Fuente: Tabla 2 de la Norma ASTM A123/A 123M-09

Mediante las tablas 114 y tabla 115, se hicieron los cálculos para determinar el tiempo de sumergido.

Se realizaron algunas pruebas en los diferentes tipos de espesores, siendo la variable el tiempo de sumergido. Se empezó utilizando tiempo de 3 minutos y se observó que tanto el acabado como la adherencia del zinc no eran buenas. En la Figura 38 se muestra un descascaro del zinc ya que el tiempo de sumergido fue de 3 minutos, en este caso la pieza no logra alcanzar la temperatura de la colada por la tanto la galvanización es mala.



Figura 50 Pieza con poco tiempo de sumergido.

En la Figura 50 se indica como la pieza de prueba al momento de sacarla de la colada se le adhieren residuos que provocan un mal acabado.



Figura 51 Pieza con residuos al momento de sacarla de la colada.

Los factores que causaban una mala galvanización eran el secado y la no limpieza de residuos que quedan en la colada de zinc, por lo tanto, una vez que la pieza a galvanizar ha pasado por el baño de sales (Flux) se la introdujo en un pequeño horno

Figura 52 para secarla y que alcance una temperatura de hasta 80°C para que al momento de sumergirla en la colada de zinc sea más fácil que adquiera la temperatura de la colada.



Figura 52 Horno para secado de piezas.

Una vez la pieza seca se limpia los residuos Figura 53 de la colada para que pueda ingresar la pieza en el zinc. Mientras transcurre el tiempo de sumergido es necesario retirar las impurezas para obtener un buen acabado.



Figura 53 Limpieza de residuos en la colada de zinc.

5.1.Rango 1.- piezas <1,6 [mm]



Figura 54 Perfil estructural antes de ser galvanizado

La pieza que se muestra en la Figura 54 antes de ser galvanizada fue sometida a los pasos de lavado, desengrasado, decapado, baño de flux y secado. Una vez que se cumplió con estos pasos se tomó la medida de la pieza mediante un micrómetro, la medida inicial fue de 1,202 [mm]. Después de varias pruebas fallidas se pudo obtener el tiempo de sumergido más adecuado el cual es de 6 minutos para las piezas comprendidas en este rango.



Figura 55 Perfil estructural galvanizado

El espesor final fue de 1,312 [mm], para lo cual realizamos el siguiente calculo.

$$\text{Espesor inicial} = 1,202 \text{ [mm]}$$

$$\text{Espesor final} = 1,312 \text{ [mm]}$$

$$\text{Espesor final} - \text{Espesor inicial} = 0,11 \text{ [mm]}$$

El valor calculado corresponde a las dos caras del perfil, por lo tanto, para saber el espesor de cada cara se divide este valor para dos, obteniendo un valor de:

$$\text{Espesor de cara} = 0,055 \text{ [mm]}$$

La pieza corresponde a un perfil estructural, comprendido en el primer rango por lo tanto es de grado 45 como se indica en la tabla 114.

Con este valor se entra a la tabla 115 teniendo en cuenta que:

$$1\text{mils}=0,0254 \text{ [mm]},$$

En este caso 1,8 mils corresponde a 0,04572 [mm] como mínimo, nuestro espesor de cara es de 0,055 [mm] por lo cual en un tiempo de 6 minutos se logró obtener un buen recubrimiento de zinc.

5.2.Rango 2: $\geq 1,6$ a 3,2 [mm]



Figura 56 Tubo cuadrado antes de galvanizar

La pieza que se muestra en la Figura 56 antes de ser galvanizada fue sometida a los pasos de lavado, desengrasado, decapado, baño de flux y secado. Una vez que se cumplió con estos pasos se tomó la medida de la pieza mediante un micrómetro, la medida inicial fue de 2,439 [mm].

El tiempo de sumergido más adecuado para este tipo de espesores es de 8 minutos para las piezas comprendidas en este rango.

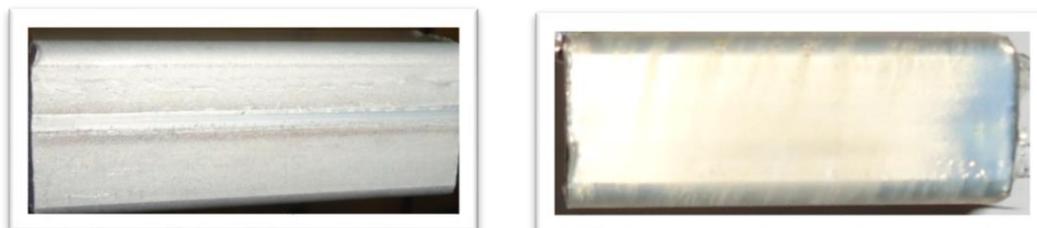


Figura 57 Tubo cuadrado galvanizado

El espesor final fue de 2,666 [mm], para lo cual realizamos el siguiente calculo.

$$\text{Espesor inicial} = 2,439 \text{ [mm]}$$

$$\text{Espesor final} = 2,666 \text{ [mm]}$$

$$\text{Espesor final} - \text{Espesor inicial} = 0,227 \text{ [mm]}$$

El valor calculado corresponde a las dos caras del perfil, por lo tanto, para saber el espesor de cada cara se divide este valor para dos, obteniendo un valor de:

$$\text{Espesor de cara} = 0,1135 \text{ [mm]}$$

La pieza corresponde a un tubo, comprendido en el segundo rango por lo tanto es de grado 45 como se indica en la tabla 114.

Con este valor se entra a la tabla 115 teniendo en cuenta que:

$$1 \text{ mils} = 0,0254 \text{ [mm]},$$

En este caso 1,8 mils corresponde a 0,04572 [mm] como mínimo, nuestro espesor de cara es de 0,1135 [mm] por lo cual en un tiempo de 8 minutos se logró obtener un buen recubrimiento de zinc.

5.3.Rango 3: $\geq 3,2$ a $4,8$ [mm]

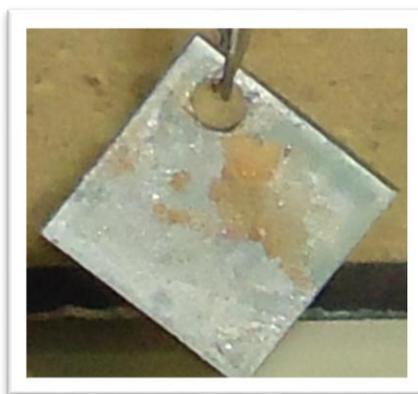


Figura 58 Perfil estructural antes de galvanizar

La pieza que se muestra en la Figura 58 antes de ser galvanizada fue sometida a los pasos de lavado, desengrasado, decapado, baño de flux y secado. Una vez que se cumplió con estos pasos se tomó la medida de la pieza mediante un micrómetro, la medida inicial fue de 4,274 [mm].

El tiempo de sumergido más adecuado para este tipo de espesores es de 10 minutos para las piezas comprendidas en este rango.



Figura 59 Perfil estructural galvanizado.

El espesor final fue de 4,448 [mm], para lo cual realizamos el siguiente calculo.

$$\text{Espesor inicial} = 4,274 \text{ [mm]}$$

$$\text{Espesor final} = 4,448 \text{ [mm]}$$

$$\text{Espesor final} - \text{Espesor inicial} = 0,174 \text{ [mm]}$$

El valor calculado corresponde a las dos caras del perfil, por lo tanto, para saber el espesor de cada cara se divide este valor para dos, obteniendo un valor de:

$$\text{Espesor de cara} = 0,087 \text{ [mm]}$$

La pieza corresponde a un perfil estructural, comprendido en el tercer rango por lo tanto es de grado 75 como se indica en la tabla 114.

Con este valor se entra a la tabla 115 teniendo en cuenta que:

$$1 \text{ mils} = 0,0254 \text{ [mm]},$$

En este caso 3 mils corresponde a 0,0762 [mm] como mínimo, nuestro espesor de cara es de 0,087 [mm] por lo cual en un tiempo de 10 minutos se logró obtener un buen recubrimiento de zinc.

5.4. Resumen

- En el presente capítulo se muestran los resultados de pruebas realizadas en el modelo para galvanizado en caliente haciendo uso de la norma ASTM A123.
- Se tomaron diferentes muestras para determinar el tiempo adecuado de sumergido, esto se lo realizó para obtener un mejor recubrimiento de zinc.
- Los tiempos calculados mediante prueba y error fueron realizados para perfiles estructurales y tubería. Los perfiles estructurales que se utilizaron en las pruebas fueron seleccionados por su rango de espesor, siendo los espesores: 1) Rango 1: $< 1,6$ [mm], 2) Rango 2: $\geq 1,6$ a $3,2$ [mm], 3) Rango 3: $\geq 3,2$ a $4,8$ [mm].
- Las diferentes pruebas arrojaron resultados que al comparar con la Norma ASTM A123 se verifica su cumplimiento.
- Con las pruebas realizadas se llegó a tener criterio en la aceptación y rechazo de las piezas hacer galvanizadas.

CAPÍTULO 6 ANÁLISIS FINANCIERO Y ECONÓMICO

6.1 Análisis Financiero

En el análisis financiero se toma en cuenta dos aspectos importantes:

- Costos directos
- Costos indirectos

6.1.1. Costos directos

Los costos directos son los que intervienen directamente en la construcción e implementación de la máquina. TABLA costos directos totales.

6.1.2. Costos de materiales directos

En los siguientes cuadros se detallan todos los elementos que fueron adquiridos para la construcción e implementación del modelo para galvanizado por inmersión en caliente.

En estos costos se encuentran:

- Materiales mecánicos
- Materiales eléctricos y electrónicos
- Materiales para estructura.
- Materiales para galvanizar
- Accesorios eléctricos y electrónicos.
- Accesorios para estructura.

Tabla 116

Costos de materiales mecánicos

Descripción	Cantidad	Precio Unitario [\\$]	Costo total [\\$]
Ejes de acople para motor	3	12	36
Placas de sujeción del motor	2	5	10
Rieles para desplazamiento	2	3	6
Ruedas para movilidad	4	4	16
Eje de transmisión	2	3	6
Malla de protección [m]	3	4	12
Chapa de 20x3	1	7	7
Total			93

Tabla 117

Costos de materiales eléctricos y electrónicos

Descripción	Cantidad	Precio Unitario [\$]	Costo total [\$]
Contactador 220 [V]/40 [A]	1	39,7	39,7
Enchufe trifásico selector PTC	1	6,25	6,25
Fuente DC 24 [V]/3 [A]	1	3,5	3,5
Motores DC 12V/10 [A]	1	25	25
Motores DC 12V/10 [A]	2	30	60
Botón de paro de emergencia	1	4,6	4,6
Ventilador 12 [V]	1	4	4
Luz piloto	2	1,89	3,78
Gabinete eléctrico	2	25	50
Pantalla TFT	1	21	21
Tarjeta Arduino Mega	1	20	20
Puente H	2	9,5	19
Breaker CNC	2	5,2	10,4
Fines de carrera	2	0,9	1,8
control de temperatura PID	1	150	150
Niquelina	1	98	98
Block-1NO	2	1,95	3,9
Relé	1	7	7
Total			527,93

Tabla 118

Costos materiales para la estructura

Descripción	Cantidad	Precio Unitario [\$]	Costo Total [\$]
Perfil L 40x40x3	1	17	17
tubo cuadrado 40x20x2	1	25	25
perfil L 20x20x2	1	13	13
Chapa metálica 6 [mm]	1	20	20
Chapa metálica 2 [mm]	1	20	20
Varilla de construcción 8[mm]	1	3	3
Cemento mortero	1	100	100
ladrillos refractarios 60x230x12	18	4,5	81
ladrillos refractarios 30x230x12	8	1,5	12
Crisol de grafito	1	315	315
Total			606

Tabla 119

Costos materiales para galvanizar

Descripción	Cantidad	Precio Unitario [\$]	Costo Total [\$]
Barra de zinc [kg]	1	77	77
Flux [kg]	1	9	9
Decapado [Kg]	1	3	3
Total			89

Tabla 120

Accesorios eléctricos y electrónicos

Descripción	Cantidad	Precio Unitario [\$]	Costo Total [\$]
Postes de 15[mm]	12	0,5	6
Bornera industria	1	1,7	1,7
Fusibles 50 [A]	2	3	6
Porta fusibles	2	5	10
Cable 8 AWG [m]	6	2,1	12,6
Cable de acero 1/16 [m]	4	0,75	3
Cable 18 AWG [m]	20	0,6	12
Abrazadera	1	1,5	1,5
Termo-encogible [m]	1	0,55	0,55
Terminales hembra	8	0,38	3,04
riel DIN 35 [mm]	1	3,4	3,4
Bus de datos	2	2,2	4,4
Cables macho- macho	28	0,25	7
Total			71,19

Tabla 121

Accesorios para la estructura

Descripción	Cantidad	Precio Unitario [\$]	Costo Total [\$]
Broca de cobalto 3[mm]	2	1,8	3,6
Guarda polvo cilindro auxiliar	2	0,35	0,7
Grillete galvanizado 1/8 [in]	2	0,25	0,5
Grillete galvanizado 1/16 [in]	2	0,55	1,1
Grillete galvanizado	1	0,65	0,65
Disco de corte	3	3,1	9,3
Broca de concreto 10 [mm]	1	2,9	2,9
Broca de concreto 6 [mm]	1	1,75	1,75
tornillos de 6 [mm]	30	0,15	4,5
Hexagonales 6[mm]	8	0,25	2
tornillos de 8 [mm]	4	0,45	1,8

Descripción	Cantidad	Precio Unitario [\$]	Costo Total [\$]
Broca de cobalto de 6 [mm]	1	2,4	2,4
Fresa de 10 [mm]	1	20	20
electrodos	1	5	5
tuercas 8[mm]	4	0,22	0,88
Prisioneros M5	6	0,23	1,38
Arandelas de presión 8[mm]	4	0,8	3,2
Arandelas 1[in]	6	0,45	2,7
Pintura negra	1	7	7
Masking 48 mm rollo	1	2,19	2,19
cinta doble fas	1	2	2
Silicona	5	0,3	1,5
Broca de 4[mm]	2	2,1	4,2
thinner	1	3	3
lijas	6	0,5	3
Total			87,25

Tabla 122

Costos de Accesorios

Descripción	Costos
Accesorios eléctricos y electrónicos	71,19
Accesorios para estructura	87,25
Total	158,44

Los costos directos totales que intervienen en la máquina se presentan en la tabla 123.

Tabla 123

Costos Directos Totales

Descripción	Costos
Elementos mecánicos	93
Elementos eléctricos y electrónicos	527,93
Materiales para galvanizar	89
Elementos para la estructura	606
Costos Accesorios	158,44
Total	1474,37

6.1.3. Costos de mano de obra directa

Los costos de mano de obra son los que corresponden a las personas que intervinieron en la implementación del proyecto. En este caso constan la mano de obra

para las piezas fabricadas y la elaboración completa de la estructura para el modelo de galvanizado por inmersión en caliente. En la tabla 124 se detallan estos costos.

Tabla 124

Mano de obra directa

Encargado	Actividad	Días	N de horas
	Diseño de la estructura.	10	50
Tesistas	Medición de piezas	1	2
	Generación de planos	2	4
Director del Proyecto	Revisión y aprobación de planos	1	2
	Compra de materiales	6	3
Tesistas	Fabricación de piezas.	20	7
	Pintura de la estructura y piezas fabricadas.	1	1
Total		41	69

Por lo tanto, en aproximadamente 8 semanas de trabajo se emplearon 67 horas para diseñar y fabricar las piezas y la estructura en general. Es necesario conocer el costo de la hora de trabajo de las personas que intervinieron. El costo depende del salario que poseen; un salario básico es de 366 dólares, lo que significa que trabajando 8 horas diarias y los 20 días laborables del mes el costo por hora de trabajo es de \$ 2,29.

El costo por hora del director del proyecto se lo calcula de la misma manera, el salario es de 2400 dólares, por lo tanto, el costo por hora es de \$ 15. El costo total de mano de obra directa se presenta en la Tabla 125

Tabla 125

Costo de mano de obra Directa

Descripción	N de horas	costo por hora	costo total
Tesistas	67	2,29	153,43

Director del Proyecto	2	15	30
Total			183,43

- **Costos de máquinas herramientas**

De igual manera en los costos directos intervienen lo que respecta al costo del uso de las máquinas para la fabricación de las piezas y estructura. En la Tabla 126 se muestran estos costos.

Tabla 126

Costo máquinas herramientas

Descripción	N de horas	costo por hora	costo total
Sierra	1	10	10
Torno revolver	5	20	100
taladro de pedestal	8	15	120
fresadora universal	3	20	60
Soldadora	5	20	100
Total			390

6.2. Costos totales directos

En la tabla 127 se presentan los costos totales directos para el proyecto.

Tabla 127

Costo totales directos

Descripción	Costo
Materiales Directos	1474,37
Mano de obra directa	183,43
Máquinas herramientas	390
Total	2047,8

6.2.1. Costos indirectos

Los costos indirectos son aquellos que no intervienen directamente con la implementación de la máquina y el estudio necesario para la implementación. Pero son indispensables en la elaboración del proyecto, es por esto que se los toma en cuenta para el estudio financiero. En la Tabla 130 se presentan los costos indirectos totales.

6.2.2. Costos de materiales indirectos

En este caso se consideran factores como: la electricidad, el uso del laboratorio, el agua entre otros, en fin, el uso completo de las instalaciones del laboratorio de máquinas herramientas de la universidad, en el cual se realizó el proyecto en su

totalidad. En la Tabla 128 se encuentra detallado el costo de las instalaciones del laboratorio.

Tabla 128
Costos Indirectos Totales

Descripción	Días	horas	Costo por hora [\$]	Costo total [\$]
Laboratorio	100	800	0,25	200
Herramientas	100	800	0,4	320
Electricidad	100	800	0,0824	65,92
Internet	100	800	0,055	44
Agua potable	100	800	0,1	80
Total				709,92

6.2.3. Costos de mano de obra indirecta

Se refiere al costo producido por las personas que no intervienen de manera directa en la elaboración del proyecto. En este caso se toman en cuenta a las personas que se involucraron en el proceso, pero no intervinieron en su desarrollo, como son los ingenieros del laboratorio de máquinas y herramientas de la universidad.

Tabla 129
Costos de mano de obra indirecta

Descripción	N de horas	Costo por hora	Costo
Director	8	15	120
Asesoramiento de Ingenieros y técnicos del laboratorio	20	15	300
Total			420

6.2.4. Costos totales indirectos

En la tabla 130 se presenta los costos totales indirectos para la realización del proyecto.

Tabla 130
Costos totales indirectos.

Descripción	Costo
Costos de instalación del laboratorio	709,92
Mano de obra indirecta	420
Total	1129,92

- **Costos totales**

El costo total del proyecto es la suma de los costos directos e indirectos, esto se presenta en la tabla 131.

Tabla 131

Costo total del proyecto

Descripción	Costo
Costos Directos	2047,8
Costos Indirectos	1129,92
Total	3177,72

6.3. Análisis Económico

El análisis económico tiene como objetivo determinar si la inversión realizada por las personas involucradas en el proyecto brinda beneficios a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE por la implementación de un modelo para el galvanizado en caliente. En evaluación de proyectos de inversión se utilizan tres principales indicadores de rentabilidad que determinan la viabilidad financiera de un proyecto productivo, dichos indicadores son:

- Valor actual neto (VAN)
- Tasa interna de retorno (TIR)
- Relación beneficio costo (B/C)

Para realizar este análisis es necesario elaborar un flujo de caja proyectado, y para ello se necesita el costo de la máquina por año.

- **Costo del uso de la máquina**

Para el cálculo del costo del uso de la máquina es necesario conocer el consumo energético, la mano de obra que opera la fresadora y la depreciación de la misma. Se asume que la máquina tendrá un uso en el laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE de 8 horas por semana. Los cálculos se los realiza por hora como se muestra en la Tabla 133 y posteriormente se encuentra el costo de la máquina al año.

- **Costo del consumo energético**

En este caso se suma el consumo energético de la máquina en una hora y el consumo de los motores y de la caja de control, para ello se obtiene la potencia, y se calcula el costo por hora en la Tabla 132 se muestran los resultados.

Tabla 132

Costo del consumo energético.

Parámetro	Valor
Potencia de la máquina [Kwh]	6,728
potencia de motores DC [Kwh]	0,18
Costo del Kwh	0,091
Costo total del Kwh	6,999

- **Costo de mano de obra que opera la máquina**

Se refiere al costo de la persona que maneja la máquina y para ello se realiza el cálculo respecto al salario del operario. Se asume que los ingenieros que dictan clases en el laboratorio tienen un sueldo de \$ 2400 mensuales. Por lo tanto, el costo por hora del operario es de \$ 15.

- **Costo de depreciación**

El costo de la depreciación se obtiene en base a la vida útil de la máquina que en este caso es de 10 años [Min,]. Si se utiliza 8 horas a la semana, la máquina galvanizadora en 10 años trabajara un total de 3840 horas. Y la depreciación por hora será de \$ 0,83.

Por lo tanto, el costo de la máquina por hora se presenta en la Tabla 133.

Tabla 133

Costos del modelo para galvanización en caliente por hora.

Parámetro	Valor
Consumo energético	6,999
Mano de obra	15
Depreciación	0,83
Total	22,826

Con estos valores se puede saber el costo de la máquina por año, el cual es de \$ 8766,336.

- **Valor actual neto (VAN)**

Este valor es la suma de todos los flujos efectivos futuros de una inversión o un proyecto, menos todas las salidas del mismo. Este indicador de evaluación permite conocer el valor del dinero actual que va a recibir el proyecto en el futuro, a una tasa de interés y un periodo determinado, a fin de comparar este valor con la inversión inicial. El VAN se expresa en unidades monetarias. (Enciclopediafinanciera, 2016)

Si el VAN de un proyecto es positivo, la inversión deberá realizarse y si es negativo, deberá rechazarse. (FundamentosFinanzasC, 2016)

- **Tasa interna de retorno (TIR)**

Es aquella tasa de actualización máxima que reduce a cero el valor actual neto (VAN) del proyecto. La TIR es la más alta actualización que se puede exigir al proyecto, cualquier tasa mayor a la tasa interna de retorno generan un VAN negativo y en consecuencia el proyecto arroja pérdidas.

Mientras más alta sea la TIR el proyecto presenta mayores posibilidades de éxito.

- **Relación beneficio costo (B/C)**

La relación beneficio/costo es el cociente de dividir el valor actualizado de los beneficios del proyecto (ingresos) entre el valor actualizado de los costos (egresos) a una tasa de actualización igual a la tasa de rendimiento mínima aceptable, a menudo también conocida como tasa de actualización o tasa de evaluación. (Enciclopediafinanciera, 2016)

Para obtener estos cálculos se debe realizar un el flujo de caja proyectado a 10 años del modelo para galvanizado, este se presenta en la Tabla 134.

Tabla 134

Flujo de caja proyectada a 10 años

Año	Ingresos	Egresos	Flujo de efectivo	tasa $[(1+r)^n]$	Ingresos Actualizados	Egresos Actualizados
0	0	3177,72	-3177,72	1,000	0	3177,72
1	8766,336	0	8766,336	1,100	7969,39	0
2	8766,336	0	8766,336	1,210	7244,91	0
3	8766,336	0	8766,336	1,331	6586,28	0
4	8766,336	0	8766,336	1,464	5987,53	0
5	8766,336	0	8766,336	1,611	5443,20	0
6	8766,336	0	8766,336	1,772	4948,36	0
7	8766,336	0	8766,336	1,949	4498,52	0
8	8766,336	0	8766,336	2,144	4089,51	0
9	8766,336	0	8766,336	2,358	3717,78	0
10	8766,336	0	8766,336	2,594	3379,80	0
Total					53865,34	3177,72

En la tabla 135 se puede apreciar un valor positivo del VAN, un TIR grande y la relación B/C mayor que uno, por lo tanto, se considera que el proyecto es rentable para la universidad.

Tabla 135
Valores de VAN, TIR, B/C

Análisis	Valor
VAN	\$ 57043,06
TIR	276%
B/C	16,95

6.4.Resumen

- El análisis financiero y económico nos ayuda a determinar si la implementación de un modelo para galvanización por inmersión en caliente es conveniente o no realizarlo, y de igual manera si existe un beneficio para la universidad.
- En la parte financiera se toma en cuenta el costo directo e indirecto del proyecto, y se lo compara con máquinas de similares características que realicen un proceso similar, para determinar cuál de los dos casos es más conveniente, se realizó una comparación con un horno de alta potencia el cual sería importado desde China, teniendo en cuenta los impuestos y salvaguardas que se pagarían al ingresar al país resulta tener un mayor beneficio económico la construcción del modelo para galvanizado que se lo está realizando para la universidad.
- En lo que corresponde a la parte económica se debe determinar el costo que representa el uso por hora del modelo para galvanizado, y obtener el costo por año mediante el uso del costo por hora, para ello se asume que el modelo para galvanizado por inmersión en caliente trabajará ocho horas a la semana, consume \$ 6,999 de energía por hora , y el profesional que opere la máquina trabaja a \$ 15 por hora, por lo tanto el costo por hora es de \$ 22,826 y al año es de \$ 8766,336 este es el valor de beneficio para la universidad en un año.
- Se realiza un flujo de caja proyectado a 10 años, sabiendo que la vida útil de los activos fijos en maquinaria es de ese periodo de tiempo. Se calcula el VAN,

TIR y B/C, y se analizan los resultados. Existe un VAN positivo (\$57043,06), un TIR grande (276%) y una relación de B/C mayor que uno (16,95) por lo que se considera que el proyecto es rentable para la universidad.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Al realizar el proceso de galvanizado en varias piezas con diferente espesor se midió el recubrimiento superficial y se comparó con la Norma ASTM A123 dando un resultado favorable, lo cual conlleva que el modelo cumple con el proceso de galvanización por inmersión en caliente.
- Como se puede observar en el Capítulo 3, se realizó el diseño de la longitud y diámetro de espira adecuado de la niquelina para establecer la correcta instalación en las paredes del horno, evitando el contacto directo con el crisol y existiendo pérdidas mínimas de transferencia de calor.
- Teniendo en cuenta que el horno se encuentra a una temperatura de 450 °C se realizó el diseño de la estructura de tal manera que los elementos de movilidad como son los motores, fines de carrera y placa transportadora no sufran ningún daño por la radiación que emite la colada de Zinc.
- Al determinar las especificaciones de funcionamiento de la niquelina se conoce que la corriente de funcionamiento es de 31 [A] por lo tanto, el sistema de potencia al cual esta conectado debe resistir esta cantidad de corriente, es por esto que los elementos de alimentación y control del sistema de calentamiento tiene una capacidad de hasta 40 [A].
- Para salvaguardar los elementos de control y de potencia se utilizó protecciones como son fusibles y Breaker, los cuales fueron seleccionados teniendo en cuenta la corriente y temperatura de trabajo.
- Para obtener un buen recubrimiento superficial en el proceso de galvanizado, es necesario que la pieza sumergida en el baño Zinc adquiera la misma temperatura de la colada, ya que al conseguir esto el Zinc y las sales (Flux) que recubren a la pieza crean una soldadura entre ellas.
- Este modelo no consta de un sistema automático que retire los residuos de la colada, por lo que es necesario que el operario remueva la capa superficial que se genera en cada baño de Zinc tomando en cuenta las medidas de seguridad necesarias.

- Se implementó un control de temperatura PID en el cual se determinaron los parámetros más adecuados que ayuden a regular el encendido y apagado de la níquelina, una vez que este alcance la temperatura deseada tratando de mantenerla constante, debido que el éxito en el galvanizado es una temperatura estable en todo momento.

7.2.Recomendaciones

- Antes de realizar la práctica es necesario que se lea el manual de usuario para que se tenga conocimiento de cada una de las funciones que proporciona el modelo para galvanizado por inmersión en caliente.
- Para la práctica con el modelo de galvanizado por inmersión en caliente, se recomienda el uso de elementos de seguridad tales como: guantes, mandil, zapatos de seguridad, gafas como protección en el caso de salpicaduras de Zinc por existencia de humedad en la pieza a sumergir.
- Para conseguir un buen acabado superficial es necesario limpiar continuamente las impurezas generadas en la colada de Zinc que se localizan en la superficie de la misma, se puede hacer uso de una paleta metálica que ayude con este propósito.
- Para alcanzar la temperatura adecuada en un menor tiempo es necesario que el horno este tapado, debido a que existe pérdidas de calor al tenerlo descubierto.
- Se recomienda un secado de la pieza a con el fin de secar el baño de sales (Flux)
- Se recomienda realizar un calentamiento de la pieza a 80°C con el fin de secar el baño de sales (Flux) para conseguir una buena adherencia del material fundido.

BIBLIOGRAFÍA

- academiatesto. (10 de 06 de 2016). *www.academiatesto.com.ar*. Obtenido de <http://www.academiatesto.com.ar/cms/energia-y-combustion>
- allbiz. (15 de 06 de 2016). *santiago.all.biz*. Obtenido de <http://santiago.all.biz/hierro-fundido-gris-y-nodular-g28315#.V2G9zLt97IU>
- Alvarez, I. E. (06 de 05 de 2016). *laboratorios.fi.uba.a*. Obtenido de <http://laboratorios.fi.uba.ar/lscm/termocuplas02.pdf>
- bdigital. (03 de 06 de 2016). *www.bdigital.unal.edu.co*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/3392/1/samuelramirezcastano.2003.pdf>
- books.google.com.ec*. (30 de 04 de 2016). Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=CiUqyDrm1OYC&pg=PA768&dq=CROMADO&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=CROMADO&f=false
- bricogeek. (03 de 06 de 2016). *tienda.bricogeek.com*. Obtenido de <http://tienda.bricogeek.com/motores-paso-a-paso/639-motor-paso-a-paso-14-kg-cm.html>
- CEMESA, G. (s.f.). *CEMESA, GALVANIZADORA*. Recuperado el 1 de Mayo de 2016, de <http://www.cemesacr.com/cemesa/normas.htm>
- Clion. (09 de 06 de 2016). *www.electrical-relay.es*. Obtenido de <http://www.electrical-relay.es/4-solid-state-relay-10.html>
- COMERCIALGALVACOM, G. (2 de 05 de 2016). *www.galvacom.com.mx*. Recuperado el 2 de mayo de 2016, de <http://www.galvacom.com.mx/Manual%20de%20Galvanizado.pdf>
- Enciclopediafinanciera. (22 de 08 de 2016). *www.encyclopediafinanciera.com*. Obtenido de <http://www.encyclopediafinanciera.com/finanzas-corporativas/valor-presente-neto.htm>
- FundamentosFinanzasC. (22 de 08 de 2016). *biblio3.url.edu.gt*. Obtenido de <http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/FundamentosFinanzasC/09.pdf>
- GALVAMEC. (30 de 04 de 2016). *GALVANIZADOS MECANICOS S.A.C.* Recuperado el 1 de MAYO de 2016, de <http://www.galvamec.com/proceso.html>
- galvanizadora, C. (1 de 10 de 2015). *cemesacr*. Obtenido de http://www.cemesacr.com/cemesa/galv_caliente.htm

- Galvanizeit. (3 de 05 de 2016). *www.galvanizeit.org*. Recuperado el 03 de 05 de 2016, de https://www.galvanizeit.org/uploads/publications/Inspection_Guide_Spanish.pdf
- GALVASA. (3 de 05 de 2016). Recuperado el 2 de mayo de 2016, de <https://11.cdnwm.com/ip/galvasa-galvanizado-por-inmersion-en-caliente-cuadro-comparativo-diferencias-entre-galvanizado-y-pintura-epoxi-580249.pdf>
- GalvInfoNote. (01 de 10 de 2015). *GalvInfoNote*. Obtenido de http://latiza.com/archivos_publicar/galvinfo/GalvInfoNote2_3.pdf
- Incropera, F. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. México: Pearson.
- Industriales, A. (15 de 04 de 2016). *www.acabadosindustriales.com*. Obtenido de http://www.acabadosindustriales.com/index.php?option=com_content&view=article&id=8&Itemid=10
- Ingemecánica, L. (3 de 05 de 2016). *www.ingemecanica.com*. Recuperado el 3 de 05 de 2016, de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn104.html>
- Ingeniatic. (06 de 05 de 2016). */ingeniatic.euitt.upm.es*. Obtenido de <http://ingeniatic.euitt.upm.es/index.php/tecnologias/item/588-sensores-de-temperatura-rtd>
- kanthal. (16 de 05 de 2016). *kanthal*. Obtenido de <http://www.kanthal.com/en/products/material-datasheets/strip/kanthal-a-1/>
- latiza. (15 de 09 de 2015). *latiza.com*. Obtenido de http://www.latiza.com/archivos_publicar/Guia-de-galvanizacal.pdf
- Oscar Infante A, r. M. (02 de 05 de 2016). *www.asimet.cl*. Recuperado el 2 de mayo de 2016, de http://www.asimet.cl/galvanizado_b.htm#
- PEREIRA, U. T. (30 de 04 de 2016). *METALOGRAFIA*. Obtenido de METALOGRAFIA: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/389-2/>
- Polilibros. (30 de 04 de 2016). <http://148.204.211.134>. Obtenido de http://148.204.211.134/polilibros/portal/polilibros/P_Terminados/procman-Aguilar-Oros/UMD/Unidad4/Contenido/4.c.htm

- RMIG. (2 de 05 de 2016). *www.rimg.com*. Recuperado el 2 de mayo de 2016, de <http://rimg.com/es/productos/perforaci%C3%B3n+y+m%C3%A1s%E2%80%A6/galvanizado>
- Tecnología, I. (10 de 06 de 2016). *iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com*. Obtenido de https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2010/09/fuentes-energia_combustibles-fosiles.pdf
- tradeusd. (03 de 06 de 2016). *www.tradeusd.com*. Obtenido de <http://www.tradeusd.com/company/chinoele/1850013.html>
- Tratamientos. (30 de 04 de 2016). *www.metactual.com*. Obtenido de <http://www.metactual.com/revista/7/tratamientos.pdf>
- wordpress.com. (15 de 09 de 2015). *wordpress.com*. Obtenido de galvanizadoencaliente.wordpress.com/2011/06/24/galvanizadoencaliente
- Yraima, r. O. (5 de octubre de 2012). *redip.bqto.unexpo.edu.ve*. Recuperado el 29 de Abril de 2016, de [redip.bqto.unexpo.edu.ve: file:///C:/Users/Gaby/Downloads/Dialnet-EstructuraYCaracterizacionDeLosRecubrimientosGalva-4210066.pdf](file:///C:/Users/Gaby/Downloads/Dialnet-EstructuraYCaracterizacionDeLosRecubrimientosGalva-4210066.pdf)
- Zinc, A. L. (30 de 04 de 2016). *www.latiza.com*. Recuperado el 29 de Abril de 2016, de http://www.latiza.com/archivos_publicar/Guia-de-galvanizacal.pdf

ANEXOS