



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE
UN SISTEMA DE VACIADO DE BARBOTINA PARA LA
EMPRESA CERÁMICA NOVEL.”**

**AUTORES: FABIÁN ABELARDO GUAMANGALLO LEMA
FRANKLIN XAVIER IZA TOAQUIZA**

**DIRECTOR: MSc. JUAN CORREA
CODIRECTOR: ING. FREDDY SALAZAR**

LATACUNGA

2015

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

CERTIFICADO

MSc. Juan Correa (DIRECTOR)
Ing. Freddy Salazar (CODIRECTOR)

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VACIADO DE BARBOTINA PARA LA EMPRESA CERÁMICA NOVEL.**” realizado por Fabián Abelardo Guamangallo Lema y Franklin Xavier Iza Toaquiza, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que aportará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, si recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a los señores: Fabián Abelardo Guamangallo Lema e Franklin Xavier Iza Toaquiza que lo entreguen a la Ing. Katia Torres, en calidad de Directora de la Carrera de Ingeniería Electromecánica.

Latacunga, Octubre del 2015.

MSc. Juan Correa
DIRECTOR

Ing. Freddy Salazar
CODIRECTOR

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **FABIÁN ABELARDO GUAMANGALLO LEMA**
FRANKLIN XAVIER IZA TOAQUIZA

DECLARAMOS QUE:

El presente proyecto denominado **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VACIADO DE BARBOTINA PARA LA EMPRESA CERÁMICA NOVEL.”** ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Octubre 2015

FABIÁN GUAMANGALLO LEMA

C.C.: 0503254377

FRANKLIN IZA TOAQUIZA

C.C.:0502584725

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Fabián Abelardo Guamangallo Lema y Franklin Xavier Iza Toaquiza

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, del trabajo: **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VACIADO DE BARBOTINA PARA LA EMPRESA CERÁMICA NOVEL.”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Octubre 2015.

FABIÁN GUAMANGALLO LEMA

C.C.:0503254377

FRANKLIN IZA TOAQUIZA

C.C.:0502584725

DEDICATORIA

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

FABIAN GUAMANGALLO

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado especialmente a mis padres María y René quienes con sus palabras y su apoyo incondicional, supieron guiarme en aquellos momentos difíciles que he transcurrido durante mi carrera estudiantil formando una persona de bien y útil para la sociedad.

A mi esposa Adriana y a mi querido hijo Dylan quienes son las personas que me incentivaron a seguir adelante para lograr y cumplir el sueño de ser un profesional, y a la vez en memoria a mi primo Klover Vinicio que desde el cielo comparte este logro, que es un escalón más en el largo camino que falta por recorrer.

A mi Dios por cuidarme y ser el pilar espiritual en mi vida, gracias mi señor por todas las bendiciones que me brinda cada día.

XAVIER IZAI

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios y a la Virgen por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad. Le doy gracias a mis padres Cesar y Melida por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida y sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanos Patricia y Cesar por ser parte importante de mi vida y a la vez ser un ejemplo de desarrollo profesional a seguir, a mis sobrinos por llenar mi vida de alegría y amor cuando mas lo he necesitado. De todo corazon a Yadira Gonzalez, por haberme apoyado en las buenas y en las malas, sobre todo por su paciencia y amor incondicional.

A mi Director de tesis MSc. Juan Correa y Codirector Ing. Freddy Salazar quienes con su desinteresada amistad y valiosos conocimientos, debo la satisfacción de haber culminado tan anhelado proyecto.

A todos ellos mi eterna consideracion y gratitud.

FABIAN GUAMANGALLO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mi familia por creer y confiar en mí apoyándose en todas las decisiones que he tomado en esta vida, y a mis padres María y René, que con su amor, paciencia, comprensión y motivación me encaminaron a cumplir mi anhelado sueño de ser un Ingeniero Eléctromecánico.

A mis profesores de la Facultad de Ingeniería Eléctromecánica, por compartir sus amplios conocimientos y experiencias para formarme como profesional.

Mi más sincero agradecimiento a la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” Extensión Latacunga y en especial a los Ingenieros MSc Juan Correa y Freddy Salazar por su acertada dirección y apoyo en el desarrollo de este proyecto.

XAVIER IZAI

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
CERTIFICADO	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTO TEÓRICO	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Cerámica.....	2
1.3. Barbotina.....	2
1.4. Composición de la barbotina.....	3
1.4.1. Arcilla	3
1.4.2. Caolín.....	3
1.4.3. Composición química de la barbotina	4
1.5. Tamizador	4
1.6. Yeso.....	5
1.7. Dispensador de agua	5
1.8. Vaciado de barbotina	6
1.8.1. Ventajas y desventajas	7
1.9. Viscosidad.....	8
1.9.1. Definición	8
1.9.2. Factores que afectan la viscosidad	8
1.10. Fluidos.....	10

1.10.1. Clasificación de los fluidos	10
1.10.2. Fluidos no newtonianos.....	11
1.10.3. Fluidos independientes en el tiempo	11
1.10.4. Fluidos pseudoplásticos	12
1.10.5. Fluidos dilatantes	13
1.10.6. Fluidos plásticos.....	13
1.10.7. Fluidos dependientes del tiempo.....	13
1.10.8. Fluidos tixotrópicos.....	14
1.10.9. Fluidos reopéticos	14
1.11. Componentes del proceso de dosificación.....	15
1.11.1. Bomba de diafragma.....	15
1.11.2. Electroválvulas	18
1.12. Actuadores	20
1.12.1. Motores eléctricos	20
1.12.2. Reductores de velocidad.....	22
1.13. Sensores	24
1.13.1. Sensores de nivel de líquido	24
1.13.2. Sensores de contacto.....	25
1.14. Equipos de programación industrial	27
1.14.1. El controlador	27
1.14.2. El software	28
1.14.3. Los paneles.....	29
1.15. Materiales.....	30
1.15.1. Acero ASTM A36	30
1.15.2. AISI-SAE 1018.....	30
1.15.3. Acero inoxidable.....	31
1.15.4. Bronce fosfórico	32
1.16. Sistema de transmisión de potencia	33
1.16.1. Tornillos de potencia	33
1.16.2. Bandas y poleas.....	36
1.16.3. Sistema de guías	37
1.17. Accesorios hidráulicos.....	41

1.17.1. Tubería PVC	41
---------------------------	----

CAPÍTULO II

2. DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE VACIADO DE BARBOTINA.....	42
2.1. Descripción de la máquina	42
2.2. Parámetros de diseño	43
2.2.1. Factor de seguridad	44
2.3. Diseño mecánico.....	44
2.3.1. Diseño y dimensionamiento de la base de soporte.....	44
2.3.2. Diseño y selección de la placa para la base de soporte.....	45
2.3.3. Diseño de la placa para la base de soporte	47
2.3.4. Diseño del cabezal móvil.....	58
2.3.5. Diseño de la columna en U	61
2.4. Diseño y selección de los pernos de anclaje.....	65
2.4.1. Selección de los pernos de anclaje.....	67
2.5. Mecanismos del sistema de transmisión de movimiento.....	72
2.5.1. Diseño del tornillo de potencia en el eje Z.....	72
2.5.2. Selección del reductor de velocidad.....	77
2.5.3. Selección de las poleas y bandas	77
2.5.4. Selección de rodamientos para el eje z.....	80
2.6. Diseño Neumático	84
2.6.1. Sistema Neumático	84
2.6.2. Diseño y selección de los elementos neumáticos	85
2.6.3. Selección de la Bomba.....	85
2.6.4. Selección del compresor	89
2.7. Diseño y selección del sistema eléctrico	90
2.7.1. Determinación de las cargas que actúan sobre el sistema eléctrico.....	91
2.7.2. Dimensionamiento y selección de los elementos eléctricos.....	91
2.7.3. Selección de actuadores	95
2.7.4. Selección de elementos de mando	97

2.7.5.	Selección de sensores	98
2.7.6.	Selección de electroválvulas	100
2.7.7.	Selección del PLC	102
2.8.	Diseño del circuito de control y potencia	103

CAPÍTULO III

3.	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	106
3.1.	Construcción y montaje del sistema mecánico	106
3.1.1.	Construcción de la base de soporte	106
3.1.2.	Construcción y montaje de la columna en U	107
3.1.3.	Construcción y montaje del tornillo de potencia	107
3.1.4.	Construcción y montaje de la tuerca	108
3.1.5.	Construcción y montaje del cabezal móvil	109
3.1.6.	Montaje del motor y reductor.....	110
3.1.7.	Montaje de las válvulas solenoides	111
3.1.8.	Montaje de las canaletas de recolección.....	111
3.2.	Implementación y montaje del sistema eléctrico	112
3.2.1.	Implementación de los sensores de nivel.....	113
3.2.2.	Implementación de los finales de carrera	114
3.2.3.	Implementación de la pantalla HMI	114
3.2.4.	Montaje del tablero de mando y control	116
3.2.5.	Implementación del circuito de fuerza	116
3.2.6.	Implementación del circuito de fuerza y control	117
3.2.6.	Distribución de la tubería PVC para el proceso de vaciado de barbotina	117

CAPÍTULO IV

4.	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	120
4.1.	Pruebas del sistema mecánico	120
4.2.	Pruebas del sistema eléctrico	121
4.3.	Pruebas de funcionamiento del PLC	121
4.4.	Pruebas del sistema de protección	122

4.5.	Pruebas forma manual	123
4.6.	Pruebas forma automática	126
4.7.	Pruebas y resultados del tiempo y cantidad de dispensadores de agua fabricados	129
4.8.	Análisis financiero	131
4.8.1.	Análisis de costos.....	131
4.9.	Periodo de recuperación de inversión	136
4.9.1.	Flujo de caja	136
4.9.2.	Valor presente neto (VPN)	138
4.9.3.	Tasa interna de retorno (TIR).....	139
4.9.4.	Análisis costo - beneficio.....	139
4.9.5.	Interpretación del análisis financiero	141

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	142
5.1.	Conclusiones.....	142
5.2.	Recomendaciones.....	143

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	145
---	------------

ANEXOS.....	151
--------------------	------------

ANEXO A.	SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DE CONSTRUCCIÓN
ANEXO B.	SELECCIÓN DE ELEMENTOS NEUMÁTICOS
ANEXO C.	SELECCIÓN DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS
ANEXO D.	PLANOS MECÁNICOS
ANEXO E.	PLANOS ELÉCTRICOS
ANEXO F.	PROGRAMACIÓN DEL PLC

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1.	Composición química de la barbotina.....	4
Tabla 1. 2.	Ventajas y desventajas del Vaciado de Barbotina.....	7
Tabla 1. 3.	Rangos de velocidad de corte alcanzados en diferentes aplicaciones	9
Tabla 1. 4.	Velocidades de corte típicas de algunos procesos cerámicos	10
Tabla 1. 5.	Ventajas de la bomba de doble membrana	17
Tabla 2. 1.	Propiedades mecánicas del acero ASTM A-36.	45
Tabla 2. 2.	Propiedades mecánicas del acero AISI-SAE 1018.....	73
Tabla 2. 3.	Coefficientes fricción.....	75
Tabla 2. 4.	Factores de carga radial para cojinetes de bolas	82
Tabla 2. 5.	Características de la Bomba seleccionada.....	89
Tabla 2. 6.	Características del compresor seleccionado	90
Tabla 2. 7.	Cargas que actúan en el sistema eléctrico	91
Tabla 2. 8.	Datos del motor trifásico a utilizarse	96
Tabla 2. 9.	Características del reductor.....	97
Tabla 2. 10.	Elementos de control y señalización.....	97
Tabla 2. 11.	Características de la válvula solenoide.....	101
Tabla 2. 12.	Característica electroválvula.....	101
Tabla 2. 13.	Especificaciones LOGO 230 RC.....	102
Tabla 2. 14.	Características LOGO 230 RC Y DM8 230 R.....	103
Tabla 4. 1.	Medición de los tiempos de las válvulas solenoides.....	128
Tabla 4. 2.	Resultados del tiempo de vaciado	130
Tabla 4. 3.	Costo de materiales mecánicos.....	131
Tabla 4. 4.	Costo de elementos eléctricos.....	132
Tabla 4. 5.	Costo de accesorios neumáticos	133
Tabla 4. 6.	Costo de proceso de maquinado	133
Tabla 4. 7.	Costo directo total.....	134
Tabla 4. 8.	Tasas de interés	136
Tabla 4. 9.	Amortización de préstamos	137

Tabla 4. 10.	Tasa de interés para producto empresarial	137
Tabla 4. 11.	Valores TIR.....	139
Tabla 4. 12.	Relación Costo-Beneficio	140
Tabla 4. 13.	Valores límite para que el proyecto sea viable	141
Tabla 4. 14.	Valores límites obtenidos para el proyecto	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1.	Moldes de yeso.....	5
Figura 1. 2.	Dispensadores de agua.....	5
Figura 1. 3.	Diagrama del proceso de Vaciado de barbotina.....	6
Figura 1. 4.	Tipos de Fluido	10
Figura 1. 5.	Curvas de flujo.....	12
Figura 1. 6.	Curvas de viscosidad.....	12
Figura 1. 7.	Curvas características de fluidos dependientes en el tiempo.....	14
Figura 1. 8.	Principio de funcionamiento de la bomba de diafragma	16
Figura 1. 9.	Bomba de doble membrana	17
Figura 1. 10.	Electroválvula	18
Figura 1. 11.	Funcionamiento de una electroválvula	20
Figura 1. 12.	Motor eléctrico c.a	22
Figura 1. 13.	Reductor de velocidad	23
Figura 1. 14.	Sensor tipo flotador.....	24
Figura 1. 15.	Sensor tipo Flotador Magnético	25
Figura 1. 16.	Sensores de contacto tipo pulsador.....	26
Figura 1. 17.	Sensores de contacto final de carrera	27
Figura 1. 18.	Controlador Lógico Programable	28
Figura 1. 19.	Software de programación PLC.....	29
Figura 1. 20.	Panels HMI	29
Figura 1. 21.	Acero ASTM	30
Figura 1. 22.	Ejes.....	31
Figura 1. 23.	Acero Inoxidable	32
Figura 1. 24.	Bronce Fosfórico.....	32
Figura 1. 25.	Tornillo de transmisión.....	33
Figura 1. 26.	Tornillo de rosca triangular	34
Figura 1. 27.	Tornillo de rosca trapezoidal.....	34
Figura 1. 28.	Tornillo de rosca diente de sierra.....	35
Figura 1. 29.	Tornillo de rosca redonda	35

Figura 1. 30.	Tornillo de rosca cuadrada	35
Figura 1. 31.	Tornillo de rosca cuadrada	36
Figura 1. 32.	Partes de una Polea	37
Figura 1. 33.	Bocines.....	38
Figura 1. 34.	Rodamientos Radiales.....	39
Figura 1. 35.	Rodamientos axiales	40
Figura 1. 36.	Chumaceras	40
Figura 1. 37.	Tubería PVC.....	41
Figura 2. 1.	Sistema de vaciado	42
Figura 2. 2.	Mesa para moldes	43
Figura 2. 3.	Dimensiones de la base de soporte.....	44
Figura 2. 4.	Placa de la base de soporte	47
Figura 2. 5.	Diagrama de cargas ejercidas en la placa de la base de soporte.....	48
Figura 2. 6.	Diagrama de fuerza cortante y del momento flector máximo de la placa de la base de soporte	49
Figura 2. 7.	Sección de la placa para la base de soporte	50
Figura 2. 8.	Tensión de Von Mises en la base de soporte.....	56
Figura 2. 9.	Deslizamiento estático de la base de soporte	57
Figura 2. 10.	Sistema de coordenadas en eje Z.....	58
Figura 2. 11.	Dimensiones del cabezal móvil.....	58
Figura 2. 12.	Tensión de Von Mises en el cabezal móvil.....	60
Figura 2. 13.	Deslizamiento estático en el cabezal móvil	61
Figura 2. 14.	Dimensionamiento de la columna en U	62
Figura 2. 15.	Esfuerzo máximo de la columna en U	64
Figura 2. 16.	Deslizamiento estático de la columna en U	65
Figura 2. 17.	Placa base de soporte con perno de sujeción	68
Figura 2. 18.	Cimentación de los pernos de anclaje	70
Figura 2. 19.	Dimensiones del eje Z	72
Figura 2. 20.	Diagrama de cuerpo libre del eje	80
Figura 2. 21.	Tanque de recirculación	86
Figura 2. 22.	Curva de desempeño de la bomba de ½ in	87

Figura 2. 23.	Curva de desempeño de la bomba de 2 in	88
Figura 2. 24.	Curva de desempeño de la bomba de 3 in	88
Figura 2. 25.	Relé Térmico	94
Figura 2. 26.	Contactador	95
Figura 2. 27.	Relé	95
Figura 2. 28.	Motor Trifásico	96
Figura 2. 29.	Motorreductor	97
Figura 2. 30.	Final de carrera.....	98
Figura 2. 31.	Sensor capacitivo	99
Figura 2. 32.	Sensor tipo boya.....	99
Figura 2. 33.	Válvula Solenoide	100
Figura 2. 34.	Electroválvula 5/2 E.MC	101
Figura 2. 35.	PLC LOGO Siemens 230RC y Módulo de expansión DM8 230R	103
Figura 2. 36.	Diagrama de Circuito de Potencia	104
Figura 2. 37.	Diagrama de Control.....	105
Figura 3. 1.	Montaje de la Base de soporte	106
Figura 3. 2.	Montaje de la viga.....	107
Figura 3. 3.	Montaje del tornillo de potencia	108
Figura 3. 4.	Montaje de la Tuerca del tornillo de potencia	108
Figura 3. 5.	Construcción del cabezal móvil	109
Figura 3. 6.	Montaje del cabezal móvil	110
Figura 3. 7.	Sistema Motorreductor	110
Figura 3. 8.	Montaje de las válvulas solenoides	111
Figura 3. 9.	Montaje de las canaletas de recolección	112
Figura 3. 10.	Tanque de recirculación	112
Figura 3. 11.	Sensores de nivel	113
Figura 3. 12.	Sensor de nivel tipo boya	113
Figura 3. 13.	Sensores finales de carrera.....	114
Figura 3. 14.	Primera pantalla.....	114
Figura 3. 15.	Pantalla del proceso de vaciado manual	115
Figura 3. 16.	Botones de configuración	115

Figura 3. 17.	Pantalla de control automático.....	115
Figura 3. 18.	Tablero de control y de mando	116
Figura 3. 19.	Tablero del circuito de fuerza	117
Figura 3. 20.	Tablero de mando y control	117
Figura 3. 21.	Etapa de succión de la barbotina.....	118
Figura 3. 22.	Distribución de la manguera de salida.....	118
Figura 3. 23.	Distribución en los compartimientos	119
Figura 4. 1.	Calibración y comprobación del eje Z.....	120
Figura 4. 2.	Tablero de control de la máquina	121
Figura 4. 3.	Funcionamiento del PLC	122
Figura 4. 4.	Sistemas de protección	122
Figura 4. 5.	Paro de emergencia	123
Figura 4. 6.	Control del sistema de vaciado.....	124
Figura 4. 7.	Control de la batidora	124
Figura 4. 8.	Pruebas del funcionamiento de las electroválvulas	125
Figura 4. 9.	Pruebas del cabezal	125
Figura 4. 10.	Prueba de los finales de carrera.....	126
Figura 4. 11.	Pruebas válvulas Solenoides.....	126
Figura 4. 12.	Selector de mandos.....	127
Figura 4. 13.	Calibración de las válvulas solenoides	127
Figura 4. 14.	Pruebas de los sensores de nivel.....	128
Figura 4. 15.	Pruebas de los sensores de nivel tipo boya	128
Figura 4. 16.	Vaciado de barbotina.....	129
Figura 4. 17.	Recirculación de la barbotina.....	129
Figura 4. 18.	Producto final.....	130

RESUMEN

El proyecto consiste en un método de manera automática el cual es moldear por drenaje barbotina a fin de obtener un artículo moldeado sustancialmente hueco, que comprende llenar a presión barbotina introduciendo en una cavidad de molde depositándolo a través de un conducto, este proyecto es aplicable para la producción de piezas de cerámica. El Sistema de Vaciado de barbotina constará de tres etapas el diseño mecánico, construcción y automatización mediante un HMI, de esta manera se busca cumplir con el objetivo de mejorar el proceso de manufactura, ya que se descartará la degradación física del trabajador mediante la implementación del sistema, el cual proporcionará una mejor producción para el incremento de productos cerámicos de mejor calidad y a la vez mejorar los tiempos de producción. Para este proceso es absolutamente necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes tales como la presión, el caudal, el nivel, la conductividad, la velocidad por lo cual los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes en condiciones más idóneas que las que el propio trabajador podría realizar. El proyecto presentado no solo busca optimizar las etapas de producción, sino se enfoca también a la Seguridad y Salud Ocupacional del trabajador, ya que al evitar que los obreros levanten y vacíen la barbotina hacia los moldes se va a evitar daños corporales futuros en la persona. Al contar con un sistema de vaciado automático de barbotina se va a evitar que exista derrame de material y fallas de calidad en el producto, evitando entonces que el producto tenga que ser procesado nuevamente.

PALABRAS CLAVE:

- **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**
- **CERÁMICA NOVEL**
- **CERÁMICA INDUSTRIAL**
- **BARBOTINA**

ABSTRACT

KEYWORD:

The project consists of a method of an automatic way which is to mold for drainage barbotina in order to obtain an article molded substantially hollow, that comprises to fill to pressure barbotina introducing in a mold cavity depositing it across a conduit, this project is applicable for the production of pieces of ceramics. The System of Emptying of barbotina will consist of three stages: the mechanical design, construction and automation by means of a HMI, in this way it seeks to fulfill with the objective of improving the manufacture process, since the physical degradation of the worker will be discarded by means of the implementation of the system, which will provide a better production for the increase of ceramic products of best quality and at the same time improve the production times. For this process it is absolutely necessary to control and to keep constant some magnitudes such as: the pressure, the wealth, the level, the conductivity, the speed for which the measuring devices and control allow the maintenance and the regulation of these constants in conditions more suitable than that the worker could perform. The project presented not only seeks to optimize the production stages, but also focuses on the Safety and Occupational Health of the worker, since to prevent workers lift and empty the barbotine towards the molds It will prevent future bodily harms in the person. With a system of automatic dump of barbotine is going to avoid that there is leakage of material and quality failures in the product, avoiding that the product has to be processed again.

KEY WORDS:

- **ELECTROMECHANICAL ENGINEERING**
- **NOVEL CERAMIC**
- **INDUSTRIAL CERAMICS**
- **BARBOTINE**

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1. Introducción

Inicialmente los productos cerámicos fabricados por el hombre fueron los utensilios primitivos formados con la mezcla de tierras arcillosas moldeadas manualmente y sometidas al fuego logrando su consolidación por la acción del calor. La intervención humana en las empresas artesanales es el eje principal para su fabricación, con esfuerzo y dedicación sus productos han ido ganado prestigio, pero los avances tecnológicos han ocasionado que poco a poco ingresemos a una era industrializada forzando a las empresas artesanales a automatizar sus procesos de producción.

El siguiente documento constará de tres etapas: diseño mecánico, construcción y automatización, de esta manera se busca cumplir con el objetivo de mejorar el proceso de manufactura, ya que al descartar la degradación física del trabajador, al implementar este sistema se proporcionará una mejor producción para el incremento de productos cerámicos de mejor calidad y a la vez mejorar los tiempos de producción.

La Empresa Cerámica NOVEL, dedicada a la fabricación de productos cerámicos, busca en su producción que cumpla con los parámetros y requisitos del consumidor ofreciendo modelos novedosos y atractivos con lo cual le permite competir en el mercado nacional e internacional.

En la etapa de modelado en la cual estamos inmersos se realiza el vaciado de los moldes en forma manual, el operario es la única persona calificada de la empresa que puede realizar este proceso ya que es muy complejo.

Por tal motivo la preocupación del gerente es depender de un solo operario de la producción total de la empresa ya que si llega abandonar su labor, ocasionaría una menor producción afectando directamente al tiempo, costo y calidad del producto.

1.2. Cerámica

La cerámica es un término general que se ocupa de la fabricación de objetos con materiales terrosos, blandos, endurecidos, estos se los realiza mediante tratamientos a altas temperaturas. Los materiales cerámicos son compuestos inorgánicos, la cerámica incluye los trabajos de alfarería, porcelana, ladrillos, etc.

Los productos cerámicos elaborados mediante el vaciado de barbotina se utilizan para fines decorativos o para servicio de mesa, también se utilizan en los materiales de construcción, e inclusive para fabricar soportes magnéticos, en los aislantes cerámicos tienen una extensa variedad de propiedades eléctricas y han reemplazado a los materiales convencionales.

1.3. Barbotina

Básicamente la barbotina es una mezcla de arcilla y agua con la cual se optime una solidez barrosa o casi líquida, utilizada especialmente para unir piezas previamente elaboradas a mano y utilizada con propósitos decorativos, la barbotina está compuesta por diferentes materiales muy importantes como son:

- Arcilla
- Caolín

1.4. Composición de la barbotina

1.4.1. Arcilla

La arcilla es un material natural que cuando se mezcla con el agua en cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica. De manera habitual las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas y con distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones.

La barbotina está compuesta de caolín y arcilla, los cuales se disuelven en agua para producir una mezcla que se emplea en aplicaciones industriales como la cerámica y el modelado en barro, habitualmente también se utiliza como pegamento en diferentes aplicaciones.

1.4.2. Caolín

El caolín es un mineral muy importante desde el punto de vista industrial. Ha sido utilizando en una gran aplicación para la porcelana fabricada a base de pastas cerámicas ricas en caolín.

Los principales usos en los que se aplica en la actualidad son:

- **Fabricación de papel:** El principal consumidor de caolín es la industria papelera, utilizando más del 50 % de la producción, en esta zona industrial se usa tanto como carga y para proporcionarle al papel el acabado superficial o estucado.
- **Cerámicas y refractarios:** El uso del caolín es muy utilizado en la fabricación de materiales cerámicos (porcelana, gres, loza sanitaria o de mesa), y de refractarios (aislantes térmicos y cementos).

1.4.3. Composición química de la barbotina

Para la composición química de la barbotina se agrega carbonato de calcio (CaCO_3), cuarzo, silicato de sodio, y carbonato de sodio, y agua (sin superar 45% del peso de los materiales sólidos), como se observa en la tabla 1.1.

Tabla 1. 1.

Composición química de la barbotina

Componentes Químicos	Porcentaje %
Arcilla	80
Carbonato de calcio CaCO_3	10
Cuarzo	10
Silicato de sodio Na_2SiO_3	0.15
Carbonato de sodio Na_2CO_3	0.15

Fuente: [1]

A base de los productos cerámicos se elaboran, vasijas y otros objetos hechos de barbotina de arcilla, endurecida por el proceso de cocimiento en horno, entre diferentes productos podemos obtener:

- Murales
- Esculturas
- Cazuelas

1.5. Tamizador

Es un método sencillo, el cual consiste en separar elementos deseados e indeseados, clasificándolo por tamaño de partícula. Los orificios del tamiz suelen ser de diferentes tamaños y se utilizan de acuerdo al tamaño de las partículas de una solución.

1.6. Yeso

El yeso como producto industrial, está elaborado mediante el sulfato de calcio hemihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), o también conocido como “yeso cocido”.

Este tipo de producto se comercializa molido y en forma de polvo, una variedad de yeso se utiliza cuantiosamente, por su facilidad de tallado, para procesar pequeñas vasijas, estatuillas y otros utensilios que son elaborados para todo tipo de producto cerámico como se observa en la (figura 1.1).



Figura 1. 1. Moldes de yeso

Fuente: [2]

1.7. Dispensador de agua

El dispensador de agua permite el acceso al fluido con seguridad, limpieza y rapidez, es lógico pensar que la tecnología ha facilitado nuestras vidas haciendo las cosas menos trabajosas y poder ahorrar tiempo, el dispensador es una de esas realidades mejoradas a lo largo de la historia no sólo por su practicidad sino por la grandiosa aceptación de sus usos (figura 1.2).



Figura 1. 2. Dispensadores de agua.

Fuente: [3]

1.8. Vaciado de barbotina

El vaciado de barbotina es uno de los procesos más utilizados en la fabricación de la cerámica, es un proceso muy sencillo en el cual no se puede descuidar algunos detalles que por su importancia pueden aportar gran calidad a nuestro producto, y a la vez abaratar los costos de producción.

Al inicio del proceso el vaciado debe ser lento, cuidando no crear burbujas que nos pueden ocasionar agujeros en la contextura de la pieza como se observa en la (figura 1.3). Obviamente esto puede ser solucionado en la ornamentación, pero podemos evitarlo teniendo cuidado al vaciar la barbotina en el molde.

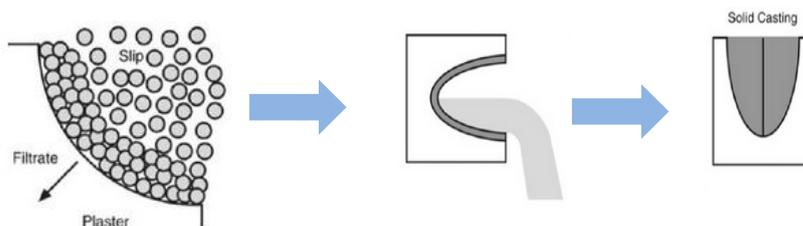


Figura 1. 3. Diagrama del proceso de Vaciado de barbotina.

Fuente: [4]

Los moldes para el proceso de vaciado son fabricados en yeso cerámico, ya que el yeso tiene la particularidad de absorber la humedad (agua) que se encuentra en el medio ambiente, especialmente cuando se trata algún líquido como la barbotina, al tener contacto con la superficie del molde comienza a gelar, y el nivel de la barbotina empieza a bajar rápidamente (entre más seco el molde más rápido el proceso), por esta razón se recomienda siempre estar alerta de que el nivel no baje mucho ya que puede ocasionar que la base sea muy delgada y quebradiza en la pieza.

La barbotina sobrante se drena y se toma un tiempo para que la pieza se proceda a secarse un poco dentro del molde, puede tomar desde una hora hasta varios días, dependiendo del tamaño y espesor que se está formando.

La contracción natural que ocurre durante este tiempo de pre secado hace que la pieza se separe del molde y cuando esto ocurre, la pieza puede ser manejada sin problemas.

Finalmente, la pieza en verde se lleva a un secadero para retirarle el agua libre, y después de esto, se hace la quema de la pieza de donde se le retira el agua ligada.

La limpieza de los moldes es de vital importancia por razón que la barbotina queda adherida al molde y ocasiona que se humedezca más rápido y un molde húmedo además de dificultar el trabajo sufre de una duración menor.

1.8.1. Ventajas y desventajas

En la tabla 1.2. Se detalla las ventajas y desventajas del proceso de vaciado de barbotina.

Tabla 1. 2.

Ventajas y desventajas del Vaciado de Barbotina

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Bajo coste en la producción debido a su materia prima. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso muy intenso lo que ocasiona una producción lenta y menores ganancias.
<ul style="list-style-type: none"> • No se requieren operarios altamente calificados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Debido a erosión y corrosión causada por la barbotina, los moldes tienen una duración limitada.
<ul style="list-style-type: none"> • Gran facilidad para obtener piezas de forma compleja. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desde el punto de vista medioambiental, los moldes desechados son un fuerte problema que aún espera solución

1.9. Viscosidad

1.9.1. Definición

La viscosidad es la resistencia que ofrecen los fluidos a ser deformados, cuando son sometidos a un esfuerzo cortante. Además la viscosidad es una propiedad de transporte inherente de los fluidos, que cuantifica la conductividad de cantidad de movimiento a nivel molecular, determinando la relación entre las sollicitaciones tangenciales (cortantes) y la velocidad de corte del fluido.

La viscosidad de la barbotina obtuvo una gran importancia en el proceso del vaciado, para tener una excelente barbotina en moldes de yeso hay que obtener una excelente fluidez tal que la barbotina contenga el mínimo de agua y la viscosidad sea la mínima.

1.9.2. Factores que afectan la viscosidad

En fluidos no newtonianos, la viscosidad está afectada por: la temperatura, la presión y la velocidad de corte.

- **Variación de la viscosidad con la temperatura**

En líquidos el aumento de la temperatura produce una diferente resistencia al fluir por un conducto, lo que conlleva a la variación de la viscosidad, para evitar esta variación se valora el índice de viscosidad que tiene el fluido cuando se encuentra en movimiento.

Un fluido con un alto índice de viscosidad produce un pequeño cambio con respecto a la temperatura sin embargo un fluido con un bajo índice de viscosidad presenta un cambio grande en su viscosidad con respecto a la temperatura.

- **Variación de la viscosidad con la presión**

Los cambios de viscosidad con la presión son bastante pequeños para presiones que difieren de la atmosférica, los cambios son bastante pequeños, por lo que para la mayor parte de casos prácticos los efectos de la presión se ignoran al momento de realizar mediciones.

- **Variación de la viscosidad con la velocidad de corte**

En los fluidos no newtonianos, la viscosidad depende de la velocidad de corte, en la tabla 1.3. y 1.4. Se indica los rangos de velocidad de corte.

Tabla 1. 3.

Rangos de velocidad de corte alcanzados en diferentes aplicaciones

SITUACIÓN	RANGO DE VELOCIDAD DE CORTE	EJEMPLOS DE APLICACIÓN
Sedimentación	10^{-6} - 10^{-3}	Medicina, Pintura, Aderezos para ensaladas
Nivelación debido a la tensión superficial	10^{-2} - 10^{-1}	Pinturas, Tintas
Drenar por gravedad	10^{-1} - 10^1	Desinfectantes, Pinturas revestimientos
Extrusión	10^0 - 10^2	Polímeros, Alimentos
Masticar y tragar	10^1 - 10^2	Alimentos
Recubrimiento por inmersión	10^1 - 10^2	Confitería, Pinturas
Mezclado Y agitación	10^1 - 10^3	Preparación de fluidos
Flujo en tuberías, Transporte de fluidos por tubería	10^0 - 10^3	Bombeo de líquidos, flujo de sangre
Cepillar	10^3 - 10^{-4}	Pintura
Frotar	10^4 - 10^5	Crema para la piel, lociones
Recubrimiento de alta velocidad	10^4 - 10^6	Fabricación de papel
Pulverización	10^5 - 10^6	Atomización, sacado por aspersión
Lubricación	10^3 - 10^7	Rodamientos, motores

Fuente: [5]

Tabla 1. 4.

Velocidades de corte típicas de algunos procesos cerámicos

Proceso	velocidad de corte (s^{-1})
Aplicación por spray, cepillado	$10^3 - 10^4$
Moldeo por inyección	$10^2 - 10^4$
Extrusión	$10^2 - 10^3$
Mezclado, Agitación, Bombeo	$10^1 - 10^3$
Colaje en cinta, inmersión, moldeo a baja presión	$10^1 - 10^2$
Colaje en escayola	$< 10^1$

Fuente: [5]

1.10. Fluidos

Como fluido se entiende a toda cantidad de materia capaz de deformarse de manera continua e irreversible cuando es sujeta a una fuerza o esfuerzo, lo cual da lugar a un movimiento denominado flujo. Las curvas características para los fluidos son: la curva de fluidez, donde se grafica el esfuerzo cortante frente a la velocidad de corte y la curva de viscosidad donde se representa la viscosidad en función de la velocidad de corte.

1.10.1. Clasificación de los fluidos

Los fluidos se pueden clasificar de acuerdo a su comportamiento reológico como se detalla a continuación:

**Figura 1. 4. Tipos de Fluido**

1.10.2. Fluidos no newtonianos

Un fluido no newtoniano es aquel fluido cuya viscosidad varía con la temperatura y la tensión cortante que se le aplica, como resultado, un fluido no-newtoniano no tiene un valor de viscosidad definido y constante, a diferencia de un fluido newtoniano.

La mayor cantidad de fluidos no newtonianos son sustancias altamente viscosas, como son:

- Polímeros.
- Pinturas.
- Pastas de imprenta.
- Mermeladas, mieles.
- Pastas cerámicas o barbotinas.

Los fluidos no newtonianos se pueden clasificar a su vez en fluidos cuya caracterización física de viscosidad son independientes y dependientes del tiempo de aplicación del esfuerzo cortante.

1.10.3. Fluidos independientes en el tiempo

Estos fluidos son:

- Fluidos pseudoplásticos.
- Dilatantes.
- Plásticos.

A continuación se muestran en las (figuras 1.5 y 1.6) las curvas de flujo y curvas de viscosidad para fluidos no newtonianos que son independientes en el tiempo.

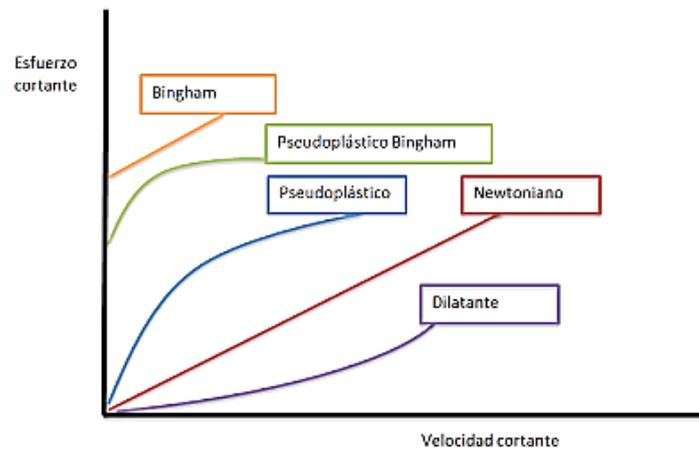


Figura 1. 5. Curvas de flujo

Fuente: [5]

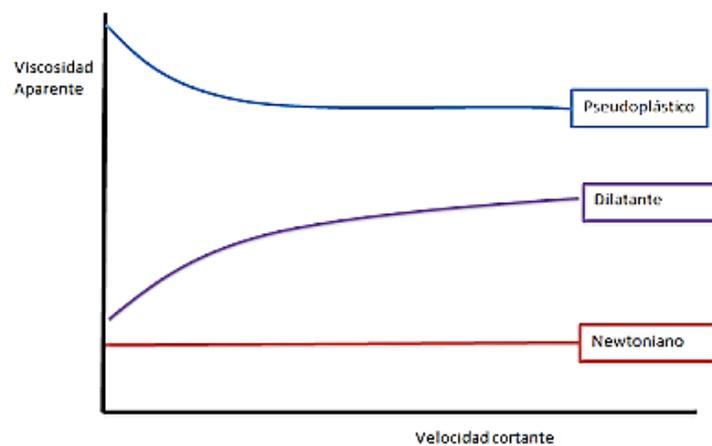


Figura 1. 6. Curvas de viscosidad

Fuente: [5]

1.10.4. Fluidos pseudoplásticos

Son aquellos fluidos cuya viscosidad disminuye cuando se incrementa la velocidad de corte, los cuales empiezan a fluir en el instante que se les aplica un esfuerzo cortante.

Tomando en cuenta algunos ejemplos están: ciertas clases de pinturas, suspensiones acuosas de arcilla, etc.

1.10.5. Fluidos dilatantes

En este tipo de fluidos la viscosidad aumenta con el incremento de la velocidad de corte, las cuales empiezan a fluir en el instante cuando se les aplica un esfuerzo cortante mayor a cero.

El fenómeno de dilatación se produce debido a la fase dispersa del fluido, en dicho fluido tiene lugar un empaquetamiento de las partículas, dejando de esta manera a la fase continua casi sin espacio.

1.10.6. Fluidos plásticos

Este tipo de fluido se comporta como un sólido hasta que sobrepasa un esfuerzo cortante mínimo y a partir de dicho valor se comporta como un líquido. Estos materiales poseen una estructura determinada en la cual para que se comporten como un fluido se debe romper dicha estructura.

1.10.7. Fluidos dependientes del tiempo

En ciertos fluidos, la viscosidad aparente no permanece constante aunque se mantenga constante la velocidad de corte ($\dot{\gamma}$), en donde se debe tomar en cuenta que la viscosidad aparente puede disminuir o incrementarse.

Los fluidos cuya viscosidad aparente se incrementa con el tiempo se denominan reopécticos, al contrario si la viscosidad aparente disminuye se denominan tixotrópicos. A continuación en la (figura 1.7) se observa las curvas características de fluidos dependientes en el tiempo.

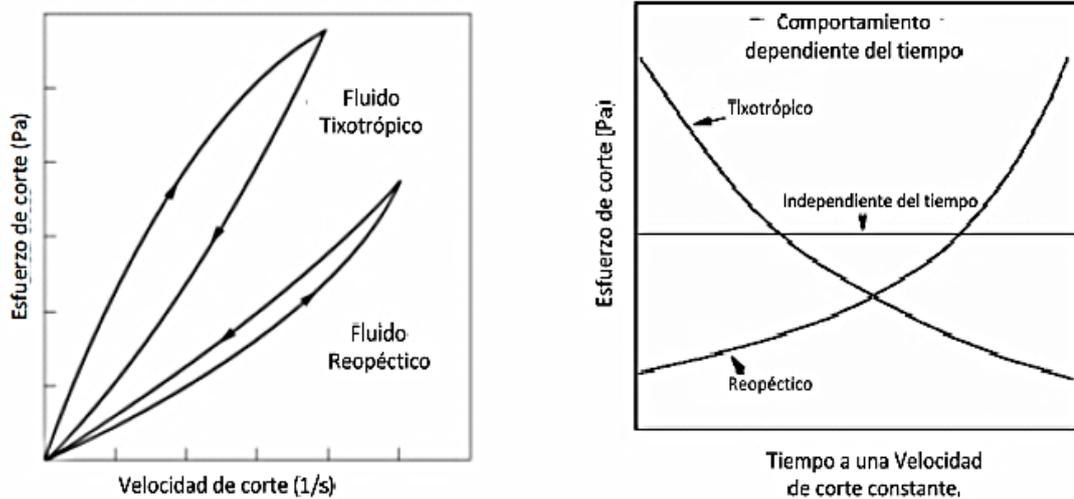


Figura 1. 7. Curvas características de fluidos dependientes en el tiempo

Fuente: [5]

1.10.8. Fluidos tixotrópicos

Estos tipos de fluidos se caracterizan por un ablandamiento dependiente del tiempo, por lo tanto estos fluidos se caracterizan por un cambio de las cadenas de su estructura interna al aplicar un esfuerzo.

Esto produce una rotura de largas cadenas que forman sus moléculas, en donde dichos fluidos una vez aplicado un esfuerzo cortante, solo pueden recuperar su viscosidad inicial tras un tiempo de reposo.

1.10.9. Fluidos reopécticos

En este tipo de fluidos su viscosidad aumenta con el tiempo y con la velocidad de corte aplicada, la cual presenta una histéresis inversa, esto es debido a que si se aplica una fuerza se produce una formación de enlaces intermoleculares implicando al aumento de la viscosidad, mientras que si cesa esta se produce una destrucción de los enlaces, dando lugar a una disminución de la viscosidad.

1.11. Componentes del proceso de dosificación

1.11.1. Bomba de diafragma

Las bombas de diafragma son un tipo de bombas de desplazamiento positivo, que utilizan paredes elásticas llamadas membranas o diafragmas en combinación con válvulas de retención (check) que cumplen con la función de introducir y sacar el fluido de una cámara de bombeo.

a. Principio de funcionamiento

El funcionamiento de las bombas de diafragma está basado fundamentalmente en la acción conjunta de cuatro elementos:

- Un par de membranas.
- Un eje que los une.
- Una válvula distribuidora de aire.
- Cuatro válvulas de esfera.

En la bomba de diafragma el aumento de presión se realiza por el empuje de unas paredes elásticas, las cuales varían el volumen de la cámara aumentándolo y disminuyéndolo de forma alternativa. Las válvulas de retención controlan que el movimiento del fluido se ejecute desde la zona de menor presión hasta la zona de mayor presión.

El principio de funcionamiento de una bomba de diafragma se realiza cuando se encuentra conectado el aire comprimido, la válvula distribuidora lo enviará a la parte posterior de uno de los diafragmas, haciendo que el mismo se aleje del centro de la bomba ya que ambas membranas se encuentran unidas por el eje, en el mismo movimiento el diafragma de la izquierda se verá atraído hacia el centro de la bomba, generando una depresión en la cámara

de líquido y expulsando al exterior el aire que se encontraba en su parte posterior. (Ver figura 1.8).

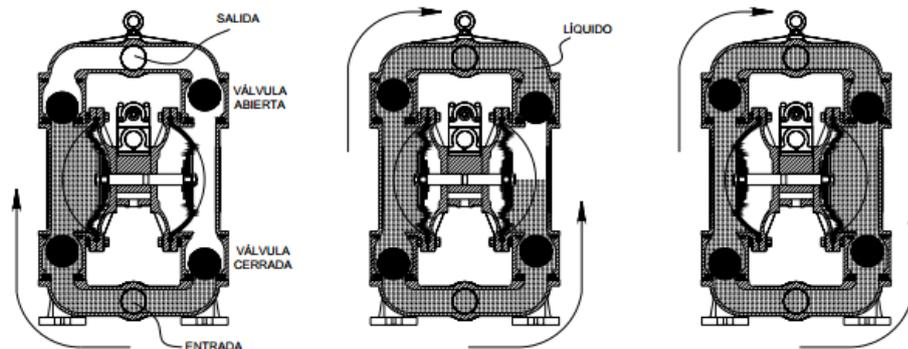


Figura 1. 8. Principio de funcionamiento de la bomba de diafragma

Fuente: [6]

b. Parámetros para la selección de una bomba

La aplicación involucra manejo de alta viscosidad, la mejor alternativa es el uso de una bomba de desplazamiento positivo y dentro de este grupo la tecnología de doble diafragma asegura un trabajo confiable. Para seleccionar una bomba se debe considerar algunos puntos importantes:

- Líquido que se bombeará.
- Capacidad requerida.
- Condiciones del lado de succión.
- Condiciones del lado de descarga.
- Carga total sobre la bomba.
- Tipo de sistema donde la bomba impulsa el fluido.
- Tipo de fuente de potencia.
- Limitaciones del espacio, peso y posición.
- Condiciones ambientales.

c. Partes de las bombas de doble diafragma

La bomba de doble diafragma cuenta con elementos como: Válvula de bola, cámara de bombeo, membranas, colector de aspiración colector de descarga, motor neumático. (Ver figura 1.9).

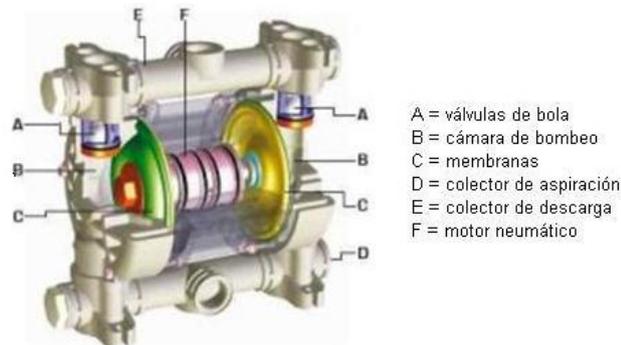


Figura 1. 9. Bomba de doble membrana

Fuente: [7]

d. Ventajas

En la tabla 1.5 se describen algunas ventajas que la bomba de diafragma puede presentar.

Tabla 1. 5.

Ventajas de la bomba de doble membrana

Autocebante	Su diseño permite succionar fluidos desde niveles por debajo de la bomba, inclusive de productos de alta viscosidad.
Corren en seco	El fluido puede correr en seco sin tener un daño masivo.
La eficiencia de bombeo permanece constante	No tienen rotores, engranes, pistones o paletas que se desgasten con el tiempo
Flujo y presión de descarga variables	La misma bomba puede ser ajustada para igualar un sinnúmero de aplicaciones, debido a cambio de flujo o presión
No requieren sellos mecánicos, acoples o motores eléctricos	Esto elimina muchas de las partes que requieren mantenimiento y pueden provocar fugas
Mantenimiento económico y fácil	Su principio de operación es muy simple

1.11.2. Electroválvulas

Una electroválvula es la combinación de dos partes fundamentales, está compuesta por un solenoide (bobina) y un cuerpo de válvula con 2 o 3 vías que sirve para abrir o cerrar el paso de un fluido a través de una señal eléctrica, su apariencia se indica en la (figura 1.10).



Figura 1. 10. Electroválvula

Fuente: [8]

De manera integral se elige el accionamiento eléctrico para mandos que se encuentran con distancias extremadamente largas y con pequeños tiempos de conexión. La parte eléctrica de estos mandos trabajan debidamente con tensiones continuas de 12 VCC o 24 VCC y tensiones alternas de 110 VAC o 220 VAC.

Las electroválvulas o también conocidas como válvulas electromagnéticas se clasifican en válvulas de mando directo o indirecto.

Las de mando directo se utilizan en válvulas con baja capacidad y para puertos con diámetro pequeño.

Ventajas:

- Construcción más simple.
- Funcionamiento con presión y con vacío.
- Utilización como válvula universal.

Desventajas:

- Mayor consumo eléctrico.
- Vida útil más corta.
- Necesidad de relés intermedios para su activación desde PLCs.

Las de mando indirecto utilizan una válvula electromagnética para servo pilotaje de diámetro nominal pequeño y una válvula principal de mando neumático.

Ventajas:

- Menor consumo de energía.
- Menor tamaño.
- Menos vibraciones con mayor duración.

Desventajas:

- Debe existir presión permanentemente a la entrada.
- No es recomendable para realizar sopladors directos a la atmosfera.

Funcionamiento

Las válvulas de solenoide permiten un control ON – OFF por medio de variaciones de corriente eléctrica en su bobina.

Al conectar la bobina de la electroválvula se genera la acción de un imán; el núcleo es atraído venciendo la resistencia de un muelle, entonces el núcleo obtura el escape R y une la alimentación P con la salida A.

Al desconectar el electroimán, el muelle mueve al núcleo hasta su posición inicial y cierra el paso del aire de P hacia A, entonces puede escapar el aire hacia R.

A continuación en la (figura 1.11) se muestra un esquema del funcionamiento ya mencionado anteriormente de una electroválvula.

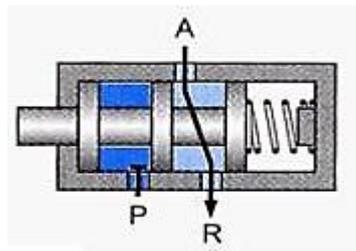


Figura 1. 11. Funcionamiento de una electroválvula

Fuente: [9]

Las electroválvulas tienen dos estados: inactivo y activo:

- Inactivo: posición inicial
- Activo: posición después de accionar la bobina.

1.12. Actuadores

Son máquinas eléctricas, las cuales transforman la energía eléctrica en energía mecánica, los cuales se usan para accionar diferentes mecanismos y dispositivos que generalmente son utilizados por las industrias.

1.12.1. Motores eléctricos

Es una máquina eléctrica que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de campos magnéticos variables, que funciona mediante corriente alterna (CA) o corriente continua (CC).

Desde su invención los motores eléctricos son muy utilizados en diferentes trabajos industriales y en múltiples aplicaciones tales como: electrodomésticos ventiladores, bombas, etc.

- **Motores de corriente alterna**

Mediante los motores de corriente alterna se clasifican en los siguientes tipos de motor.

Motor sincrónico, este tipo de motor tiene una característica de tener una velocidad de giro que es directamente proporcional a la frecuencia de la red de (CA) que lo alimenta.

Por ejemplo si una fuente es de 60 Hz y si el motor es de dos polos este procederá a girar a 3600 RPM; si es de cuatro polos girará a 1800 RPM y así sucesivamente.

El motor sincrónico es utilizado en aquellos casos en que los que se desea movimientos a velocidad constante, este dispositivo eléctrico siempre está relacionado en sistemas de regulación y control que se implementa a nivel industrial.

El Motor Asíncrono o de Inducción, es un dispositivo que se caracteriza por ser mecánicamente eficiente y fácil de construir, se utilizan en aplicaciones industriales como: máquinas-herramientas, tornos, fresadoras, cepilladoras, grúas, bombas, compresores, ventiladores, etc.

Estos motores tienen la particularidad de que no precisan de un campo magnético alimentado con corriente continua (CC) como en los casos del motor de corriente directa o del motor sincrónico.

Funcionamiento

Una fuente de corriente alterna (trifásica o monofásica) procede alimentar al estator, en donde la corriente en las bobinas del estator induce corriente alterna en el circuito eléctrico del rotor para de esta manera hacerlo girar en un movimiento constante, su apariencia física se indica en la (figura 1.12).

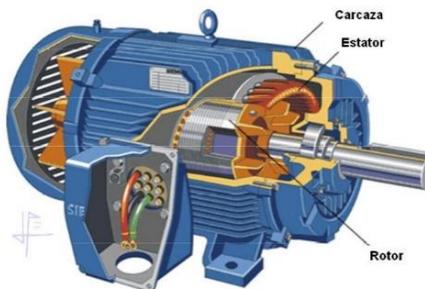


Figura 1. 12. Motor eléctrico c.a

Fuente: [10]

1.12.2. Reductores de velocidad

En la gran mayoría de las industrias se emplea maquinaria que requiere de motores casi siempre eléctricos, que sirven para mover sus diferentes partes, y elementos que les transmitan la potencia de éstos, tales como: poleas, bandas, catarinas, reductores de velocidad, etc.

En una planta industrial la operación del reductor de velocidad es de manera eficiente, donde se lo realiza mediante un mecanismo de transmisión de potencia que es a base de engranes, su apariencia física se indica en la (figura 1.13).

Los reductores de velocidad sinfín se implementa en distintos campos como son:

- Alimentadores (banda, disco, gusano).

- Bombas
- Compresores
- Elevadores
- Extrusores
- Molinos (bolas, martillo, rodillos)
- Transportadores (banda, canastilla)
- Trituradores, etc.

Las características más comunes a todos los reductores de tornillo sinfín se detallan a continuación:

- Eje de salida hueco simétrico, para la fijación bilateral del reductor al eje de salida suministrado (disponible como accesorio).
- Engranajes de tornillo sinfín rectificadas, su mecanización de precisión da como resultado un rendimiento elevado y funcionamiento muy Silencioso.
- Numerosas opciones para la fijación del reductor disponiendo de las configuraciones, patas, brida o pendular (brazo de reacción opcional).
- Extensa posibilidad de seleccionar el adecuado reductor, mediante la lista de opciones disponibles.



Figura 1. 13. Reductor de velocidad

Fuente: [11]

1.13. Sensores

Son dispositivos electrónicos con una alta capacidad de detectar la variación de una determinada magnitud física tales como: temperatura, iluminación, presión y movimiento; con el objetivo de convertir el valor de esta en una señal eléctrica ya sea analógica o digital.

1.13.1. Sensores de nivel de líquido

Los sensores de nivel se basan directamente a la altura del líquido, presión hidrostática, desplazamiento de un flotador sobre un líquido, o bien a partir de las características eléctricas que contenga el líquido.

Existen diferentes sensores de nivel de líquido, los cuales se detallan a continuación:

a. Sensor de nivel de líquido tipo flotador

Este elemento consiste de un flotador que posee una barra a través de la cual transmite un movimiento a una ampolla de mercurio con un interruptor, si el nivel del líquido alcanza al flotador lo empuja en forma ascendente y si la fuerza supera al peso del flotador el interruptor cambia de posición (figura 1.14).



Figura 1. 14. Sensor tipo flotador

Fuente: [12]

b. Sensor de nivel de líquido tipo flotador magnético

Cuando el flotador de nivel asciende o desciende junto con el líquido hasta el nivel donde está el interruptor de láminas (en el interior del sensor) la fuerza magnética del imán hará que se encienda, a medida que la bola del flotador se comienza a alejarse se produce la pérdida de fuerza magnética, donde el interruptor de láminas procederá a apagarse, es ampliamente utilizado en control de nivel de aceite, agua, diésel y otros líquidos químicos (figura 1.15).



Figura 1. 15. Sensor tipo Flotador Magnético

Fuente: [13]

1.13.2. Sensores de contacto

Los sensores de contacto son los dispositivos más simples de todos los sensores que podemos encontrarnos, ya que son interruptores que se activan o desactivan si se encuentran en contacto con un objeto, por lo que de esta manera se reconoce la presencia de un objeto en un determinado lugar.

Existen diferentes tipos de sensores de contactos que se clasifican en dos grandes grupos como son:

a. Sensores de contacto tipo pulsador

Estos sensores son microinterruptores que se componen de un botón el cual cumple con la función de cuando al ser pulsado cierra el interruptor interno indicando que se ha cambiado de estado, la ventaja de este tipo de sensor es de bajo coste y son recomendados en sistemas de precisión (figura 1.16).

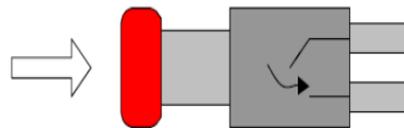


Figura 1. 16. Sensores de contacto tipo pulsador

Fuente: [14]

b. Sensores de contacto de final de carrera

El final de carrera (figura 1.17), también conocido como "interruptor de límite") o limit swicht, son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido de un elemento móvil, como por ejemplo una cinta transportadora, cumplen con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito. Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA), cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados. Están compuestos por dos partes: un cuerpo donde se encuentran los contactos y una cabeza que detecta el movimiento.

Se emplea en forma general, en todas las máquinas que tengan un movimiento rectilíneo de ida y vuelta o sigan una trayectoria fija, es decir, aquellas que realicen una carrera o recorrido fijo, como por ejemplo ascensores, montacargas, robots, etc.



Figura 1. 17. Sensores de contacto final de carrera

Fuente: [14]

1.14. Equipos de programación industrial

La programación de sistemas de control industrial es utilizada para los procesos de automatización la cual es realizada en forma sencilla pero de alta precisión de control. Los paneles HMI Basic Panels es un elemento optimizado para mejorar su rendimiento en distintos procesos industriales, y su diseño los hace perfectamente compatibles con el nuevo controlador y el sistema de ingeniería completamente integrado. Esto acelera el arranque, optimiza la monitorización y ofrece la máxima comodidad para el usuario.

La eficaz interacción de estos dispositivos y sus innovadoras funciones imprimen a los sistemas de automatización de la línea “mini” una eficiencia desconocida hasta ahora.

1.14.1. El controlador

Un controlador lógico programable(PLC) puede ser modular, compacto y de aplicación versátil, una inversión segura e idónea para una completa gama de aplicaciones, es un dispositivo operado digitalmente, que usa una memoria para el almacenamiento interno de instrucciones con el fin de implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas, para controlar a través de

entradas/salidas digitales o analógicas, varios tipos de máquinas o procesos tecnológicos para dar soluciones completas de automatizaciones.

Los módulos de entradas y salidas son la sección del PLC en donde sensores y actuadores son conectados y a través de los cuales el PLC monitorea y controla el proceso. La fuente de alimentación convierte altos voltajes de corriente de línea (115V 230V CA) a bajos voltajes (5V, 15V, 24V CD) requeridos por el CPU y los módulos de entradas y salidas (figura 1.18).



Figura 1. 18. Controlador Lógico Programable

Fuente: [15]

1.14.2. El software

El sistema de ingeniería completamente integrado está orientado a los procesos, es inteligente y fáciles de usar para una configuración eficiente y segura de los controladores y de los paneles se basa en un marco común de ingeniería para la configuración de componentes de hardware y red. La funcionalidad de este sistema inteligente es el elemento central que otorga una gran potencia a la interacción de controlador y HMI como se indica en la (figura 1.19).

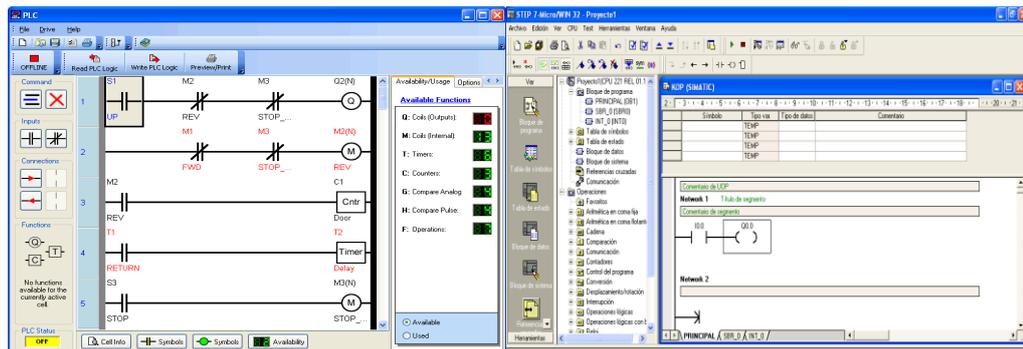


Figura 1. 19. Software de programación PLC

Fuente: [16]

1.14.3. Los paneles

Los paneles de visualización permiten mejorar los procesos de máquinas e instalaciones simples en cualquier aplicación industrial. Gracias a los paneles que ofrecen la funcionalidad HMI y mediante sus funciones básicas abren nuevas posibilidades para un alto rendimiento en aplicaciones de automatización.

Los paneles HMI disponen de pantallas para diferentes gráficos con una alta resolución de contraste y botones táctiles de función la cual permite la conectividad de red y la comunicación de la misma, todas estas propiedades hacen ideales para cualquier tipo de aplicación en el campo industrial como se indica en la (figura 1.20).



Figura 1. 20. Panels HMI

Fuente: [17]

1.15. Materiales

1.15.1. Acero ASTM A36

Este tipo de acero tiene buenas características de forja, y soldabilidad el cual es un acero estructural al carbono. Es útil en aplicación para construcciones de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, herrajes eléctricos y señalización, se comercializa en una amplia variedad de formas que incluyen: planchas, perfiles estructurales, tubos y láminas, como se indica en la (figura 1.21).



Figura 1. 21. Acero ASTM

Fuente: [18]

1.15.2. AISI-SAE 1018

Este acero es de bajo-medio carbono que tiene buena soldabilidad y ligeramente alta maquinabilidad con respecto hacia los aceros con grados menores de carbono. Se representa en condición de acabado en frío debido a su alta tenacidad y baja resistencia mecánica que es utilizado para componentes de maquinaria, es apto para usos típicos de pines, remaches, rodillos, piñones, pasadores, tornillos y aplicaciones de lámina. A continuación se aprecia en la (figura 1.22) su apariencia física.



Figura 1. 22. Ejes

Fuente: [19]

1.15.3. Acero inoxidable

Los Aceros Inoxidables son una gama de aleaciones que contienen un mínimo del 11% de Cromo. El Cromo forma en la superficie del acero una parte pasivante, extremadamente delgada, continua y estable. Esta parte deja la superficie inerte a las reacciones químicas, donde genera una alta resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables.

Los aceros inoxidables tienen una resistencia a la corrosión natural que se forma automáticamente, es decir no se adiciona. Tienen una gran resistencia mecánica, de al menos dos veces la del acero al carbono, son resistentes a temperaturas elevadas, son fáciles de transformar en gran variedad de productos y tiene una apariencia estética, que puede variarse sometiendo el acero a diferentes tratamientos superficiales para obtener acabado a espejo, coloreado, texturizado, etc. (figura 1.23).



Figura 1. 23. Acero Inoxidable

Fuente: [20]

1.15.4. Bronce fosfórico

El bronce es una aleación de cobre y estaño en proporción del 80% del primero y 20% del segundo y también del 95% y 5% respectivamente como se indica en la (figura 1.24). La aleación del estaño trasmite al cobre la resistencia y dureza, el cual dispone de buenas cualidades de antifricción y capacidad de carga que lo hacen para una amplia gama de aplicaciones en máquinas, herramientas, motores eléctricos y en transmisiones en general.

Este tipo de bronce es muy recomendado para aplicaciones en velocidades medias.



Figura 1. 24. Bronce Fosfórico

Fuente: [21]

1.16. Sistema de transmisión de potencia

Los sistemas de transmisión tienen como objetivo llevar, a los distintos elementos de una máquina la potencia y el movimiento producidos por un dispositivo motriz (motor) de manera que la máquina pueda funcionar y cumplir la finalidad para la que fue construida. Los sistemas más utilizados para el movimiento de un mecanismo son los tornillos de potencia.

1.16.1. Tornillos de potencia

Los husillos o roscas de potencia se utilizan para transformar un movimiento de rotación en un movimiento lineal con el objeto de transmitir fuerza o potencia, como por ejemplo en husillos de avance de fresadoras, prensas elementos de elevación, entre otros.

La transmisión por husillo funciona igual que un tornillo y una tuerca pero en este proceso a la tuerca se le impide el movimiento de rotación, de manera que al girar el tornillo obliga a la tuerca a desplazarse sobre el eje longitudinal como se puede observar en la (figura 1.25).

Entonces un husillo no es más que un tornillo largo, dotado por un tipo de roscado según el uso que se le quiera realizar.

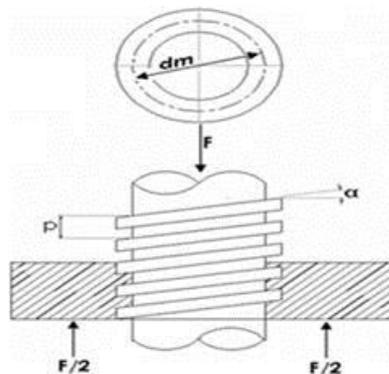


Figura 1. 25. Tornillo de transmisión

Fuente: [22]

Existen diferentes tipos de tornillos que se clasifican según el tipo de rosca.

a. Triangulares

Son las roscas que son utilizadas en los tornillos de fijación y empalme, los cuales generan grandes fuerzas y no deben aflojarse (figura 1.26).

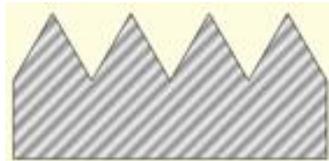


Figura 1. 26. Tornillo de rosca triangular

Fuente: [23]

b. Trapezoidales

Se pueden utilizar en elementos transmisores de movimiento con cierta precisión, los cuales soportan grandes esfuerzos en ambos sentidos (figura 1.27).



Figura 1. 27. Tornillo de rosca trapezoidal

Fuente: [23]

c. Diente de sierra

Se utilizan cuando se presentan grandes presiones en un solo sentido del eje de la rosca. También se las denomina “roscas de artillería” (figura 1.28).

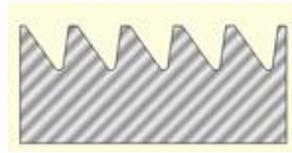


Figura 1. 28. Tornillo de rosca diente de sierra

Fuente: [23]

d. Redondas

Son utilizadas en elementos de unión que deban soportar choques y grandes desgastes. Su mecanización presenta dificultades por lo que su uso no está muy extendido (figura 1.29).

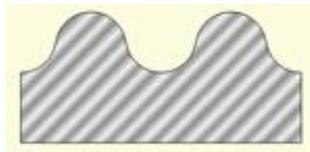


Figura 1. 29. Tornillo de rosca redonda

Fuente: [23]

e. Cuadrada

Es un tipo de rosca no normalizada, pero de uso muy extendido en lugar de la trapecial debido a su fácil fabricación, aunque no es capaz de soportar grandes esfuerzos (figura 1.30).

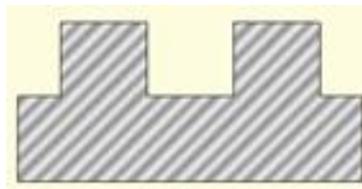


Figura 1. 30. Tornillo de rosca cuadrada

Fuente: [23]

1.16.2. Bandas y poleas

a. Banda

Es un elemento de forma circular que cumple con la función de transmitir el movimiento giratorio de un eje a otro el cual no tiene movimiento propio su apariencia física se observa en la (figura 1.31). Las poleas comúnmente se sujetan en los extremos de los ejes y se comunican entre sí mediante unas cintas flexibles conocidas como bandas.

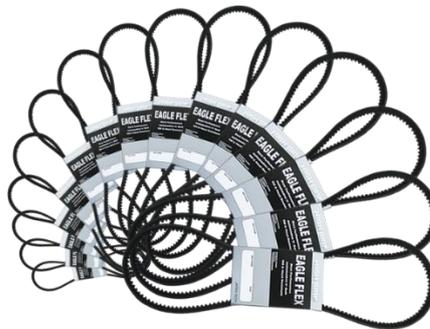


Figura 1. 31. Tornillo de rosca cuadrada

Fuente: [24]

b. poleas

El objetivo del sistema de poleas es la de transmitir una fuerza, son ruedas que en su borde exterior es de forma acanalada que sirve para facilitar el contacto con cuerdas o correas, se usa como elemento de transmisión para cambiar la dirección del movimiento en máquinas y mecanismos.

En toda polea se distinguen tres partes: cuerpo, cubo y garganta.

El cuerpo es el elemento que se acopla el cubo con la garganta. Pero en algunos tipos de poleas está conformado por radios o aspas para de esta manera reducir el peso y facilitar la ventilación de las máquinas en las que se instalan.

El cubo es la parte central que comprende el agujero, este permite aumentar el espesor de la polea para aumentar su estabilidad sobre el eje.

La garganta o también llamado canal es la parte que entra en contacto con la cuerda o la correa y está principalmente diseñada para conseguir el mayor agarre que sea posible. La parte más profunda recibe el nombre de llanta y puede adoptar diferentes formas (plana, semicircular, triangular) pero la más empleada es la trapezoidal (figura 1.32).

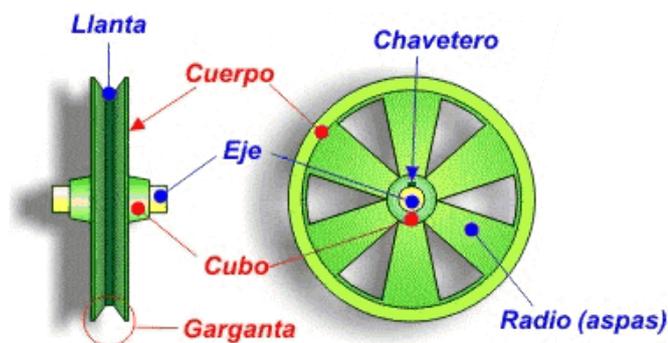


Figura 1. 32. Partes de una Polea

Fuente: [25]

1.16.3. Sistema de guías

El sistema de guiado son elementos importantes en la construcción de una máquina, ya que afecta directamente a la precisión del movimiento, se denomina a los ejes guías y a los sistemas de guiado.

Estos deben ser:

- Resistentes al desgaste.
- Rigidez y amortiguamiento.
- Precisas.

a. Sistemas de guiado por bocines

Este sistema de guiado consiste en un elemento mecánico de forma cilíndrica y con un orificio el cual se coloca en la parte externa de otro elemento que gira como es el de un eje, comúnmente estos elementos trabajan realizando un esfuerzo en las máquinas de esta manera evitan el desgaste frecuente de elementos más cotosos, en la mayoría de máquinas herramientas su construcción se lo realiza en material de bronce y hierro fundido los cuales son utilizados por su bajo nivel de fricción la apariencia de estos se observa en la (figura 1.33).



Figura 1. 33. Bocines

Fuente: [26]

b. Sistema de guiado por rodamientos radiales

Son piezas económicas y de bajo coste de acuerdo a sus reducidas dimensiones, son de larga duración de uso y soportan cargas que se encuentran, principalmente en dirección perpendicular al eje. Tienen una amplia gama de escala con medidas y múltiples realizaciones de discos con protección de una y de dos lados (junta sin fricción) o arandelas (juntas con fricción) este tipo de rodamientos es ideal para las aplicaciones más diversas.

En funcionamiento los rodamientos radiales se encuentran llenos de grasa y sellados en ambos lados los cuales no necesitan mantenimiento y garantizan un funcionamiento continuo sin fallas, el cual facilita la absorción

de cargas radiales y axiales en cada dirección incluso con altos números de revoluciones (figura 1.34).



Figura 1. 34. Rodamientos Radiales

Fuente: [27]

c. Sistema de guiado por rodamientos axiales

Los rodamientos axiales de bolas son aquellos que están diseñados para resistir cargas elevadas en la misma dirección del eje, están disponibles como rodamientos de simple efecto y de doble efecto.

Los de simple efecto son apropiados para absorber cargas axiales y fijar el eje en un solo sentido, y los de doble efecto son adecuados de igual manera para absorber cargas axiales el cual fija al eje en ambos sentidos sin embargo estos no pueden soportar cargas radiales. Constan de tres elementos separables: Un aro superior, un aro inferior y un elemento rodante con algún tipo de canastillo, para seleccionar este tipo de rodamiento solo se considera el diámetro del tornillo de potencia del eje z y el tipo de movimiento que va a realizar (figura 1.35).



Figura 1. 35. Rodamientos axiales

Fuente: [28]

d. Chumaceras

La chumacera es una combinación de un rodamiento radial de bolas, sello, con un recubrimiento de hierro colado de alto grado ó de acero prensado, suministrado de varias formas. La superficie exterior del rodamiento y la superficie interior del alojamiento son esféricas, para que el mecanismo sea auto-alineable, su apariencia se observa en la (figura 1.36).



Figura 1. 36. Chumaceras

Fuente: [29]

Existen diferentes tipos de chumaceras:

- Chumaceras tipo puente.
- Chumaceras tipo brida.

- Chumaceras tensoras.
- Chumaceras especiales.
- Chumaceras tipo colgador.

1.17. Accesorios hidráulicos

1.17.1. Tubería PVC

Son conductos que cumplen la función de trasladar agua u otro tipo de fluido como se visualiza en la (figura 1.37). Las tuberías son elaboradas en diferentes materiales, que suelen ser de hierro fundido, latón, cobre, plomo, hormigón, polipropileno, PVC, polietileno de alta densidad, etc.



Figura 1. 37. Tubería PVC

Fuente: [30]

CAPÍTULO II

2. DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE VACIADO DE BARBOTINA

2.1. Descripción de la máquina

Para la elaboración del diseño mecánico (figura 2.1) se debe considerar el tamaño de los moldes de yeso los cuales son utilizados para el proceso del vaciado de barbotina en la empresa Cerámica Novel. Cabe recordar que en el país no existe ninguna máquina automática con la que se pueda procesar el vaciado de barbotina debido a su alto costo.

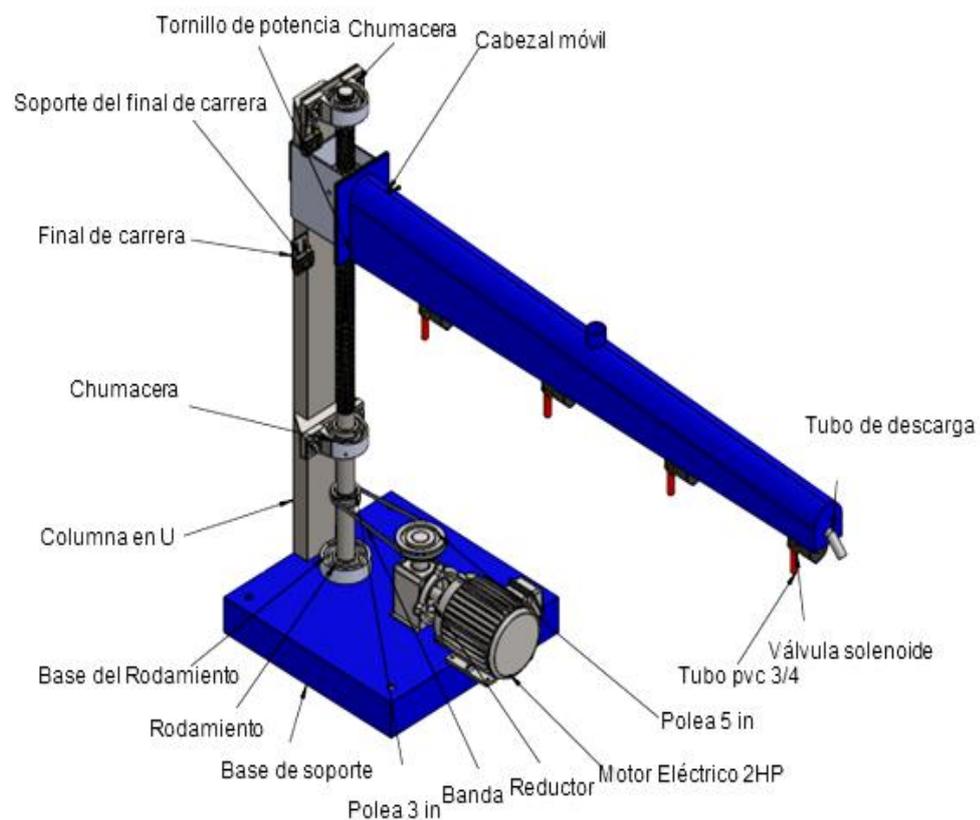


Figura 2. 1. Sistema de vaciado

2.2. Parámetros de diseño

Para realizar el diseño de la máquina a ser construida se toma como referencia las dimensiones de la mesa donde se encuentran ubicadas los moldes de yeso (figura 2.2), que posteriormente serán utilizadas para diseñar su estructura acorde a las necesidades de la empresa.

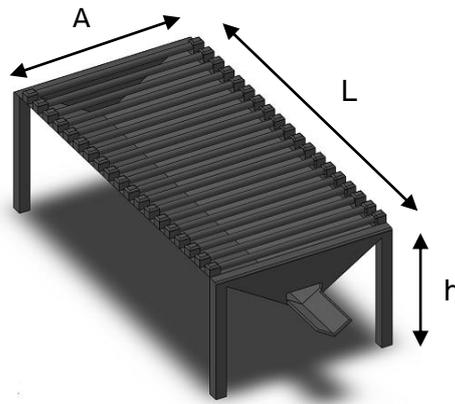


Figura 2. 2. Mesa para moldes

Dimensiones:

$$L=2,2 \text{ [m]}$$

$$A=1,06 \text{ [m]}$$

$$h=1 \text{ [m]}$$

$$\text{Volumen}= 0,015 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\text{Tiempo: } 10,57 \text{ [s]}$$

Capacidad=4 moldes para la elaboración de dispensadores de agua

Caudal en cada molde:

Donde:

$$Q=\text{Caudal [m}^3\text{]}$$

$$V=\text{Volumen [m}^3\text{]}$$

$$t= \text{Tiempo [s]}$$

$$Q = \frac{V}{t} \quad [\text{Ec.2.1}]$$

$$Q = \frac{0,015 \text{ m}^3}{10.57 \text{ s}}$$

$$Q = 1,41 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 1,41 \times 10^{-3} [\text{m}^3]$$

2.2.1. Factor de seguridad

El factor de seguridad utilizado en estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas mediante propiedades del material y análisis de esfuerzos o del ambiente se utiliza:

$$F.S=3$$

2.3. Diseño mecánico

Para realizar el diseño mecánico del sistema de vaciado de barbotina se analizará el elemento más crítico, el cual soportará la carga máxima a la que va a ser sometida.

La base de soporte de la máquina es el elemento de mayor interés a ser analizado, por lo tanto se lo va a justificar mediante el diseño analítico y software de simulación el cual se lo detalla a continuación:

2.3.1. Diseño y dimensionamiento de la base de soporte

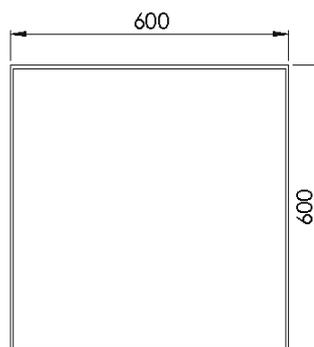


Figura 2. 3. Dimensiones de la base de soporte

Para el diseño de la base de soporte se realizará el dimensionamiento de la estructura (figura 2.3) para lo cual se hará el análisis correspondiente, tomando en cuenta las fuerzas que ejercerá el cabezal móvil, los accesorios, el peso del motor, el peso del reductor y la fuerza de transmisión que ejerce el tornillo de potencia mediante su movimiento

Entonces para el diseño de la base de soporte se deberá diseñar el tipo de plancha de acero con la cual va a ser elaborada la estructura.

Para la construcción de las planchas con la cual se va a elaborar la estructura se utilizará el acero ASTM A-36, el cual es el más usado para la fabricación de estructuras metálicas y otros elementos mecánicos. Las propiedades mecánicas del acero se observa en la Tabla 2.1.

Tabla 2. 1.

Propiedades mecánicas del acero ASTM A-36.

Unidades	MPa	kg/mm ²	Kpsi
S_y	250	25.36	36
S_{ut}	400	64.34	42

Fuente: [31]

Con el material establecido en la tabla 2.1 se procede a diseñar la base de soporte principal de la máquina.

2.3.2. Diseño y selección de la placa para la base de soporte

Para el diseño y el cálculo de la placa se considerarán como si fuese vigas de sección constante y algunas consideraciones que serán indispensables al idealizar el problema que se tenga en proceso.

Para el cálculo de la placa se tomará en cuenta el peso propio de cada uno de los componentes de la máquina.

Cálculo del peso de los componentes de la máquina

Para el cálculo de la masa se tiene la siguiente ecuación:

$$m = \rho * V \quad [\text{Ec.2.2}]$$

Donde:

ρ = Densidad del acero: $[7.85 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^2]$

V = Volumen del componente $[\text{m}^3]$

m = Masa del componente $[\text{kg}]$

Cálculo del peso de la placa

Para proceder a determinar el volumen de las placas se toma la siguiente ecuación.

$$V = e * b * L \quad [\text{Ec.2.3}]$$

Donde:

e = Espesor de la placa $[\text{m}]$

b = Ancho de la placa $[\text{m}]$

L = Longitud de la placa $[\text{m}]$

Entonces se tiene la ecuación de la masa:

$$m = \rho * e * b * l \quad [\text{Ec.2.4}]$$

Analizando la ecuación de la masa cabe recordar que en la base de soporte va a estar sometido al peso del tornillo de potencia, por lo que se procede a calcular el peso del mismo.

Cálculo del peso del tornillo de potencia

Se analiza la ecuación del volumen de un cilindro para determinar el volumen del mismo.

$$V = \pi * \frac{d^2}{4} * L \quad [\text{Ec.2.5}]$$

Donde:

d =Diámetro del tornillo [m]

L =Longitud del tornillo [m]

Entonces se tiene la masa del tornillo.

$$m = \rho * \pi * \frac{d^2}{4} * L \quad [\text{Ec.2.6}]$$

2.3.3. Diseño de la placa para la base de soporte

La placa de la base de soporte es la encargada de transmitir la fuerza que ejerce el tornillo de potencia, el cual está sujeto hacia las chumaceras, para que mediante el giro del motor-reductor junto con las poleas se produzca el movimiento del mismo en una forma adecuada para el ascenso y descenso del cabezal móvil. Como se puede observar en la (figura 2.4) la placa de soporte es de forma rectangular con agujeros pasantes para ser empotrada en el piso.

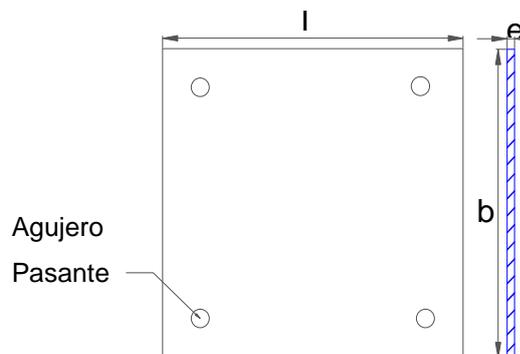


Figura 2. 4. Placa de la base de soporte

La carga que soportará la placa de la base de soporte es la proporcionada por el peso del tornillo de potencia, sumada a la carga máxima. El diagrama de fuerza de la placa se observa en la figura 2.5.

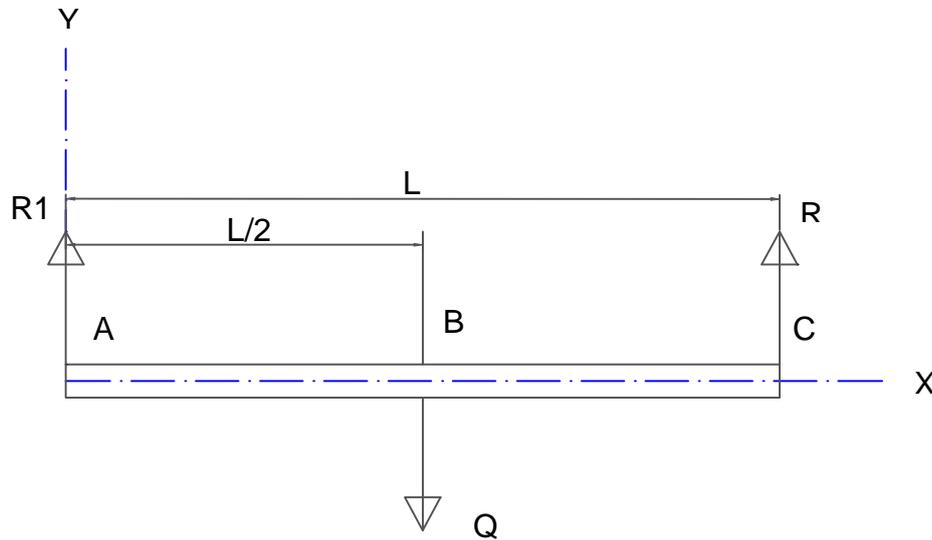


Figura 2. 5. Diagrama de cargas ejercidas en la placa de la base de soporte

Realizando las sumatorias de fuerzas se tiene las siguientes ecuaciones:

$$\sum F_y = 0$$

$$R_1 + R_2 = Q$$

$$R_1 = R_2 = \frac{Q}{2} \quad [\text{Ec.2.7}]$$

Una vez definidas cada una de las fuerzas que actúan sobre la placa de la base de soporte, se procede a calcular la fuerza cortante y el momento flector máximo.

$$V_{AB} = R_1; V_{BC} = -R_2 \quad [\text{Ec.2.8}]$$

$$M_{AB} = \frac{Q \cdot x}{2}; M_{BC} = \frac{Q}{2} \cdot (L - 2) \quad [\text{Ec.2.9}]$$

Entonces se procede a construir los diagramas de los mismos.

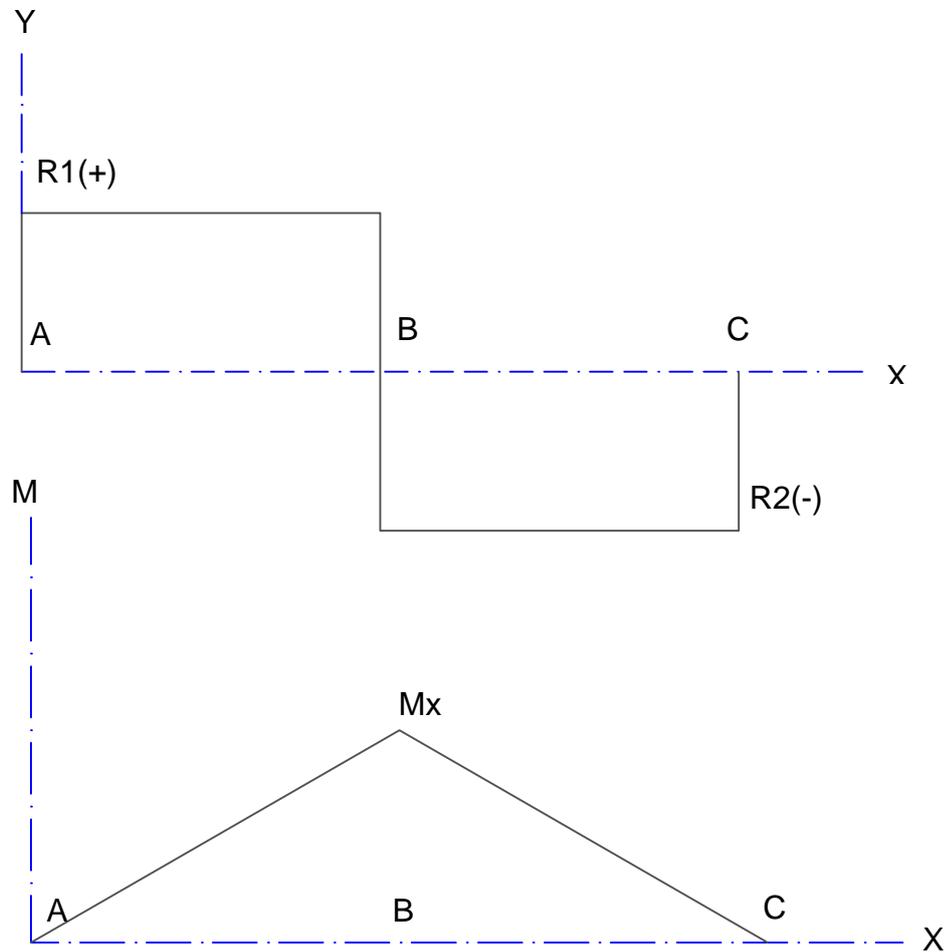


Figura 2. 6. Diagrama de fuerza cortante y del momento flector máximo de la placa de la base de soporte

Al analizar el esfuerzo normal de flexión que se encuentra ejercido en la placa, se obtiene que el esfuerzo en el eje x es:

$$\sigma_x = \frac{M_x \cdot c}{I} \quad [\text{Ec.2.10}]$$

Donde:

M_x = Momento flector máximo que se ejerce en el punto más crítico de la base de soporte [Nm]

c = Distancia de la capa neutral de la sección, hasta las capas externas de la placa [m]

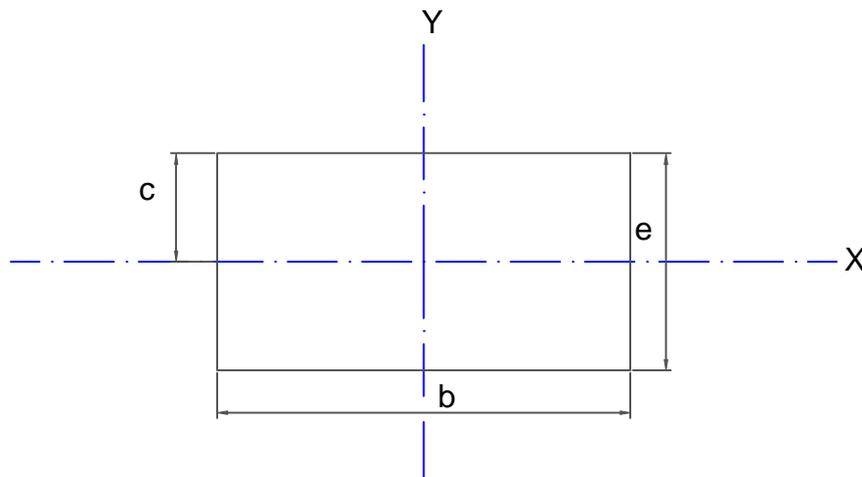


Figura 2. 7. Sección de la placa para la base de soporte

Como se puede observar en la figura 2.7 el valor de c se obtiene de la siguiente manera.

$$c = \frac{e}{2} \quad [\text{Ec.2.11}]$$

Donde:

e = Espesor de la placa [m]

Entonces se tiene que el momento de inercia de la sección, se calcula con la siguiente ecuación:

$$I = \frac{b \cdot e^3}{12} \quad [\text{Ec.2.12}]$$

Donde:

b =ancho de la placa [m]

Reemplazando las ecuaciones 2.11 y 2.12, en 2.10, se tiene:

$$\sigma_x = \frac{M_x \cdot \frac{e}{2}}{\frac{b \cdot e^3}{12}}$$

$$\sigma_x = 6 \cdot \frac{M_x}{b \cdot e^2} \quad [\text{Ec.2.13}]$$

Al no existir el esfuerzo en el eje Y, y al existir una flexión pura se considera al esfuerzo cortante como despreciable, entonces se tiene las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_y = 0 \quad \text{y} \quad \tau_{xy} = 0$$

Por lo tanto:

$$\sigma_1 = \sigma_x \quad ; \quad \sigma_2 = 0 \quad \text{y} \quad \sigma_3 = 0$$

Aplicando el esfuerzo de Von Mises:

$$\sigma' = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right] \quad [\text{Ec.2.14}]$$

$$\sigma' = \sigma_1$$

Para diseñar la placa se empleará las ecuaciones de la energía de la distorsión:

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

Entonces se tiene:

$$\sigma_1 = \frac{S_y}{n} \quad [\text{Ec.2.15}]$$

$$6 \frac{M_x}{be^2} = \frac{S_y}{n} \quad [\text{Ec.2.16}]$$

Despejando de la ecuación 2.16 el espesor de la placa es:

$$e = \sqrt{\frac{6M_x n}{S_y b}} \quad [\text{Ec.2.17}]$$

Determinadas todas las ecuaciones que se requiere, se procede a calcular la carga total Q, la cual estará sometida a la placa de la base de soporte.

Donde la carga Q se expresa con la siguiente ecuación:

$$Q = \text{Masa}_{\text{placa}} + \text{Masa}_{\text{cabezal}} + \text{Masa}_{\text{tornillo}} + \text{Masa}_{\text{motoreductor}} \quad [\text{Ec.2.18}]$$

Cálculo de la masa para la placa de la base de soporte

Las dimensiones de la placa para la base de soporte se detallan a continuación:

$$L=0,6 \text{ [m]}$$

$$b=0,6 \text{ [m]}$$

$$e=0,006 \text{ [m]}$$

Para el cálculo de la masa propia de la placa se utiliza la ecuación 2.4.

$$\text{Masa}_{\text{placa}} = \rho * b * e * L$$

$$\text{Masa}_{\text{placa}} = 7,85 \times 10^3 * 0,6 * 0,006 * 0,6 = 16,95 \text{ [kg]}$$

Cálculo de la masa total del cabezal móvil

Masa ejercida del cabezal móvil:

- Masa del cabezal móvil= 17,4 [Kg]

Masa ejercida por accesorios:

- Masa de la tubería PVC= 1,75 [Kg]
- Masa de las electroválvulas= 3,93 [Kg]
- Masa adicional= 75,77 [Kg]

$$\text{Masa total}_{\text{cabezal}} = \text{cabezal movil} + \text{accesorios}$$

$$\text{Masa total}_{\text{cabezal}} = 17,4 + 81,45 = 98,85 \text{ [kg]}$$

Cálculo de la masa del tornillo de potencia

Para determinar la masa aproximada del tornillo de potencia se utiliza la ecuación 2.6 del volumen de un cilindro, mediante esta ecuación se determina el volumen del mismo.

Entonces la ecuación para determinar la masa es:

$$m = \rho * \pi * \frac{d^2}{4} * L$$

Datos:

$$d=0,0445 \text{ [m]}$$

$$L=1,3 \text{ [m]}$$

$$\text{Masa}_{\text{tornillo}} = 7,85 \times 10^3 * \pi * \frac{0,0445^2}{4} * 1,3$$

$$\text{Masa}_{\text{tornillo}} = 15,87 \text{ [kg]}$$

Masa del motor

De la placa de características del motor trifásico de 2hp marca WEG, se tiene que la masa es de 27 kg.

$$\text{Masa}_{\text{motor}} = 1 * 27 = 27 \text{ [kg]}$$

Masa del reductor

$$\text{Masa}_{\text{reductor}} = 1 * 3 = 3 \text{ [kg]}$$

Entonces la carga máxima a la que va a ser sometida la placa para la base de soporte será:

$$Q = 16,95 + 98,85 + 15,87 + 27 + 3 = 161,67 \text{ [Kg]}$$

La carga máxima Q es de 161,67 [Kg] por lo que para realizar el análisis correspondiente lo aproximamos a 162 [Kg] = 1589,22[N].

Se procede a calcular el momento flector máximo a partir de los diagramas simplificados de la (figura 2.6) y de las ecuaciones 2.7 y 2.8.

$$R_1 = R_2 = \frac{Q}{2} = \frac{1589,22}{2} = 794,61[\text{N}]$$

$$V_{AB} = 794,61 [\text{N}] \quad ; \quad V_{AB} = -794,61 [\text{N}]$$

$$M_{AB} = \frac{Qx}{2}$$

- Cuando $x=0$

$$M = \frac{1589,22 * 0}{2} = 0 [\text{Nm}]$$

- Cuando $x=L/2=0,3$ [m]

$$M = \frac{1589,22 * 0,3}{2} = 238,38 [\text{Nm}]$$

$$M_{BC} = \frac{Qx}{2}(L - x)$$

- Cuando $x=L=0,6$ [m]

$$M = \frac{1589,22}{2}(0,6 - 0,6) = 0 [\text{Nm}]$$

Por lo tanto el momento flector máximo ocurre en el punto medio de la placa de la base de soporte y viene dado por:

$$M_x = \frac{Q*L}{4} \quad [\text{Ec.2.19}]$$

Donde:

M_x =Momento máximo en x [Nm]

Q =Fuerza aplicada [N]

L =Longitud de la placa [m]

$$M_x = \frac{1589,22 \text{ [N]} * 0,6 \text{ [m]}}{4} = 238,38 \text{ [Nm]}$$

$$M_x = 238,38 \text{ [Nm]}$$

Entonces se procede a calcular el espesor de la placa mediante la ecuación 2.17, con un factor de seguridad $n=3$.

$$e = \sqrt{\frac{6 * (M_x) * n}{S_y * b}}$$

$$e = \sqrt{\frac{6 * (238,38 \text{ Nm}) * (3)}{(2,48 \times 10^8 \text{ N/m}^2) * (0,6 \text{ m})}}$$

$$e = 5,36 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

Entonces por cuestión de diseño, para la placa de soporte principal se selecciona una plancha de acero A-36 con un espesor de 0,006 [m], que existe en el mercado, y se procede a determinar el factor de seguridad despejando de la ecuación 2.16.

$$n = \frac{b * e^2 * S_y}{6 * M_x}$$

$$n = \frac{(0,06^2 * 0,006 * 2,48 \times 10^8)}{6 * 238,38}$$

$$n = 3,74 \approx 4$$

Determinado el espesor y el tipo de plancha con la cual se va a elaborar la estructura, se procede a verificar los esfuerzos estáticos en la estructura de la base de soporte principal.

a. Análisis de esfuerzos de la base de soporte en el software de simulación

El estudio estático se lo realizó para asemejarnos a la realidad de la pieza base debido a la complejidad de su geometría, el cual se lo realizó en el software de simulación para indicar si es capaz de soportar la fuerza a la que va hacer sometida.

Se tomó en cuenta un factor de seguridad de 3 el cual facilitará el cálculo del esfuerzo de diseño que se detalla a continuación con la siguiente ecuación.

$$\sigma' < \sigma_d = \frac{S_y}{N} \quad [\text{Ec.2.20}]$$

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N}$$

σ_d = Esfuerzo de diseño [Mpa]

S_y = Resistencia a la flexión =400 [MPa]

N = Factor de seguridad= 3

$$\sigma_d = \frac{400 \text{ MPa}}{3}$$

$$\sigma_d = 133,33 \text{ MPa}$$

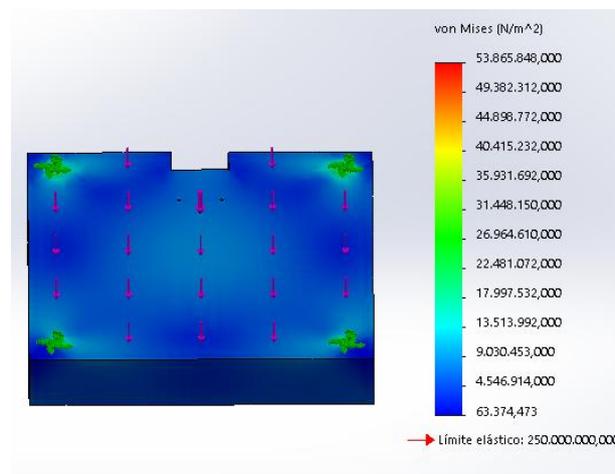


Figura 2. 8. Tensión de Von Mises en la base de soporte

En la figura 2.8 se observa la magnitud física proporcional a la energía de distorsión donde el esfuerzo máximo es de 53 MPa y el esfuerzo de diseño es de 83 MPa por ende cumple con la ecuación 2.20.

$$\sigma' < \sigma_d$$

$$53 < 133,33$$

En la figura 2.9 se puede observar la deformación que sufre la pieza base al aplicarle una fuerza, la zona de color rojo indica donde será la mayor deformación en este caso es muy baja ($0.377\text{mm}=0,000377\text{m}$), por lo que se concluye que su deformación es despreciable lo cual no afectará el proceso para la cual fue diseñada.

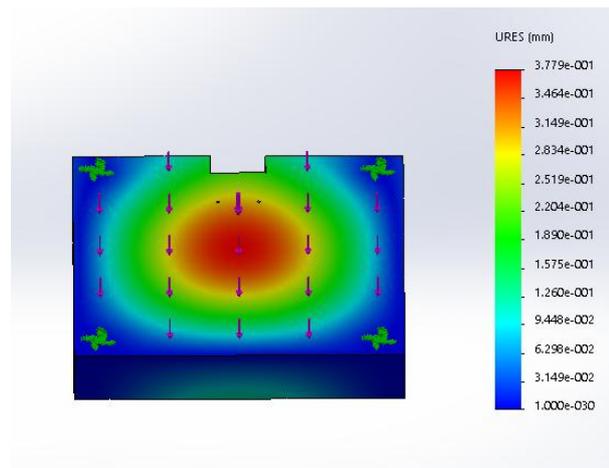


Figura 2. 9. Deslizamiento estático de la base de soporte

Para el sistema automático del vaciado de barbotina, el cabezal móvil debe desplazarse a través del eje Z, para lo cual se debe diseñar una base, que permita ejecutar el movimiento a lo largo del eje, para lo cual se procede a diseñar un sistema automático que permita realizar el vaciado en cada uno de los moldes de yeso que se encuentran en los compartimentos de la mesa.

Para ello se necesita un movimiento del cabezal móvil a lo largo del eje Z, este movimiento se representan en la (figura 10).

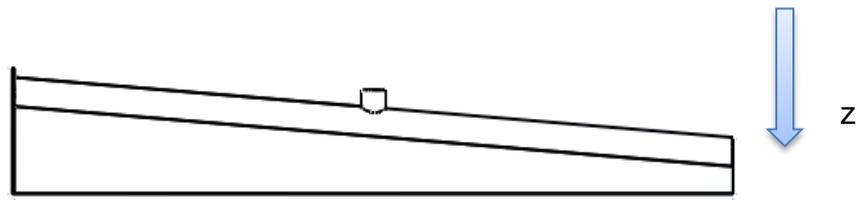


Figura 2. 10. Sistema de coordenadas en eje Z

Para el avance en la dirección del eje Z, se acoplan sistemas de transmisión de potencia, sensores, inyectores, etc. Esto permitirá que el proceso de vaciado de barbotina sea automático.

2.3.4. Diseño del cabezal móvil

El cabezal móvil es la estructura en la cual va a contener todos los accesorios necesarios para la dosificación de la barbotina. Las dimensiones de la estructura dependen de la bandeja para dosificar en los moldes de yeso como se muestra en la (figura 2.11). El cabezal móvil se posiciona perpendicularmente al eje X, es necesario que el cabezal se desplace en sentido vertical para la dosificación de la barbotina.

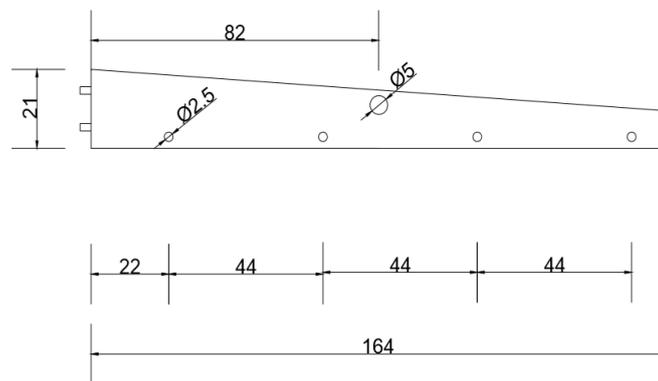


Figura 2. 11. Dimensiones del cabezal móvil

a. Determinación de las cargas

Para el análisis de las fuerzas en la base, se toma en masa de los accesorios hidráulicos que se detalla a continuación:

Masa ejercida por accesorios:

- Masa tuberías PVC =1,75 Kg
- Masa válvulas solenoides =3,93 Kg
- Masa adicional=75,77 Kg (Implementación de barbotina)

M2= (tuberías PVC + válvulas solenoides + masa adicional)

$$M2 = 1,75 \text{ Kg} + 3,93 \text{ Kg} + 75,77 \text{ Kg}$$

$$M2 = 81,45 \text{ [Kg]}$$

La masa total que se tiene se basa en las dimensiones especificadas en la figura 2.11 por lo cual se tiene como resultado:

Masa de la estructura móvil=17,4 Kg

Masa total=masa de la estructura móvil + masa de los accesorios

$$\text{Masa total} = 17,4 \text{ Kg} + 81,45 \text{ Kg}$$

$$\text{Masa total} = 98,85 \text{ [Kg]}$$

a. Análisis de esfuerzos del cabezal móvil

Para el cálculo de esfuerzo de diseño del cabezal móvil se tomó en cuenta un factor de seguridad de 3, que se resolverá con la ecuación 2.20.

$$\sigma' < \sigma_d = \frac{S_y}{N}$$

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N}$$

σ_d = Esfuerzo de diseño

S_y = Resistencia a la flexión =460 [MPa] (ANEXO-A1)

N = Factor de seguridad= 3

$$\sigma_d = \frac{460 \text{ MPa}}{3}$$

$$\sigma_d = 153,3 \text{ [MPa]}$$

El estudio estático de la (figura 2.12) se puede observar que la zona más afectada del cabezal móvil es en el extremo inferior, donde se dirigirá la barbotina. El mayor esfuerzo de von Mises presente en el elemento de estudio es de 2 MPa por lo tanto se encuentra en los rangos permitidos para el diseño ya que cumple con la ecuación que se estableció con anterioridad.

$$2 \text{ MPa} < 153,3 \text{ MPa}$$

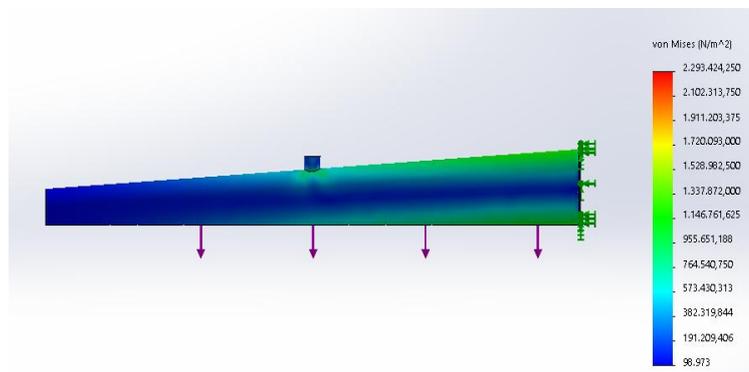


Figura 2. 12. Tensión de Von Mises en el cabezal móvil

En la (figura 2.13) se realizó el análisis estático para determinar la deformación ocasionada por el material que soportará la estructura metálica.

La mayor deformación se produce en el extremo del cabezal móvil de (0.14 mm=0,00014m) la cual es despreciable ya que no afectará a la misma.

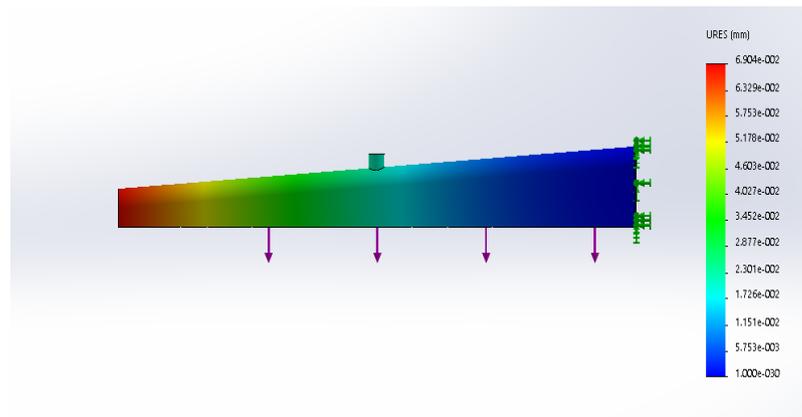


Figura 2. 13. Deslizamiento estático en el cabezal móvil

2.3.5. Diseño de la columna en U

Para el diseño del elemento se toma en consideración como una columna que ira fija en la parte inferior, además el material que se utiliza para el diseño es el acero ASTM A 36 (columna en U), sus propiedades mecánicas se lo detalló en la tabla 2.1.

La fuerza a aplicarse para el diseño de la columna es la sumatoria del cabezal móvil más los accesorios como se lo detalló en el numeral (2.3.4), literal (a).

La columna en U es el soporte al cual va a estar sujeta la estructura del cabezal móvil, las dimensiones depende de las medidas de la estructura a desplazarse de un punto a otro para su dosificación (figura 2.14).

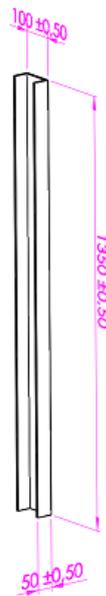


Figura 2. 14. Dimensionamiento de la columna en U

Cálculo del radio de giro de la columna en U

Mediante la ecuación 2.21 se procede a determinar el radio de giro de la columna.

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad [\text{Ec.2.21}]$$

Donde:

A= Área de la sección transversal [m²]

I= Momento de inercia de la sección transversal [m⁴]

En el (ANEXO A-2) se detalla el momento de inercia y el área de la columna en U, los cuales serán los parámetros necesarios para calcular el radio de giro.

Entonces:

$$k = \sqrt{\frac{1.55 \times 10^{-6} \text{ [m}^4\text{]}}{0,00135 \text{ [m}^2\text{]}}}$$

$$k = 0.03 \text{ [m]}$$

Cálculo del esfuerzo normal máximo

Para determinar el esfuerzo normal máximo se toma en cuenta la masa total a la que va a estar sometida la columna.

Entonces:

$$\text{Masa total} = 98,85 \text{ [Kg]} = 969,71 \text{ [N]}$$

Mediante la ecuación 2.22 se procede a determinar el valor de σ_{max} .

$$\sigma_{max} = \frac{P}{A} \left(1 + \frac{ec}{k^2} \sec \left(\frac{l}{2k} \sqrt{\frac{P}{EA}} \right) \right) \quad [\text{Ec.2.22}]$$

Donde:

P= Fuerza [N]

A=Área de la sección transversal [m²]

K= Radio de giro [m]

ec/k²= Relación de excentricidad (ANEXO A-3)

E= Módulo de elasticidad Acero ASTM A 36 [Pa]

$$\sigma_{max} = \frac{969,71 \text{ N}}{0,00135 \text{ m}^2} \left(1 + (1) \sec \left(\frac{1.35 \text{ m}}{2(0.03 \text{ m})} \sqrt{\frac{969,71 \text{ N}}{(0,00135 \text{ m}^2)(210 \times 10^9 \text{ Pa})}} \right) \right)$$

$$\sigma_{max} = 1.43 \text{ MPa}$$

El esfuerzo máximo calculado de la columna en U es 1.43MPa, por ende se llega a la conclusión de seleccionar el material de acero ASTM A36.

a. Análisis de esfuerzos de la columna en U

El análisis de la columna se lo efectuó mediante el software de simulación (figura 2.15), donde se puede observar el esfuerzo máximo que es de 4,5 MPa y el esfuerzo de diseño de 133,33 MPa por lo tanto cumple con la ecuación 2.20.

$$\sigma' < \sigma_d = \frac{S_y}{N}$$

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N}$$

σ_d = Esfuerzo de diseño

S_y = Resistencia a la flexión =400 [MPa]

N = Factor de seguridad= 3

$$\sigma_d = \frac{400 \text{ MPa}}{3}$$

$$\sigma_d = 133,33 \text{ [MPa]}$$

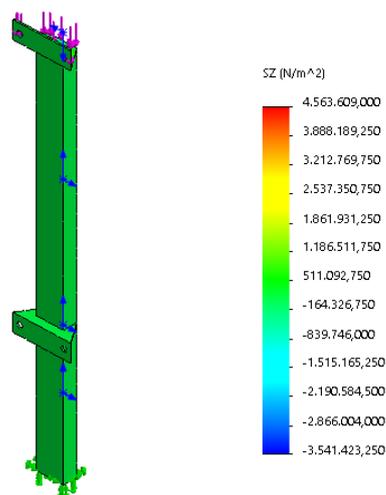


Figura 2. 15. Esfuerzo máximo de la columna en U

En la figura 2.16 se puede observar el análisis de la deformación dimensional de la columna, donde no existen desplazamientos considerables

por la presencia de cargas a las que se encuentra el elemento de estudio ya que el desplazamiento máximo es de (0.9mm=0,0009m).

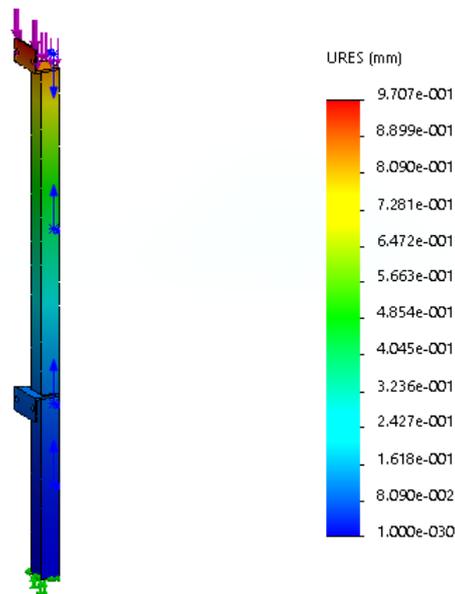


Figura 2. 16. Deslizamiento estático de la columna en U

2.4. Diseño y selección de los pernos de anclaje

Para el diseño y selección de los pernos de anclaje se analiza que existe una precarga hacia el perno de sujeción, este elemento tiende a desarrollar una fracción de par de torsión el cual incrementa el esfuerzo de tensión, sin embargo el par de torsión se mantiene solamente por la fricción de la cabeza del perno con la tuerca, tomando en cuenta que a medida del tiempo tendrá a disminuir la tensión en el perno.

a. Cálculo de la precarga del perno

El propósito de un perno es sujetar dos o más partes, en donde la carga de sujeción produce un estiramiento del perno, esta carga se obtiene haciendo girar la tuerca hasta que el perno se alargue casi hasta su límite elástico, si la

tuerca no se afloja, la tensión en el perno permanece como la fuerza de precarga o de sujeción.

Entonces para calcular la precarga del perno se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$F_i = S_p A_t - C n P \quad [\text{Ec.2.23}]$$

Donde:

F_i = Precarga existente en el perno [N]

A_t = Área de esfuerzo de la tensión [m^2]

C = Relación de rigidez [adimensional]

n = Factor de carga [adimensional]

$P=Q$ = Carga total aplicar [N]

S_p = Resistencia de prueba [Pa]

De la ecuación 2.23 se deduce a la siguiente expresión:

$$F_i = 0,9 A_t S_p \quad [\text{Ec.2.24}]$$

Sabiendo que:

S_p = Resistencia de prueba mínima [Pa]

De la ecuación 2.23 procedemos a despejar n que es el factor de carga.

Entonces:

$$n = \frac{S_p A_t - F_i}{C P} \quad [\text{Ec.2.25}]$$

b. Cálculo de la relación de rigidez

Para determinar la relación de rigidez se aplica la siguiente ecuación matemática:

$$C = \frac{k_b}{k_m + k_b} \quad [\text{Ec.2.26}]$$

Donde:

C = Relación de rigidez [adimensional]

k_b = Constante de rigidez del perno [Pa]

k_m = Constante de los elementos sujetos [N/m]

Entonces para determinar la constante de rigidez el perno se aplica la siguiente ecuación:

$$k_b = \frac{AE}{l} \quad [\text{Ec.2.27}]$$

Para la constante de los elementos sujetos se debe resolver por separado para cada tronco de la unión, entonces para determinar se le aplica la siguiente ecuación:

$$k = \frac{0,5774\pi Ed}{\ln \frac{(1,155t+D-d)(D+d)}{1,155t+D+d)(D-d)}} \quad [\text{Ec.2.28}]$$

Después las rigideces individuales se ensamblan para obtener k_m mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \dots + \frac{1}{k_i} \quad [\text{Ec.2.29}]$$

2.4.1. Selección de los pernos de anclaje

Para el soporte de las placas se utilizarán cuatro pernos de sujeción debido a las cargas que se aplican, por esta razón se va a realizar un cálculo para determinar la correcta selección del perno en el punto más crítico el cual va a soportar esta carga.

Para el cálculo a desarrollar se va aplicar la teoría de uniones (rigidez del sujetador).



Figura 2. 17. Placa base de soporte con perno de sujeción

Fuente: [32]

Para realizar el diseño de los pernos la longitud de trabajo que tendrá será de $l = 200\text{mm}$, y el peso máximo que soportará es de $Q = 162\text{Kg} = 1589,22\text{ N} = 357,27\text{ lbf}$, además el tipo de pernos son SAE de grado 5 cuyas propiedades mecánicas se detallan en el (ANEXO A-4) y son las siguientes:

$$S_p = 85\text{ kpsi} = 586054,36 \times 10^3 [\text{Pa}] \text{ (Resistencia de prueba mínima)}$$

$$S_{ut} = 120\text{ kpsi} = 827370,87 \times 10^3 [\text{Pa}] \text{ (Resistencia mínima de tensión)}$$

$$S_y = 92\text{ kpsi} = 634317,67 \times 10^3 [\text{Pa}] \text{ (Resistencia mínima a la fluencia)}$$

Esta precarga existe entre la conexión del perno con la tuerca, después de que la tuerca se aprieta de forma correcta sin importar si se somete o no la fuerza externa de tensión Q , por lo cual la precarga está dada por la ecuación 2.23.

$$F_i = S_p A_t - C_n Q$$

De la ecuación 2.23 se deduce la siguiente ecuación 2.24

$$F_i = 0,9 A_t S_p$$

Entonces el valor de $A_t = 0,256 \text{ [in}^2] = 165,16 \times 10^{-6} \text{ [m}^2]$ (ANEXO A-4)

$$F_i = 0,9(165,16 \times 10^{-6} \text{ m}^2)(586054,36 \times 10^3 \text{ Pa})$$

$$F_i = 87,11 \times 10^3 \text{ [N]}$$

Cálculo de la relación de rigidez

La relación de la rigidez se determina mediante la ecuación 2.26.

$$C = \frac{k_b}{k_m + k_b}$$

La constante de rigidez del perno se obtiene mediante la ecuación 2.27.

$$k_b = \frac{AE}{l} = \frac{\pi d^2 E}{4l}$$

Sabiendo que el módulo de elasticidad es $E = 30 \text{ [Mpsi]} = 207 \times 10^6 \text{ [Pa]}$

$$K_b = \frac{AE}{l} = \frac{\pi(15,87 \times 10^{-3} \text{ m})^2 (207 \times 10^6 \text{ Pa})}{4(0,2 \text{ m})}$$

$$K_b = 204,73 \times 10^3 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

Para determinar la rigidez que existen en la cimentación de los pernos de anclaje se analiza la (figura 2.18) empleando un $\alpha = 30^\circ$, como se lo observa a continuación:

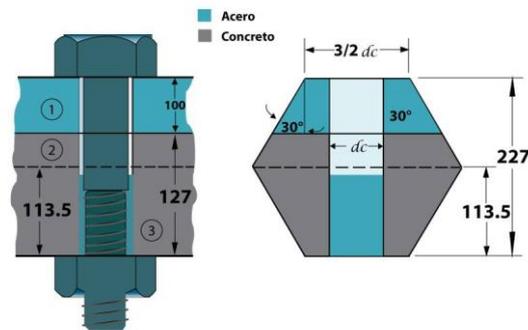


Figura 2. 18. Cimentación de los pernos de anclaje

Entonces como existe diferente rigidez en cada capa, se procede a determinar el valor de k de manera independiente, mediante la ecuación 2.28.

Capa (1):

Con $E = 30$ [Mpsi] = 207×10^6 [Pa] (Módulo de elasticidad del acero).

$$k_1 = \frac{0,5774\pi E d}{\ln \frac{(1,155t+D-d)(D+d)}{(1,155t+D+d)(D-d)}}$$

$$k_1 = \frac{(0,5774)(\pi)(207 \times 10^6 \text{ Pa})(15,87 \times 10^{-3} \text{ m})}{\ln \frac{(1,155(0,1 \text{ m})+23,8 \times 10^{-3} \text{ m}-15,87 \times 10^{-3} \text{ m})(23,8 \times 10^{-3} \text{ m}+15,87 \times 10^{-3} \text{ m})}{(1,155(0,1 \text{ m})+23,8 \times 10^{-3} \text{ m}+15,87 \times 10^{-3} \text{ m})(23,8 \times 10^{-3} \text{ m}-15,87 \times 10^{-3} \text{ m})}}$$

$$k_1 = 4,31 \times 10^6 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

Capa (2):

Con $E = 23$ [Gpa] = 23×10^6 [Pa] (Módulo de elasticidad del hormigón)

(ANEXO A-5).

$$k_2 = \frac{0,5774\pi E d}{\ln \frac{(1,155t+D-d)(D+d)}{(1,155t+D+d)(D-d)}}$$

$$k_2 = \frac{(0,5774)(\pi)(23 \times 10^6 \text{ Pa})(15,87 \times 10^{-3} \text{ m})}{\ln \frac{(1,155(13,5 \times 10^{-3} \text{ m})+139,26 \times 10^{-3} \text{ m}-15,87 \times 10^{-3} \text{ m})(139,26 \times 10^{-3} \text{ m}+15,87 \times 10^{-3} \text{ m})}{(1,155(13,5 \times 10^{-3} \text{ m})+139,26 \times 10^{-3} \text{ m}+15,87 \times 10^{-3} \text{ m})(139,26 \times 10^{-3} \text{ m}-15,87 \times 10^{-3} \text{ m})}}$$

$$k_2 = 28,78 \times 10^6 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

Capa (3):

Y para $E = 23 \text{ [Gpa]} = 23 \times 10^6 \text{ [Pa]}$ (Módulo de elasticidad del hormigón).

$$k_3 = \frac{0,5774\pi E d}{\ln \frac{(1,155t+D-d)(D+d)}{(1,155t+D+d)(D-d)}}$$

$$k_3 = \frac{(0,5774)(\pi)(23 \times 10^6 \text{ Pa})(15,87 \times 10^{-3} \text{ m})}{\ln \frac{(1,155(113,5 \times 10^{-3} \text{ m})+23,8 \times 10^{-3} \text{ m}-15,87 \times 10^{-3} \text{ m})(23,8 \times 10^{-3} \text{ m}+15,87 \times 10^{-3} \text{ m})}{(1,155(113,5 \times 10^{-3} \text{ m})+23,8 \times 10^{-3} \text{ m}+15,87 \times 10^{-3} \text{ m})(23,8 \times 10^{-3} \text{ m}-15,87 \times 10^{-3} \text{ m})}}$$

$$k_3 = 472,93 \times 10^3 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

Seguidamente procedemos a reemplazar estos valores en la ecuación 2.29 para determinar el valor de k_m .

$$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3}$$

$$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{4,31 \times 10^6} + \frac{1}{28,78 \times 10^6} + \frac{1}{472,93 \times 10^3}$$

$$K_m = 419,94 \times 10^3 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

Determinado todos estos valores procedemos a reemplazar en la ecuación 2.26 y se tiene la relación de rigidez:

$$C = \frac{204,73 \times 10^3}{419,94 \times 10^3 + 204,73 \times 10^3}$$

$$C = 0,32$$

Cálculo del factor de seguridad

Para determinar este cálculo se aplica la ecuación 2.25, la cual se obtuvo despejando de la ecuación 2.23, entonces se tiene:

$$n = \frac{S_p A_t - F_i}{CQ}$$

$$n = \frac{(586054,36 \times 10^3 \text{ Pa})(165,16 \times 10^{-6} \text{ m}^2) - (87,11 \times 10^3 \text{ N})}{(0,32) * (1589,22 \text{ N})}$$

$$n = 19$$

Determinado el valor de $n=19$ se concluye que cumple satisfactoriamente con las condiciones establecidas, ya que los pernos que se van a seleccionar brindarán una alta seguridad confiable para su aplicación.

Entonces los pernos de sujeción que se utilizarán para la placa de soporte son de tipo SAE de grado 5 y con un diámetro de $5/8 \text{ [in]} = 15,87 \times 10^{-3} \text{ [m]}$.

2.5. Mecanismos del sistema de transmisión de movimiento

2.5.1. Diseño del tornillo de potencia en el eje Z

El mecanismo para el recorrido vertical (figura 2.19) se diseña en el eje z ya que solo se trabajará en ese eje.



Figura 2. 19. Dimensiones del eje Z

Para el diseño se utilizó el acero AISI-SAE 1018 que posee buena soldabilidad y mejor maquinabilidad que los aceros con menor grado de carbón, sus características se especifican en la siguiente tabla 2.2.

Tabla 2. 2.

Propiedades mecánicas del acero AISI-SAE 1018

Propiedades Mecánicas	
Dureza	126HB
Esfuerzo de fluencia	370MPa
Esfuerzo máximo	440MPa
Elongación máxima	15%
Reducción de área	40%
Módulo de elasticidad	205GPa
Maquinabilidad	76%

Fuente: [33]

Para el diseño del tornillo de potencia se debe tomar en cuenta que está sometido a esfuerzos de: torsión, flexión, compresión, tracción. El cual puede ser expresado mediante la fórmula desarrollada por Euler:

$$P = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} \quad [\text{Ec.2.30}]$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad [\text{Ec.2.31}]$$

Donde:

P: Carga crítica [N]

E: Módulo de elasticidad del acero SAE 1018=2,05x10¹¹ [N/m²] (ANEXO A-6)

I: Momento de Inercia

N= Factor de diseño [adimensional]

L_e: Longitud efectiva=1,35 [m]

P_a =Carga admisible o carga máxima=969,71 [N]

Para calcular el diámetro mínimo se reemplaza la ecuación 2.31 en 2.30 y se tiene que:

$$d_m = \sqrt[4]{\frac{64 * P * L_e^2}{E * \pi^3}} \quad [\text{Ec.2.32}]$$

Donde P = P_a * N al reemplazar P se obtiene que:

$$d_m = \sqrt[4]{\frac{64 * P_a * N * L_e^2}{E * \pi^3}}$$

$$d_m = \sqrt[4]{\frac{(64) * (969,71 * 3) * (1,35 * 0,65)^2}{2,05 * 10^{11} * \pi^3}}$$

$$d_m = 0,012 \text{ [m]}$$

El diámetro mínimo calculado es de 0,012 [m] pero para el diseño se seleccionó un diámetro de 0,04445 [m] (1"3/4) (ANEXO A-7), el paso y longitud de la tuerca fue seleccionada de acuerdo al diseño de la máquina para asegurar la precisión en el desplazamiento en el eje z.

Cálculo del torque para mover una carga

Según el diámetro determinado en el (ANEXO A-7) para el tornillo de potencia en el eje Z se tiene los siguientes parámetros:

Datos:

$$D = 0,04445 \text{ [m]}$$

$$n = 5$$

$$p = \frac{1}{n} = \frac{1}{5} = 0.2 \text{ [in]} = 5,08 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

$$F_z = 2909,13 \text{ [N]}$$

$$f = 0,19$$

$$2\alpha = 29^\circ$$

Donde:

D = Diámetro mayor [m]

n = Roscas por pulgadas

p = paso [m]

L = p = avance [m]

F_z = Fuerza a desplazarse en z [N]

f = Coeficiente de fricción (Tabla 2.3)

$2\alpha = 29^\circ$ Ángulo de la rosca (ANEXO A-8)

Tabla 2. 3.**Coefficientes fricción**

Material del tornillo	Material de la tuerca			
	Acero	Bronce	Latón	Hierro fundido
Acero, seco	0.15-0.25	0.15-0.23	0.15-0.19	0.15-0.25
Acero, aceite para máquina	0.11-0.17	0.10-0.16	0.10-0.15	0.11-0.17
Bronce	0.008-0.12	0.04-0.06	-	0.06-0.09

Fuente: [34]

Para calcular el diámetro de paso y el ángulo de avance se toma en cuenta los siguientes parámetros:

$$D_p = d - \frac{P}{2} \quad [\text{Ec.2.33}]$$

$$D_p = 0,04445\text{m} - \frac{5,08 \times 10^{-3}\text{m}}{2}$$

$$D_p = 0,04 \text{ [m]}$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{L}{\pi * D_p} \right) \quad [\text{Ec.2.34}]$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{5,08 \times 10^{-3}\text{m}}{\pi * 0,04\text{m}} \right)$$

$$\lambda = 2,31^\circ$$

Cálculo del torque de ascenso

Mediante la ecuación 2.35, se procede a determinar el par de torsión que se requiere para elevar una carga.

$$T_u = \frac{FD_p}{2} \left[\frac{(\cos\alpha \tan\lambda + f)}{(\cos\alpha - f \tan\lambda)} \right] \quad [\text{Ec.2.35}]$$

$$T_u = \frac{(969,71\text{N})(0,04\text{m})}{2} \left[\frac{(\cos(14,5^\circ) * \tan(2,31^\circ) + 0,19)}{(\cos(14,5^\circ) - (0,19) * \tan(2,31^\circ))} \right]$$

$$T_u = 4,26 \text{ [Nm]}$$

Cálculo del torque de descenso

Con la ecuación 2.36, se determina el par de torsión que se requiere para bajar una carga.

$$T_d = \frac{FD_p}{2} \left[\frac{(f - \cos\alpha \tan\lambda)}{(\cos\alpha + f \tan\lambda)} \right] \quad [\text{Ec.2.36}]$$

$$T_d = \frac{(969,71\text{N})(0,04\text{m})}{2} \left[\frac{(0,19) - (\cos(14,5^\circ) * \tan(2,31^\circ))}{(\cos(14,5^\circ) + (0,19) * \tan(2,31^\circ))} \right]$$

$$T_d = 2,90 \text{ [Nm]}$$

Cálculo de la eficiencia

La eficiencia para elevar la carga se obtiene de la siguiente manera:

$$e = \frac{F_Z * L}{2 * \pi * T_U} \quad [\text{Ec.2.37}]$$

$$e = \frac{2909,13 \text{ N} * 5,08 \times 10^{-3}}{2 * \pi * T_U}$$

$$e = \frac{2909,13 \text{ N} * 5,08 \times 10^{-3} \text{ m}}{2 * \pi * 4,26 \text{ Nm}}$$

$$e = 0,54 = 54\%$$

Cálculo de la potencia

La potencia para el tornillo en el eje Z se calcula de la siguiente manera:

$$P = \frac{T_u * n}{63000} \quad [\text{Ec.2.38}]$$

Datos:

$$n = 275 \text{ [rpm]}$$

$$T_u = 4,26 \text{ [Nm]}$$

Donde:

n: Velocidad de giro [rpm]

T_u = Torque de acenso [Nm]

$$T_u = 4,26 \text{ [Nm]}$$

$$P = \frac{4,26 * 275\text{rpm}}{63000}$$

$$P = 0,18 \text{ [Hp]} = 0,13 \text{ [kw]}$$

La potencia requerida para mover el tornillo es de 0,18 Hp pero por cuestiones de diseño y facilidades de la empresa se optó por un motor de 2Hp que cumplirá su función sin ningún inconveniente.

2.5.2. Selección del reductor de velocidad

La velocidad requerida en el tornillo del eje Z es de 275 rpm y el motor proporciona 1730 rpm, por lo tanto es necesario reducirla, tomando en consideración que la empresa dispone de un reductor de marca TRANSTECNO de (1,5 KW = 2HP), como se observa en el (ANEXO A-9), el cual al implementarse en el mecanismo se determinó que no cumplía con la velocidad requerida.

Entonces para este proceso se empleó poleas y bandas para obtener la velocidad adecuada y eficiente en el proceso.

2.5.3. Selección de las poleas y bandas

a. Selección de poleas

Para la selección de poleas se determinará la potencia de diseño con la siguiente ecuación:

$$P_d = f * P_m \quad \text{[Ec.2.39]}$$

Donde:

P_d = Potencia de diseño [Kw]

f = Factor de servicio de sobrecarga el (ANEXO A-10)

P_m =Potencia del motor [Kw]

$$P_d = 1,1 * 1,5 \text{ [Kw]}$$

$$P_d = 1,65 \text{ [Kw]}$$

Datos:

- $P_m=1,5$ [Kw]
- $P_d=1,65$ [Kw]
- $n_1=479$ [rpm]
- $n_2=275$ [rpm]
- Distancia entre centros: $C=0,2$ [m]
- Factor de servicios: $C_1=1,2$

Para la selección de bandas se utiliza gráficas según el fabricante, las cuales permitirán conocer el tipo de correa para trabajar en función a la potencia y a las revoluciones.

Del (ANEXO A-11) con n_1 y P se obtiene la sección de correa a utilizar donde el diámetro mínimo utilizado es 3 in = 0,0762 [m].

Cálculo para el diámetro de la polea

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad [\text{Ec.2.40}]$$

$$i = \frac{479\text{rpm}}{275\text{rpm}}$$

$$i = 1,74$$

$$D_p = i * d_p = 1,74 * 0,0762 \text{ [m]}$$

$$D_p = 0,13 \text{ [m]}$$

$$d = 0,0762 \text{ [m]}$$

$$D = 0,13 \text{ [m]}$$

$$C = 0,2 \text{ [m]}$$

$$C < 3(D + d)$$

$$C < 3(0,13 + 0,0762)$$

$$C < 0,6 \text{ [m]}$$

b. Determinación de la longitud de banda

Para calcular la longitud de la banda se utiliza la siguiente ecuación:

$$L_p = 2C + 1,57(D + d) + \frac{(D+d)^2}{4C} \quad [\text{Ec.2.41}]$$

Donde:

L_p =Longitud de paso de la banda [m]

D =Diámetro de la polea mayor [m]

d =Diámetro de polea menor [m]

C =Distancia entre centros de la polea [m]

$$L_p = (2 * 0,2) + 1,57(0,13 + 0,0762) + \frac{(0,13 + 0,0762)^2}{(4 * 0,2)}$$

$$L_p = 0,77 \text{ [m]}$$

Con una longitud de 0,77 [m] se seleccionó una correa industrial AX29 como se especifica en el (ANEXO A-12).

2.5.4. Selección de rodamientos para el eje z

Para seleccionar rodamientos se toma en cuenta las cargas a las cuales va a estar sometido el tornillo de potencia, por lo que existe carga radial y carga axial.



Figura 2. 20. Diagrama de cuerpo libre del eje

Datos:

Velocidad angular del motor: $\omega = 1730 \text{ [rpm]} = 181,16 \text{ [rad/s]}$

Potencia del motor: $2 \text{ [Hp]} = 1492 \text{ [Nm/s]}$

Radio del tornillo en el eje Z: $22,22 \text{ [mm]} = 0,02 \text{ [m]}$

$$P = T * \omega \quad [\text{Ec.2.42}]$$

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{1492 \text{ [Nm/s]}}{181,16 \text{ [rad/s]}}$$

$$T = 8,23 \text{ [Nm]}$$

$$Fr = \frac{T}{r} \quad [\text{Ec.2.43}]$$

$$Fr = \frac{8,23 \text{ [Nm]}}{0,022 \text{ [m]}}$$

$$Fr = 374,35 \text{ [N]}$$

Masa ejercida del cabezal móvil:

- Masa del cabezal móvil= 17,4 Kg

$$M_1 = 17,4 \text{ Kg}$$

Masa ejercida por accesorios:

- Masa de la tubería PVC= 1,75 Kg
- Masa de las válvulas solenoides= 3,93 Kg
- Masa adicional= 75,77 Kg

$$M_2 = \text{Masa PVC} + \text{Masa válvulas solenoides} + \text{Masa adicional}$$

$$M_2 = 1,75 \text{ Kg} + 3,93 \text{ kg} + 75,77 \text{ kg}$$

$$M_2 = 81,45 \text{ [kg]}$$

Masa ejercida por el tornillo:

$$M_3 = 16,23 \text{ Kg}$$

$$F_a = M_1 + M_2 + M_3$$

$$F_a = 17,4 \text{ Kg} + 81,45 \text{ kg} + 16,23 \text{ kg}$$

$$F_a = 115,08 \text{ [Kg]} = 1127,78 \text{ [N]}$$

Para esto es necesario encontrar una fuerza equivalente para definir la carga por lo que:

$$F_e = X_i V F_r + Y_i F_a \quad [\text{Ec.2.44}]$$

Los factores $X_i + Y_i$ Se encuentran en la tabla 2.4.

Tabla 2. 4.

Factores de carga radial para cojinetes de bolas

F_a/C_0	e	$F_a/(VF_r) \leq e$		$F_a/(VF_r) > e$	
		X_1	Y_1	X_2	Y_2
0.014*	0.19	1.00	0	0.56	2.30
0.021	0.21	1.00	0	0.56	2.15
0.028	0.22	1.00	0	0.56	1.99
0.042	0.24	1.00	0	0.56	1.85
0.056	0.26	1.00	0	0.56	1.71
0.070	0.27	1.00	0	0.56	1.63
0.084	0.28	1.00	0	0.56	1.55
0.110	0.30	1.00	0	0.56	1.45
0.17	0.34	1.00	0	0.56	1.31
0.28	0.38	1.00	0	0.56	1.15
0.42	0.42	1.00	0	0.56	1.04
0.56	0.44	1.00	0	0.56	1.00

*Útilice 0.014 si $F_r/C_0 < 0.014$.

Fuente: [32]

$$X_i = 0,56$$

$$Y_i = 1,55$$

- Factor V:

$$V = 1 = \text{Cuando gira el anillo interior}$$

- Fuerza radial F_r :

$$F_r = 374,3 \text{ [N]} = \text{Fuerza calculada en el sistema de transmisión}$$

- Fuerza axial F_a :

$$F_a = 1127,7 \text{ [N]} = \text{Fuerza calculada en la base de soporte}$$

$$F_e = X_i V F_r + Y_i F_a$$

$$F_e = (0,56 * 374,3 \text{ N}) + (1,55 * 1127,7 \text{ N})$$

$$F_e = 1957,5 \text{ [N]}$$

Con la fuerza equivalente se determina la carga estática:

$$\frac{F_a}{C_0} = 0,084 \text{ (Según la tabla 2.4)}$$

$$C_0 = \frac{F_a}{0,084} = \frac{1127,7 \text{ [N]}}{0,084}$$

$$C_0 = 13,4 \text{ [KN]}$$

Además se encuentran la capacidad básica de Carga Dinámica (C)

Datos:

$$C = F_D * \left(\frac{L_D}{10^6}\right)^{\frac{1}{k}} \quad [\text{Ec.2.45}]$$

En donde:

C: Capacidad de carga dinámica [KN]

F_D : Carga a la que está sometida el rodamiento [N]

L_D : Duración de diseño en revoluciones [rpm]

$k=3$ (Para rodamientos de bolas)

$F_D=F_e=1957,5$ [N]

Según el (ANEXO A-13) se selecciona el número de horas L para la duración recomendada de rodamientos.

Para el cálculo de L_D se aplica la siguiente ecuación:

$$L_D = L * rpm * 60 \frac{\text{min}}{\text{h}} \quad [\text{Ec.2.46}]$$

Donde:

L_D : Duración de diseño en revoluciones [rpm]

L: Horas de duración recomendada para rodamientos en máquinas herramientas, tomando en cuenta que para la maquina dosificadora será utilizada para trabajo intermitente $L=5000$ [h].

Mediante la ecuación 2.46 se procede a determinar el valor de L_D .

$$L_D = 5000h * 1730 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * 60 \frac{\text{min}}{\text{h}}$$

$$L_D = 519 \times 10^6$$

Seguidamente para determinar C procedemos a reemplazar el valor de L_D en la ecuación 2.45.

$$C = 1957,5 \text{ [N]} * \left(\frac{519 \times 10^6}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C = 15,7 \text{ [KN]}$$

Entonces determinado la carga estática y la carga dinámica, se procede a seleccionar el rodamiento 6009-Z estándar de bolas SKF, por lo cual es el adecuado para la aplicación, sus características se detalla en el (ANEXO A-14).

2.6. Diseño Neumático

Mediante el diseño neumático, se establece el tipo de bomba neumática adecuada, que permita la succión del fluido (barbotina) que va desde el tanque de recirculación hacia el interior del tanque de almacenamiento y a la vez dimensionar la línea de presión de aire para su buen funcionamiento.

Para la succión de la barbotina hacia la parte interna del tanque de almacenamiento se utilizará un sistema compuesto por una bomba neumática de doble diafragma junto con los componentes que serán dimensionados y seleccionados en este proceso.

2.6.1. Sistema Neumático

Para este sistema se colocará una fuente neumática mediante un compresor que posea un tanque de almacenamiento, gracias a esta fuente se hará uso de la presión de aire para el correcto funcionamiento de la bomba neumática de doble diafragma y la electroválvula, el accionamiento de estos elementos se decidió que sea de manera neumática debido a que la energía del aire comprimido es la mejor cuando se trata de velocidad de una acción, con una aplicación industrial de 6 bares (80 PSI) para este caso. De acuerdo

a lo establecido para este proceso la bomba neumática de doble diafragma será accionada mediante una electroválvula de 5/2 (5 vías, 2 posiciones).

Debido a la presión que se va a manejar, y con la finalidad de tener un correcto funcionamiento de la bomba neumática acorde a nuestras necesidades, se necesita una válvula reguladora de caudal.

Para la conexión del sistema neumático, se utilizará mangueras que son suelen ser de goma u otro material como plástico, acopladores o racores que sirven para unir las mangueras en la bomba neumática y electroválvula.

2.6.2. Diseño y selección de los elementos neumáticos

a. Bomba neumática para el sistema de succión y descarga de la barbotina

Para determinar la selección de la bomba neumática se debe tomar en cuenta cierto parámetro como es: la temperatura promedio que es de 15°C.

A continuación se procede a realizar el procedimiento de diseño para la selección de la bomba.

2.6.3. Selección de la Bomba

Para la selección de la bomba se considera el tipo de material a transportar el mismo que al tener un grado de viscosidad alto dificulta su selección, la mejor alternativa es el uso de bombas de desplazamiento positivo y dentro de este grupo la tecnología de doble diafragma asegura un trabajo eficiente.

La presión de aire que dispone la empresa NOVEL se detalla en la tabla 2.9, es muy importante conocer la presión que se tiene ya que garantizará el

correcto funcionamiento de la bomba, hay que tener en cuenta que los fabricantes publican curvas de presiones de salida y consumos de aire para diferentes caudales según la presión de alimentación neumática.

Otro factor importante para la selección de la bomba es el volumen que tendrá el tanque de recirculación, el volumen del tanque se lo determina con la ecuación de un prisma rectangular (figura 2.21).

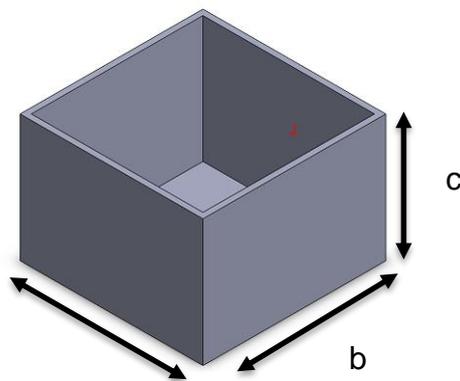


Figura 2. 21. Tanque de recirculación

$$v = a * b * c \quad [Ec.2.47]$$

Donde:

a= ancho [m]

b=profundidad [m]

c= altura [m]

Cálculo del volumen

Para determinar el volumen que tendrá el tanque de recirculación se aplica la ecuación 2.47.

Datos:

a=0,7 [m]

b=0,9 [m]

c=0,9 [m]

$$v = a * b * c$$

$$v = 0,7 * 0,9 * 0,9$$

$$v = 0,56 \text{ [m}^3] \approx 147 \text{ galones}$$

Para seleccionar las bombas neumáticas de doble diafragma, se debe comparar varios modelos de bombas en un punto de operación similar, normalmente al mismo CPM (ciclos por minuto) para encontrar la de mayor eficiencia y menor desgaste.

Datos:

- Q= 147 [GPM] (Caudal)
- P= 90 [PSI] (Presión)
- Material : Barbotina

En las figuras 2.22, 2.23 y 2.24 se observa las curvas de desempeño de la bomba a seleccionar.

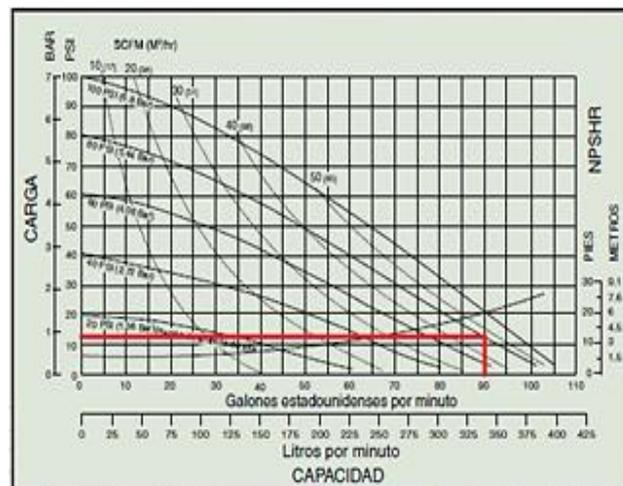


Figura 2. 22. Curva de desempeño de la bomba de ½ in

Fuente: [35]

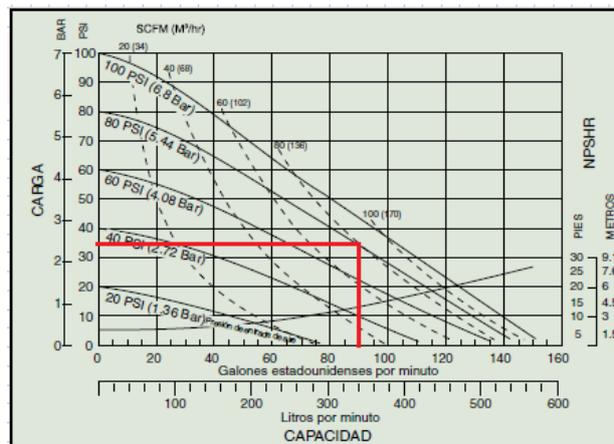


Figura 2. 23. Curva de desempeño de la bomba de 2 in

Fuente: [35]

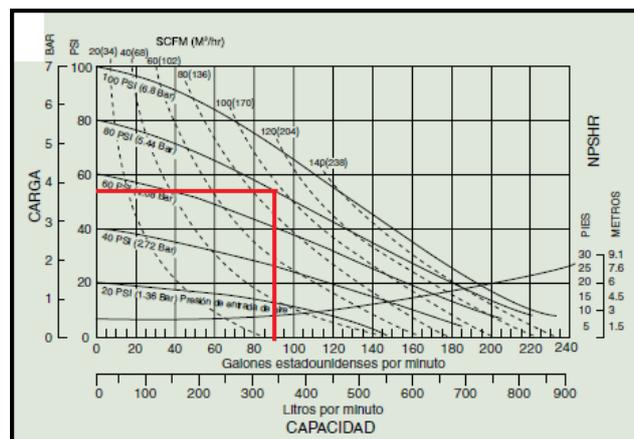


Figura 2. 24. Curva de desempeño de la bomba de 3 in

Fuente: [35]

Al comparar las curvas de desempeño de las 3 tipos de bombas, la bomba S15 Metálica de 2" (ANEXO B-1) es la que mejor se adapta a nuestro proceso ya que la curva muestra que la bomba descarga a 90 GPM usando 80 CFM (pies cúbicos por minuto) de aire, mediante la selección de la bomba se debe considerar que cuando funciona a 80 PSI de entrada de aire y a 35 PSI de descarga del fluido no se sobredimensiona.

En la tabla 2.5 se identifica las características técnicas de la bomba seleccionada para el proceso de bombeo del fluido (barbotina).

Tabla 2. 5.

Características de la Bomba seleccionada.

Modelo de la bomba	S20 de 2"
Marca	SANDPIPER
Cuerpo/Carcasa	Aluminio
Diámetro de Succión	2"
Diámetro Descarga	2"
Entrada de aire	3/4
Aplicación	Fluidos viscosos en general
Flujo Máximo	160 GPM
Temperatura	-23°C a 93°C

Fuente: [36]

2.6.4. Selección del compresor

Tomando en cuenta como dato el caudal total de la bomba que trabaja simultáneamente según el (ANEXO B-1), se realiza el análisis para la selección del compresor.

$$\text{Caudal total} = Q_{\text{bomba}}$$

$$\text{Caudal total} = 90 \text{ [gpm]} \approx 340,68 \text{ [lt/min]}$$

Entonces para seleccionar un compresor se hace referencia a diferentes situaciones que se debe tomar en cuenta como:

- Clasificación de aire comprimido de acuerdo a las aplicaciones que se le vaya a ser utilizado ha dicho aire (ANEXO B-2).
- Pérdidas de presión por acoples y filtros, se considera un 3%.

$$P_{\text{paf}} = 340,68 * 0,03 = 10,22 \text{ [lt/min]}$$

- Pérdidas de presión por fugas, se considera una pérdida del 10 %.

$$P_{\text{pf}} = 340,68 * 0,1 = 34,06 \text{ [lt/min]}$$

- Coeficiente de simultaneidad para construcciones varias es del 25%.

$$C_s = 340,68 * 0,25 = 85,17 \text{ [lt/min]}$$

- Incremento de seguridad recomendado es de 10%.

$$I_s = 340,68 * 0,1 = 34,06 \text{ [lt/min]}$$

Entonces:

$$Q_{t\text{requerido}} = 10,22 + 34,06 + 85,17 + 34,06 = 163,51 \text{ [lt/min]}$$

La Empresa NOVEL dispone en sus instalaciones una unidad compresora la misma que se utilizará para el abastecimiento de aire comprimido de los elementos neumáticos, esta unidad cumple con los requerimientos de diseño necesarios para un buen funcionamiento de la bomba neumática de doble diafragma.

En la tabla 2.6 se detalla las características del compresor seleccionado.

Tabla 2. 6.

Características del compresor seleccionado

Velocidad del cabezal	3500 RPM
Caudal	283 lt/min
Presión Máxima	10 Bar
Capacidad Tanque	80 Galones
Voltaje de Funcionamiento	3 220V-60 HZ
Motor	5 HP

2.7. Diseño y selección del sistema eléctrico

En este bloque se describe todos los elementos eléctricos que se utilizarán para implementar en la máquina de vaciado de barbotina.

2.7.1. Determinación de las cargas que actúan sobre el sistema eléctrico

En la tabla 2.7 se detalla las cargas que se debe considerar para el cálculo del sistema eléctrico en base a la placa característica de cada elemento.

Tabla 2. 7.

Cargas que actúan en el sistema eléctrico

MOTOR	POTENCIA (HP)	CORRIENTE (A)
Motor-batidora	½	1,9
Motor tornillo de potencia	2	6,04

Para el diseño eléctrico se considera como referencia una alimentación trifásica de 220 VAC y frecuencia de 60 Hz.

2.7.2. Dimensionamiento y selección de los elementos eléctricos

a. Selección de conductor para los motores

a.1. Motor-Batidora

$$I = \frac{P}{n * \sqrt{3} * V * \cos \phi}$$

$$I_n = \frac{0,5 * 746}{0,63 * \sqrt{3} * 220 * 0,81}$$

$$I_n = 1,91 \text{ [A]}$$

a.2. Motor del tornillo de potencia

$$I = \frac{P}{n * \sqrt{3} * V * \cos \phi}$$

$$I_n = \frac{2 * 746}{0,82 * \sqrt{3} * 220 * 0,79}$$

$$I_n = 6,04 \text{ [A]}$$

Entonces la sumatoria de las corrientes de los motores es:

$$\sum I_{\text{motores}} = 1,91 + 6,04 = 7,95 \text{ [A]}$$

Se utiliza conductores de calibre # 3x18 AWG THHN FLEXIBLE (ANEXO C-1) para la conexión de los motores que actúan en el sistema eléctrico, teniendo en cuenta que la carga que consume más corriente es la del motor trifásico del tornillo de potencia con 6,04A a 220VAC.

b. Selección del conductor para el alimentador

$$\begin{aligned} I &= I_{\text{motor mayor}} + \sum I_{\text{motores}} + \sum I_{\text{cargas adicionales}} \\ I &= 6,04 + 7,95 + 2,5 \\ I &= 16,5 \text{ [A]} \end{aligned}$$

Cabe mencionar que las cargas adicionales se refieren a las electroválvulas y lámparas indicadoras de la máquina de vaciado de barbotina.

Entonces para la alimentación de la corriente eléctrica se utiliza conductores de calibre 3x12 AWG THHN FLEXIBLE (ANEXO C-2).

c. Selección de elementos de protección

c.1. Protección para el alimentador

$$\begin{aligned} I &= I_{\text{motor mayor}} + \sum I_{\text{motores}} + \sum I_{\text{otras cargas}} \\ I &= 6,04 + 7,95 + 2,5 \\ I &= 16,5 \text{ [A]} \end{aligned}$$

Se utiliza un Breaker termo magnético de 16Amp marca LS, sus características se detalla en el (ANEXO C-3).

c.2. Protección para las derivaciones

Para dimensionar la protección de las derivaciones se analiza la corriente a plena carga (I_{cp}) del motor más significativo, en este caso se toma en cuenta el actuador eléctrico que se encuentra en constante funcionamiento, el cual es el motor de la batidora (1,9A):

$$I_{prot} = I_{icp}$$

$$I_{prot} = 1,9 \text{ [A]}$$

Se utiliza un Breaker termo magnético de 5 amperios marca General Electric (ANEXO C-4).

c.3 Selección del relé térmico

Un breaker termodinámico está diseñado para la protección de motores eléctricos, este diseño es muy importante debido a que proporciona una curva de disparo el cual lo hace más robusto hacia las sobrecorrientes transitorias que son típicas de los arranques de los motores eléctricos.

Por recomendación técnica de los fabricantes de estos elementos eléctricos es necesario realizar un ajuste del 125 % de la corriente nominal del motor, por lo tanto para los motores principales de la batidora y del tornillo de potencia se obtienen los siguientes valores:

$$I_{\text{motor batidora}} = 1,25 * I_n$$

$$I_{\text{motor batidora}} = 1,25 * 1,9 = 2,38 \text{ [A]}$$

$$I_{\text{motor tornillo}} = 1,25 * I_n$$

$$I_{\text{motor tornillo}} = 1,25 * 6,04 = 7,55 \text{ [A]}$$

Entonces para el motor del tornillo de potencia se selecciona un relé térmico marca LS (ANEXO C-5) con regulación de corriente 6 – 9A; y para el motor de la batidora se selecciona un breaker térmico con regulación de corriente 1.6 – 2.5A en marca LS; el mismo se lo observa en la (figura 2.25).



Figura 2. 25. Relé Térmico

Fuente: [37]

c.4 Selección del contactor

Para la selección del contactor se debe tomar de referencia a la mayor intensidad de 6,04A (Motor del tornillo), hay que considerar que el contactor es un elemento eléctrico de servicio ligero con un factor de seguridad del 125%.

Por lo tanto se selecciona contactores de marca LS (ANEXO C-6) con tipo de servicio AC3 tripolar a 100-240/9 [A]; el mismo se observa en la (figura 2.26).



Figura 2. 26. Contactor

Fuente: [37]

c.5 Relés

Los relés de 110 VAC (figura 2.27) se implementaron para que se activen las bobinas de las electroválvulas y energicen el control de funcionamiento.

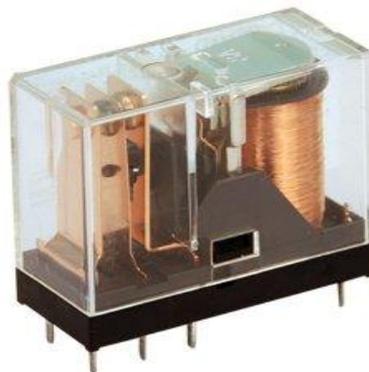


Figura 2. 27. Relé

Fuente: [38]

2.7.3. Selección de actuadores

a. Motor trifásico

Para el desplazamiento del cabezal móvil en el eje z de la máquina de vaciado de barbotina se procede a utilizar un motor-reductor. Para este proceso se debe tomar en cuenta la potencia determinada del tornillo en el

numeral 2.7.6 con lo cual se opta por seleccionar un motor trifásico de 2Hp (AC)

La Empresa cerámica Novel dispone de este actuador, a este elemento se acoplará un reductor para el desplazamiento vertical del sistema, estos elementos son muy ideales para un mecanismo eficaz en donde se requieren movimientos de mejor precisión.



Figura 2. 28. Motor Trifásico

Fuente: [39]

En la tabla 2.8 se detallan las características del motor trifásico a utilizarse.

Tabla 2. 8.

Datos del motor trifásico a utilizarse

DATOS	ESPECIFICACIONES
Voltaje	220VAC(Δ) 380 VAC(Y)
Corriente	6 A(Δ) 3.52 A(Y)
Velocidad (rpm)	1730
Frecuencia	60 Hz

a. Reductor

Para la velocidad requerida se acopla un reductor, este elemento es proporcionado por la Empresa Cerámica Novel; utilizando estos dos elementos que se adaptan en una forma eficaz se tiene un mecanismo motor-reductor que será implementado para el sistema de vaciado de barbotina.



Figura 2. 29. Motorreductor

Fuente: [40]

Tabla 2. 9.

Características del reductor

DATOS	ESPECIFICACIONES
Potencia	1/40-25 hp
Relación	5-3600: 1
Material	Acero Inoxidable

2.7.4. Selección de elementos de mando

Son dispositivos utilizados para el control y señalización del funcionamiento de la máquina de vaciado de barbotina, estos elementos a utilizar se describen en la siguiente tabla 2.10.

Tabla 2. 10.

Elementos de control y señalización

ACCESORIO	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Luz piloto	Marca: Camco Modelo: AD1622DS Color: Verde, Rojo Voltaje de operación: 220V	
Pulsadores	Marca: Camco Modelo: FPB-EA1 Voltaje de operación: 220V Equipamiento: 1(NO)+1(NC) Colores: Verde, Rojo	

CONTINÚA →

Selectores	Marca: Camsco Modelo: SKOS-ED21;SKOS-ED33; SKOS-ED41 Voltaje de operación: 220V Equipamiento: 1(NO)+1(NO) N° Posiciones: 2;3	
Paro de emergencia	Marca: Camsco Color: Rojo Voltaje de operación: 220V Contactos: 1(NA)+1(NC)	

2.7.5. Selección de sensores

Los sensores utilizados en la máquina de vaciado de barbotina conforman:

a. Finales de carrera

Los finales de carrera están situados en el inicio y al final del recorrido en el eje z con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado del circuito eléctrico, estos elementos pueden ser eléctricos, neumáticos o mecánicos.

Por su fácil manejo e implementación hemos elegido finales de carrera eléctricos; el mismo se observa en la (figura 2.30).

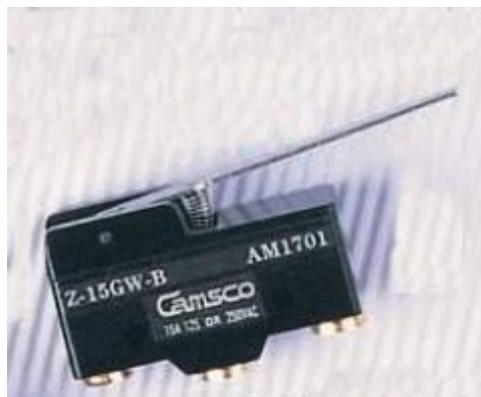


Figura 2. 30. Final de carrera

Fuente: [41]

b. Sensores de nivel

Por su fácil manejo, bajo costo y alta gama de confiabilidad de funcionamiento para el control de bajo y alto nivel de la barbotina en el tanque de almacenamiento se seleccionó sensores tipo flotador de acero inoxidable, los cuales puede convertir sus contactos de (NO) a (NC) invirtiendo el flotador; un ejemplo se observa en la (figura 2.31).



Figura 2. 31. Sensor capacitivo

Fuente: [42]

A más de seleccionar el sensor tipo flotador también se eligió un sensor tipo boya (figura 2.32) para el tanque de reserva que por su fácil manejo y utilización es muy versátil para el proceso de control de nivel de la barbotina.



Figura 2. 32. Sensor tipo boya

Fuente: [43]

2.7.6. Selección de electroválvulas

a. Válvulas solenoides

Para el proceso del vaciado de barbotina se debe analizar qué tipo de electroválvula se implementará en cada salida del cabezal distribuidor para el paso del fluido (barbotina), en este proceso se seleccionó la válvula solenoide (figura 2.33) de 3/4 pulgada a 220 VAC, este elemento es muy eficaz y seguro el cual es implementado en distintas aplicaciones industriales para procesos en control de paso de fluido.



Figura 2. 33. Válvula Solenoide

Fuente: [44]

Este tipo de válvulas son normalmente cerradas (NC), ya que por su fácil utilización y bajo costo son requeridas con una alta gama de confiabilidad para este proceso de vaciado de barbotina.

En la tabla 2.11 se muestra las características de la válvula solenoide seleccionado.

Tabla 2. 11.**Características de la válvula solenoide**

DATOS	ESPECIFICACIONES
Voltaje	220 VAC
Máxima presión	20 Bar
Temperatura	25-130 °C
Fluido	Agua, Líquido, Gas
Tipo	NC

b. Electroválvulas

Para el accionamiento de las bombas Sand-Piper se utiliza electroválvulas independientes de 5 vías-2 posiciones (figura 2.34), la cual va a permitir el avance de succión y descarga del fluido (barbotina) hacia el tanque de reserva, se seleccionó este tipo de electroválvula ya que permite un control seguro sobre la bomba proporcionando mayor cantidad de empuje en relación a la presión de trabajo, en la tabla 2.12 se muestra las características técnicas.

Tabla 2. 12.**Característica electroválvula**

Modelo	E.MC
Voltaje de operación	110VAC
Max. Presión de trabajo	135 PSI
Temperatura de trabajo	5-60°C
Conexión	G1/8

**Figura 2. 34. Electroválvula 5/2 E.MC**

Fuente: [45]

2.7.7. Selección del PLC

Tomando en cuenta todas las características de la máquina de vaciado y debido a la versatilidad, eficiencia y costo en el mercado se ha visto la necesidad de utilizar el MICRO PLC LOGO SIEMENS 230 RC (figura 2.35), este dispositivo permite un control ordenado a los diferentes sistemas que compone la máquina dosificadora.

Las características que contiene el PLC LOGO se detalla a continuación:

- Fuente de alimentación.
- Marcas analógicas y digitales.
- Temporizadores.
- Interfaz para módulo de expansión.
- Interfaz.

En la tabla 2.13 se detallan las especificaciones técnicas del PLC LOGO seleccionado.

Tabla 2. 13.

Especificaciones LOGO 230 RC

LOGO 230 RC	CARACTERÍSTICAS
Marca	Siemens
Tipo	MICRO LOGO
Voltaje de trabajo	115 – 240V
DM	Modulo digital

Fuente: [46]

A más de seleccionar el PLC LOGO se selecciona un módulo de expansión DM8 230 R, el cual dispone de entradas y salidas para el proceso de automatización del vaciado de barbotina. En el (ANEXO C-7) se detallan los datos técnicos del LOGO 230RC y el módulo de expansión DM8 230R.

A continuación en la tabla 2.14 se detallan las características básicas del MICRO LOGO SIEMENS seleccionado y del módulo de expansión DM8 230R.

Tabla 2. 14.

Características LOGO 230 RC Y DM8 230 R

Designación	Alimentación	Entradas	Salidas	Características
LOGO 230	115–240VAC	8 Digitales	4 relés de 10 A	Con Display Con Reloj
DM8 230R	115-240VAC	4 Digitales	4 Relés de 5 A	

Fuente: [46]



Figura 2. 35. PLC LOGO Siemens 230RC y Módulo de expansión DM8 230R

Fuente: [46]

2.8. Diseño del circuito de control y potencia

El sistema de vaciado de barbotina está conformado por el arranque de un motor el cual ejerce la potencia necesaria para cumplir la función principal en el proceso. El motor del tornillo de potencia es accionado en forma directa pero a una relación de velocidad diferente, el elemento que nos permitirá esta opción es el reductor de velocidad cuyas características de funcionalidad hacen que sea la mejor opción al momento de regular la velocidad requerida en motores trifásicos.

Ventajas del uso del reductor de velocidad:

- Disminución del consumo de energía eléctrica por efectos del pico del par de arranque del motor trifásico.
- Mayor seguridad en la transmisión de potencia, reduciendo en los costos de mantenimiento.
- Mayor eficiencia de energía en la transmisión de potencia que suministra el motor.
- Mejoramiento de productividad y rentabilidad a los procesos de producción, debido a la posibilidad de incrementar la capacidad del proceso productivo.

La simulación del circuito de potencia se realiza mediante el software CAdE_SIMU el cual contiene librerías como son: las protecciones y elementos eléctricos necesarios para el arranque directo del sistema.

En la figura 2.36 se observa el diagrama de conexión del arranque a ser utilizado.

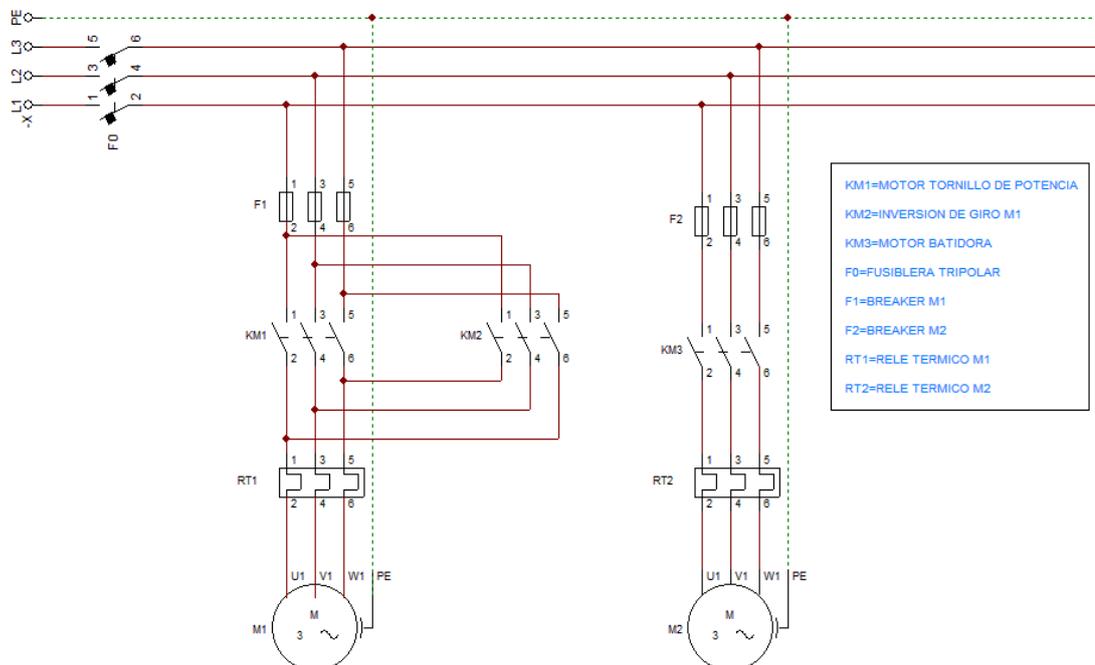


Figura 2. 36. Diagrama de Circuito de Potencia

La figura 2.37 muestra el circuito de control con sus debidos componentes eléctricos que serán accionados durante el proceso de vaciado.

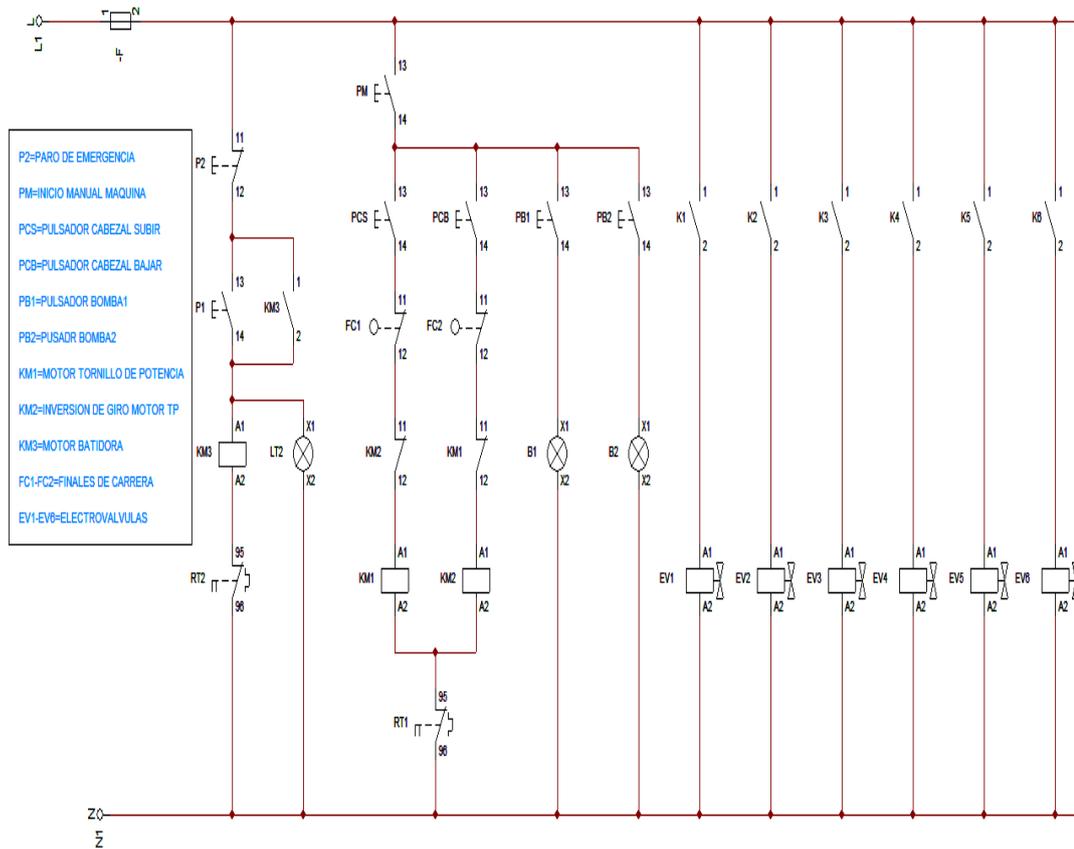


Figura 2. 37. Diagrama de Control

CAPÍTULO III

3. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

3.1. Construcción y montaje del sistema mecánico

La construcción del sistema de vaciado de barbotina se lo ha realizado mediante el diseño que se lo detalló en el capítulo II, utilizando las medidas reales y el tipo de material para la construcción del mismo, las cuales se mencionan en los planos mecánicos que se adjunta en el (ANEXO D).

El parámetro más importante que se analizó para el diseño de la estructura mecánica del sistema de vaciado de barbotina es el peso de cada una de las partes que conforman dicha máquina, de manera que cada parte de la misma sea capaz de soportar el peso de la otra con el objetivo de evitar problemas posteriores en la construcción.

3.1.1. Construcción de la base de soporte

Este proceso se inicia con la elaboración de la pieza base de 0,6 [m] de largo, 0,6 [m] ancho y 0,1 [m] alto, construido en Acero ASTM A36, el cual soportará todo el peso de la máquina, además se acopla un rodamiento de diámetro de 45 [mm]=0,045 [m] y una base para dicho elemento el cual facilitará el movimiento rotacional del tornillo de potencia (figura 3.1).



Figura 3. 1. Montaje de la Base de soporte

La pieza base se sujetará al suelo con tornillos de 5/8 x 10 in, la cual dejará fija a la máquina sin permitir vibraciones no deseados.

3.1.2. Construcción y montaje de la columna en U

A continuación se procede adjuntar la columna en U ASTM A36 de 0,05 [m] de espesor con una altura de 1,3 [m], a la cual se acopla dos soportes en U ASTM A36, como se indica en la (figura 3.2), que sirven de bases para las dos chumaceras que sujetarán y facilitarán el movimiento del tornillo en el eje z.



Figura 3. 2. Montaje de la columna en U

3.1.3. Construcción y montaje del tornillo de potencia

Para la construcción del tornillo de potencia se utilizó un eje de 2 in SAE 1018 con el cual se elaboró la rosca ACME de 45 [mm]=0,045 [m] de diámetro y 4 hilos por pulgada, el cual se utilizará para el desplazamiento vertical del cabezal móvil hacia los moldes de yeso y ayudará de forma viable al operario en el vaciado de barbotina, además al tornillo se acoplan dos chumaceras tipo puente con diámetro de 2 in que facilitarán el movimiento del tornillo como se

indica en la (figura 3.3) y a la vez evitará que se produzca pandeo cuando la máquina esté en funcionamiento.



Figura 3. 3. Montaje del tornillo de potencia

3.1.4. Construcción y montaje de la tuerca

El siguiente paso es construir la tuerca de 2 in en bronce fosfórico para que se traslade a través del tornillo de potencia, y genere movimiento hacia la mesa donde se ubicarán los moldes de yeso, además se implementará en la tuerca una estructura metálica construida en acero SAE 1036 que permitirá estar alineada cuando entre en operación como se indica en la (figura 3.4) los detalles de su construcción se encuentran en el (ANEXO D).



Figura 3. 4. Montaje de la Tuerca del tornillo de potencia

La figura 3.4 es acoplada al tornillo de potencia el cual permitirá el desplazamiento ascendente y descendente del cabezal móvil del cual se hablará en el siguiente ítem.

3.1.5. Construcción y montaje del cabezal móvil

El cabezal móvil se construyó en acero inoxidable, por ende es posible almacenar barbotina para dosificar en cada molde de yeso, esta estructura fue elaborada con 5 orificios por donde puede salir el material, 4 sirven para las válvulas solenoides las cuales controlarán el nivel de barbotina y 1 orificio para evacuar sedimentos sobrantes. El cabezal móvil al ser construido en acero inoxidable se utilizó la suelda TIC para evitar fugas y lograr un correcto funcionamiento lo cual se observa en la (figura 3.5).



Figura 3. 5. Construcción del cabezal móvil

El cabezal móvil se adjunta a la estructura de la máquina como se muestra en la (figura 3.6), el cual permitirá el desplazamiento vertical y uniforme hacia los moldes de yeso.



Figura 3. 6. Montaje del cabezal móvil

En la parte inferior del cabezal móvil se adjuntó neopros de $\frac{3}{4}$ in con rosca externa los mismos que servirán para implementar posteriormente válvulas solenoides para que permitan la dosificación del fluido.

3.1.6. Montaje del motor y reductor

Procedemos a colocar el motor y reductor en la parte inferior de la máquina como se indica en la (figura 3.7), la cual soportará todo el peso del cabezal móvil. Posteriormente se colocan poleas de 3 y 5 in las cuales permitirán el movimiento ascendente y descendente del cabezal móvil.



Figura 3. 7. Sistema Motorreductor

3.1.7. Montaje de las válvulas solenoides

El siguiente paso es acoplar las válvulas solenoides como se indica en la (figura 3.8), las cuales se ubican en la parte inferior del cabezal móvil, estas válvulas solenoides permiten el paso de fluido de barbotina, su acople es muy sencillo ya que su rosca interna de $\frac{3}{4}$ in encajan perfectamente en los néplos ya instalados en el cabezal móvil.



Figura 3. 8. Montaje de las válvulas solenoides

3.1.8. Montaje de las canaletas de recolección

Para que el sistema funcione correctamente se instaló canales de recolección de tol galvanizado de 1mm de espesor, los detalles se indican en el (ANEXO A-15).

Las canaletas de recolección de barbotina se instalaron en el contorno de la pared para recoger todo el material sobrante del vaciado, como se indica en la (figura 3.9), con el fin de reciclar y lograr disminuir la pérdida de material al transportar en forma manual desde la mesa de dosificación hasta el tanque de operación.



Figura 3. 9. Montaje de las canaletas de recolección

Al realizar las canaletas de recolección de barbotina nació la necesidad de construir un tanque de recirculación como se indica en la figura 3.9 el cual almacenará todo el material sobrante de las 6 mesas de dosificación, el tanque fue construido con las siguientes dimensiones 0,7 [m] de ancho, 0,9 [m] de largo, 0,9 [m] de profundidad como se indica en la (figura 3.10).



Figura 3. 10. Tanque de recirculación

3.2. Implementación y montaje del sistema eléctrico

El sistema eléctrico de la máquina de vaciado de barbotina cuenta con la presencia de distintos elementos para realizar las conexiones necesarias para el proceso automático donde el voltaje de trabajo es de 220VAC.

3.2.1. Implementación de los sensores de nivel

Para el control de nivel del tanque de reserva de barbotina se implementa dos sensores de nivel en acero inoxidable, estos elementos se encuentran ubicados en la parte interna del tanque de almacenamiento (figura 3.11), los cuales cumplen con la función de mantener el control de alto y bajo nivel del fluido (barbotina).



Figura 3. 11. Sensores de nivel

Hay que tener en cuenta que para controlar el alto y bajo nivel de fluido (barbotina) en el tanque de almacenamiento se implementa un sensor de nivel tipo boya (figura 3.12), este tipo de sensor tiene como objetivo de mandar señales hacia el LOGO PLC para que funcione la bomba y comience el proceso de succión de barbotina hacia el tanque de almacenamiento.



Figura 3. 12. Sensor de nivel tipo boya

3.2.2. Implementación de los finales de carrera

Los finales de carrera son elementos que se implementa en la parte externa de la riel de sujeción del tornillo de potencia, estos finales de carrera cumplen con la función de detectar el inicio y final del recorrido del cabezal móvil; como finales de carrera se utilizarán sensores de tipo magnético por su eficaz funcionamiento, los cuales son capaces de detectar el límite de avance antes que el cabezal móvil colisione (figura 3.13).



Figura 3. 13. Sensores finales de carrera

3.2.3. Implementación de la pantalla HMI

Debido a la versatilidad del costo y eficiencia la pantalla que se implementará en el sistema es el LOGO TD DISPLAY SIEMENS, para realizar el programa que servirá para el control del proceso de vaciado de barbotina se utilizará el software LOGO SOFT COMFORT V7. En la primera pantalla se observa la carátula de identificación (figura 3.14).



Figura 3. 14. Primera pantalla

Luego se procede a configurar la pantalla para el proceso de vaciado, lo cual se realiza utilizando el botón F1 para el funcionamiento en forma manual de la apertura de las válvulas solenoides (figura 3.15).

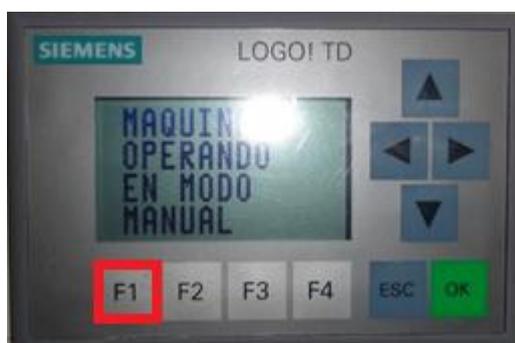


Figura 3. 15. Pantalla del proceso de vaciado manual

Seguidamente se procede a configurar el botón F2 de la pantalla para el control del cierre de las válvulas solenoides en modo manual (figura 3.16).



Figura 3. 16. Botones de configuración

Posteriormente se procede a configurar el botón F4 para el control automático de la máquina (figura 3.17).

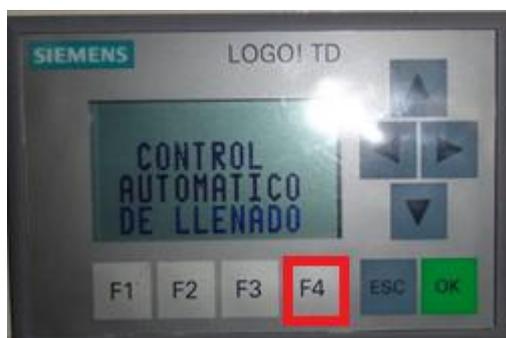


Figura 3. 17. Pantalla de control automático

3.2.4. Montaje del tablero de mando y control

El montaje del tablero de control (figura 3.18) se lo realiza de manera adecuada para que el operador no tenga ninguna dificultad de manejarlo, el tablero consta de las siguientes dimensiones: 60x40x20 cm, la estructura del tablero se lo sujetó hacia la pared con tornillos auto perforantes.



Figura 3. 18. Tablero de control y de mando

3.2.5. Implementación del circuito de fuerza

El tipo de arranque de los motores de la batidora y del tornillo de potencia se lo realiza de forma directa. Para la alimentación principal del breaker se utiliza conductor # 3x12 AWG flexible y para las derivaciones se utiliza conductor # 3x14 AWG flexible, se debe tomar en cuenta que para las conexiones realizadas se utilizan terminales de tipo U. En la (figura 3.19) se observa la implementación del circuito de fuerza.



Figura 3. 19. Tablero del circuito de fuerza

3.2.6. Implementación del circuito de fuerza y control

Para la conexión del circuito de mando y control (figura 3.20) se utiliza conductor # 3x18 AWG flexible que será tanto para los pulsadores, selectores y lámparas indicadoras que fueron conectados con sus respectivas borneras, las cuales fueron destinadas tanto para las entradas y salidas al PLC (MICRO LOGO SIEMENS).



Figura 3. 20. Tablero de mando y control

3.2.6. Distribución de la tubería PVC para el proceso de vaciado de barbotina

La distribución de la tubería PVC se lo realiza de acuerdo a la distancia de colocación de los moldes en la mesa.

Primeramente comenzamos con la etapa de succión de la barbotina desde el tanque de almacenamiento hacia el tanque de reserva, este proceso se lo realiza mediante una bomba neumática de doble diafragma “SAND-PIPER” a través de una manguera de diámetro de 2 in ésta a la vez se acopla a una T de PVC de 2 in, la cual nos ayudará para el cebado de la bomba como se muestra en la (figura 3.21).



Figura 3. 21. Etapa de succión de la barbotina

Luego se procede a realizar la distribución de la barbotina para ello se coloca una manguera de 2 in en la salida del tanque de reserva, la cual se acopla en la entrada del cabezal móvil como se muestra en la (figura 3.22).



Figura 3. 22. Distribución de la manguera de salida

Una vez realizada la distribución de la barbotina para cada compartimiento en el cabezal móvil, se procede a colocar válvulas solenoides de $\frac{3}{4}$ in. Para

cada salida del fluido (barbotina) son acoplados tubos de 70mm de longitud para proceder a la conducción de la barbotina en cada compartimiento de los moldes como se muestra en la (figura 3.23).



Figura 3. 23. Distribución en los compartimientos

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las pruebas para la máquina de vaciado de barbotina son prácticas y se los realiza una vez construida la máquina, teniendo en cuenta todos los parámetros de los capítulos II y III.

4.1. Pruebas del sistema mecánico

Concluida la construcción de la máquina se procede a efectuar las pruebas de funcionamiento, movimientos del mecanismo a través del motor en el eje Z, esta prueba se desarrolla observando que los mecanismos no tengan atascamientos y sonidos extraños al momento de desplazarse.

La prueba de calibración y comprobación del movimiento en el eje Z, se realizó como se muestra en la (figura 4.1), en el eje z el cabezal móvil hizo movimientos accedentes y descendentes sin ninguna interrupción en vacío, luego se procedió a cargar el cabezal con barbotina en la cual se efectuó la prueba correspondiente y sus resultados fueron más que satisfactorios.



Figura 4. 1. Calibración y comprobación del eje Z

Realizadas todas estas pruebas se pudo contemplar que los movimientos se realizan sin ninguna fricción, y sin ruidos extraños lo cual conlleva que los elementos seleccionados con anterioridad permiten un óptimo desarrollo de la máquina.

4.2. Pruebas del sistema eléctrico

El tablero de control (figura 4.2) se instaló en la parte más accesible y fácil para la interacción con los operadores de la empresa, posteriormente se procedió a conectar todos los cables de alimentación para el correcto funcionamiento de la máquina donde se realizaron las pruebas de instalación.



Figura 4. 2. Tablero de control de la máquina

Con la ayuda del multímetro se procedió a verificar la continuidad de la interconexión de los elementos eléctricos, según los diagramas especificados en el (ANEXO E). Todo esto se lo realizó antes de energizar el tablero eléctrico como medida de seguridad y así evitar que se dañe algún componente.

4.3. Pruebas de funcionamiento del PLC

Con todas la medidas de seguridad que se tomaron con anterioridad se procede a energizar el tablero de control, donde se verifica que el logo 230RC de marca Siemens se encienda sin problemas como se indica en la (figura 4.3), cuando se establece la comunicación con el computador procedemos a

cargar el programa y verificamos que el programa almacenado en la memoria del logo 230RC funciona correctamente.



Figura 4. 3. Funcionamiento del PLC

4.4. Pruebas del sistema de protección



Figura 4. 4. Sistemas de protección

El sistema eléctrico de la máquina de vaciado de barbotina se encuentra implementada por elementos de protección como breaker, relés térmicos, fusibles, paro general como se indica en la (figura 4.4).

Estos elementos tienen la función de desactivar y detener el funcionamiento de la máquina de vaciado de barbotina al producirse una sobrecarga o un cortocircuito en los motores que se encuentran en la máquina y batidora respectivamente, cada uno de estos elementos de protección fue adecuadamente seleccionado, se efectuaron las pruebas de funcionamiento a cada elemento como resultado todos los elementos funcionaron

correctamente , sin embargo hay que tomar en cuenta el tiempo de trabajo de la máquina para evitar daños posteriores.

El paro de emergencia permite parar de forma inmediata el funcionamiento de la máquina de vaciado de barbotina en cualquier momento por una falla o algún accidente de trabajo exponiendo la integridad física del trabajador, su ubicación es en la parte más accesible como se muestra en la (figura 4.5).Se realizaron varias pruebas y su funcionamiento fue eficaz.



Figura 4. 5. Paro de emergencia

4.5. Pruebas forma manual

Las principales pruebas son

- a. Pruebas del encendido y apagado del sistema de vaciado de barbotina.
 - b. Pruebas del encendido y apagado del motor de la batidora.
 - c. Pruebas de encendido y apagado de las electroválvulas.
 - d. Pruebas del cabezal móvil
 - e. Pruebas de los finales de carrera.
 - f. Prueba de las válvulas solenoides
- a. Para la realización de esta prueba se manipula el selector de dos posiciones, el cual permite controlar el encendido y apagado instantáneo de todo el proceso, una vez puesta en marcha se observa que las luces piloto de color verde en el tablero de control se encienden como se muestra en la figura

4.6 el cual permite identificar que la máquina se encuentra funcionando perfectamente.



Figura 4. 6. Control del sistema de vaciado

b. El resultado de las pruebas realizados de encendido y apagado del motor de la batidora fueron satisfactorias ya que su funcionamiento fue continuo y controlado por las dos botoneras las cuales permiten encender y apagar el motor como se muestra en la (figura 4.7), se debe tomar en cuenta que el motor de la batidora debe permanecer encendido constantemente, de no ocurrir esto la barbotina comienza a coagularse lo cual es una pérdida en la producción porque las llaves de paso se obstruyen y se paraliza la producción.



Figura 4. 7. Control de la batidora

c. Una vez realizadas las pruebas pertinentes a las electroválvulas que permiten el accionar de las bombas se puede concluir que su funcionamiento es correcto permitiendo el flujo de aire hacia la bomba 1 y 2, este proceso se lo puede controlar con un selector de tres posiciones como se indica en la (figura 4.8), permitiendo de esta manera el control de funcionamiento de las bombas.



Figura 4. 8. Pruebas del funcionamiento de las electroválvulas

d. Para un correcto funcionamiento de la máquina se calibró la posición del cabezal móvil según los moldes a utilizar esto se logró con el selector de dos posiciones como se indica en la (figura 4.9) el cual permite desplazar el cabezal accedente y decentemente hasta llegar a la posición deseada, esta prueba se realizó sin ningún inconveniente pudiendo constatar que el selector y las conexiones eléctricas funcionan correctamente.



Figura 4. 9. Pruebas del cabezal

e. Los finales de carrera de la máquina de vaciado de barbotina están colocados a los extremos de la máquina superior e inferior como se muestra en la (figura 4.10) para emitir señales y así poder variar la posición del cabezal móvil con estas pruebas se pudo concluir que su funcionamiento está listo para ser utilizado.



Figura 4. 10. Prueba de los finales de carrera

f. Para las pruebas de las válvulas solenoides en la forma manual el control se lo realizó desde los botones del PLC como se indica en la (figura 4.11), donde F1 permite la apertura de las válvulas y F2 el cierre de las mismas ya que en la forma manual no se puede controlar de manera independiente a cada válvula, sólo se dosifica un tipo de molde, estas pruebas cumplieron con nuestras expectativas ya que los moldes de yeso se llenaron uniformemente con la barbotina.

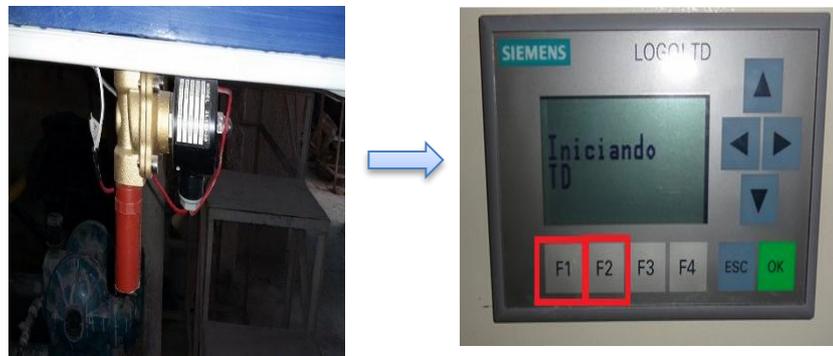


Figura 4. 11. Pruebas válvulas Solenoides

4.6. Pruebas forma automática

Para interactuar en el modo de operación se procede a cambiar la posición del selector a forma automática como se indica en la (figura 4.12) con el cual la máquina de vaciado de barbotina se independiza, al presionar F4 en pantalla táctil inicia el proceso de dosificación y por ende la activación de todos los sensores de nivel para el control de los tanques de barbotina



Figura 4. 12. Selector de mandos

Las principales pruebas son:

- a) Pruebas de las válvulas solenoides en modo de operación automático
- b) Pruebas de los sensores de nivel del tanque de operación
- c) Pruebas del sensor de nivel del tanque recirculación

a. Para realizar las pruebas correspondientes hay que verificar el funcionamiento de cada una de las válvulas solenoides, es necesario recalcar que para la calibración de cada válvula solenoide el sistema consta de una distribución regulada permitiendo de esta forma llevar la cantidad necesaria de barbotina a cada solenoide sin que se produzca el goteo.

La calibración para cada válvula solenoide se realiza desde la pantalla táctil como se muestra en la (figura 4.13), cada válvula solenoide tiene un tiempo estimado de funcionamiento para dosificar barbotina, estas pruebas se realizó cronometrando el tiempo de llenado el cual se detalla a continuación en la siguiente tabla 4.1.



Figura 4. 13. Calibración de las válvulas solenoides

Tabla 4. 1.**Medición de los tiempos de las válvulas solenoides**

Moldes de 20 litros	Tiempo (minutos)
Válvula 1	2
Válvula 2	3
Válvula 3	3
Válvula 4	2

b. Las pruebas de los sensores de nivel en el tanque de operación fueron exitosas ya que al ingresar material, los sensores de nivel de acero inoxidable en la parte superior e inferior como se indica en la (figura 4.14), funcionaron exitosamente proporcionando señales en alto y bajo nivel necesarias para el control de la máquina.

**Figura 4. 14. Pruebas de los sensores de nivel**

c. Otra prueba muy importante fue realizar el control de nivel del tanque de recirculación, esta prueba se realizó con el sensor de nivel tipo boya el cual emitirá señales en alto y bajo nivel controlando así perfectamente el nivel de llenado y vaciado de material como se indica en la (figura 4.15).

**Figura 4. 15. Pruebas de los sensores de nivel tipo boya**

4.7. Pruebas y resultados del tiempo y cantidad de dispensadores de agua fabricados

El proceso de vaciado de barbotina para la realización de moldes dispensadores de agua se lo realizaba en forma manual por dos operarios los cuales transportaban barbotina desde el tanque de operación hasta las mesas de dosificación como se indica en la (figura.4.16).



Figura 4. 16. Vaciado de barbotina

Este proceso al ser continuo era exhaustivo y peligroso ya que los operarios luego de realizar el vaciado de barbotina en cada uno de los moldes de yeso debían recolectar los sobrantes del material de las 6 mesas en baldes y luego trasladar hacia el tanque de operación que se encuentra a una altura de dos metros como se indica en la (figura 4.17).



Figura 4. 17. Recirculación de la barbotina

Todo el proceso de vaciado y recolección de material con dos operarios en la primera jornada tenía un tiempo estimado de 55 minutos produciendo 55 moldes en una jornada, este proceso se realizaba en 2 etapas en el cual producían 110 moldes al día en 1 hora 50 minutos.

Con la implementación de la máquina de vaciado de barbotina y bombas neumáticas el tiempo estimado se reduce a 2 horas con 18 minutos como se indica en la siguiente tabla 4.2.

Tabla 4. 2.

Resultados del tiempo de vaciado

Cantidad	Detalle	1 Operario	2 Operarios	Máquina
1	Molde	2 minutos	1 minuto	1 minuto 25 seg
4	Molde	8 minutos	4 minutos	5 minutos
10	Molde	20 minutos	10 minutos	13 minutos
55	Molde	1 hora 50 min	55 minutos	1 hora 9 minutos
110	Molde	3 horas 40 minutos	1 hora 50 minutos	2 horas 18 minutos

Los beneficios que brinda la máquina de vaciado de barbotina son:

- Menor esfuerzo físico del operador
- El sistema puede ser controlado por un solo trabajador
- Disminución del tiempo del vaciado de barbotina

Todo esto conllevará a un óptimo proceso de vaciado de barbotina y por ende al aumento de productividad de la empresa.

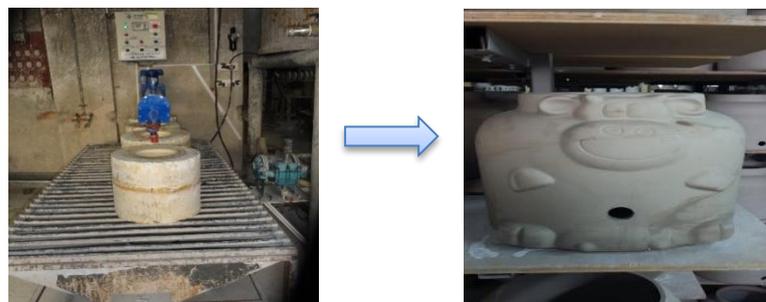


Figura 4. 18. Producto final

4.8. Análisis financiero

El análisis financiero tiene como objetivo determinar los recursos disponibles con que cuenta la empresa para llevar a cabo la implementación del proyecto, el mismo que tendrá como finalidad conocer la rentabilidad económica y social que asegure una necesidad de manera eficiente, segura y rentable.

4.8.1. Análisis de costos

a. Materiales mecánicos

La siguiente tabla 4.3 se detallan todos los materiales que se han utilizado en el sistema.

Tabla 4. 3.

Costo de materiales mecánicos

COSTO DE MATERIAL MECÁNICO				
N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNIT.	V. TOTAL
1	Carcasa de acero Inoxidable	1	220	220
2	Chumacera para rodamiento 6010	2	15,5	31
3	Correas dentadas	2	3,75	7,5
4	Pernos de 3/8 x 1-1/2"	6	0,14	0,84
5	Pernos de Anclaje 5/8"	4	2,5	10
6	Plancha de aluminio	4	11,5	46
7	Plancha laminada en caliente ASTM (6 mm)	1	110,9	110,9
8	Poleas	2	4,5	9
9	Prensas de 2"	6	1,5	9
10	Remaches	100	0,03	3
11	Riel en tipo U	1	42	42
12	Rodamientos Axiales	2	3,5	7
13	Rodamientos Radiales	1	7,25	7,25
14	Rodajas de 3/8 x 1-1/2"	6	0,07	0,42
15	Tornillo de potencia	1	35	35
16	Tubo cuadrado de 1-1.5" x 2 mm (tubo de 3m)	2	9,5	19
17	Tubo cuadrado de 3/4" x 1.5 mm (tubo de 3m)	1	5	5
			Total	562,91

b. Materiales eléctricos

La siguiente tabla 4.4 se detallan todos los elementos eléctricos que se han utilizado en el sistema.

Tabla 4. 4.

Costo de elementos eléctricos

COSTO DE MATERIAL ELÉCTRICO				
N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNIT.	V. TOTAL
1	Relé 110 con base de 8 pines	6	2,95	17,7
2	Contactador LS 110/220V	4	12,81	51,24
3	Relé Térmicos 110/220V con base de 8 pines	2	23,48	46,96
4	Breaker LS Trifásico de 16 ^a	1	15,63	15,63
5	Breaker GE Trifásico de 6 ^a	1	13,5	13,5
6	Fusiblera Tripolar 32 ^a	1	4,73	4,73
7	PLC Micro LOGO! 230RC, 110/220VAC	1	190	190
8	Módulo de Expansión LOGO DM8 4DO	1	100	100
9	Logo TD display	1	220	220
10	Cable de programación PC-LOGO	1	105,45	105,45
11	Cable Flexible #18 AWG (Rojo)	35	0,16	5,6
12	Cable Flexible #16 AWG	20	0,24	4,8
13	Cable Flexible #14 AWG	10	0,35	3,5
13	Cable Flexible #12 AWG	5	1,4	7
14	Pulsador tipo hongo de Emergencia	1	1,7	1,7
15	Interruptor Selector	4	2,35	9,4
16	Pulsador	3	1,7	5,1
17	Lámpara de Señalización Camasco	2	1,5	3
18	Libretin mixto	1	10,27	10,27
19	Terminal aislado Tipo U, azul	20	0,13	2,6
20	Terminal aislado abierto	50	0,13	6,5
21	Borneras	25	0,4	10
22	Canaletas	3	2,5	7,5
23	Cable gemelo flexible #20	40	0,15	6
24	Amarras	2	1,03	2,06
25	Espiral	1	2,95	2,95
26	Válvulas solenoides 220V	4	43,8	175,2
27	Motor eléctrico trifásico	1	178,57	178,57
28	Caja térmica	1	50	50
29	Riel Dim	1	2,11	2,11
30	Sensor de nivel tipo boya 250V	1	10,27	10,27
31	Sensor de nivel magnético inoxidable 110V	2	22,32	44,64
			Total	1313,98

c. Materiales Neumáticos

En la siguiente tabla 4.5 se detallan el valor de los accesorios neumáticos utilizados en el sistema.

Tabla 4. 5.

Costo de accesorios neumáticos

COSTO DE ACCESORIOS NEUMÁTICOS				
N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNIT.	V. TOTAL
1	Abrazaderas 5/16"	8	0,8	6,4
2	Acople rápido 1/4" hembra	5	3,13	15,65
3	Adaptador flex 2"	4	7,5	30
4	Bomba Sand-Piper	1	1845,31	1845,31
5	Bushing 1" x 1/2"	1	0,6	0,6
6	Bushing 1/2" x 1/4"	5	0,4	2
7	Codo de 1/2" x 90	1	0,31	0,31
8	Conectores 1/4" hembra	2	2,41	4,82
9	Electroválvula 5/2	2	55,8	111,6
10	Manguera de aire 5/16"	27	1,95	52,65
11	Manguera tubin (10mm)	6	1,61	9,66
12	Manguera vinyl 1-1/4" multiuso	24	8,66	207,84
13	Neplo 2" x 5cm	3	1,8	5,4
13	Neplo corrido 1/2"	2	0,34	0,68
14	Neplo corrido 2"	2	1,1	2,2
15	Neplo 1/4" x 5 cm	6	1,2	7,2
16	Tee 1/2"	2	0,47	0,94
17	Tee 2"	1	3,71	3,71
18	Teflón	5	0,35	1,75
19	Unión 2"	2	1,5	3
20	Uniones 1/2"	1	0,28	0,28
21	Válvula esférica 1/4"	3	4,65	13,95
22	Válvulas esféricas 2"	4	17,85	71,4
			Total	2397,35

d. Costos de Maquinado

En la siguiente tabla 4.6 se detalla el costo de proceso de maquinado de la máquina de vaciado de barbotina.

Tabla 4. 6.

Costo de proceso de maquinado

COSTOS DE MAQUINADO		
N°	MAQUINA	TOTAL
1	Soldadura	250
2	Torno	60
3	Moladora	45
4	Dobladora	50
5	Taladro	40
6	Pintura	55
TOTAL		500

e. Costo Directo Total

En la siguiente tabla 4.7 se detallan el costo directo total de la elaboración de la máquina de vaciado de barbotina.

Tabla 4. 7.

Costo directo total

COSTO DIRECTO TOTAL	
Componentes Mecánicos	562,91
Componentes Eléctricos	1313,98
Componentes Neumáticos	2397,35
Componentes de proceso de maquinado	500
Costos de Montaje	350
TOTAL	5124,24

La máquina de Vaciado de barbotina tuvo una inversión inicial total \$5124,24 dólares americanos.

f. Costos de Operación

En el costo de operación interviene el consumo de energía eléctrica que va a tener la máquina y la mano de obra de los operadores. Para lo cual se realiza el siguiente cálculo:

$$E = \frac{P \times 746W}{\eta} \quad [\text{Ec.4.1}]$$

$$E = \frac{2 \times 746W}{0,8}$$

$$E = 1,87 [Kw]$$

El costo del [Kwh] tiene un promedio de 0,092ctv, por lo tanto el costo de cada hora será 0,172 \$/h, como la máquina tendrá un trabajo de 8 horas diarias el costo del consumo eléctrico es el siguiente:

$$\text{Costo Diario} = 0,172 \frac{\$}{h} \times 4 \frac{h}{\text{día}} = 0,68 \frac{\$}{\text{día}}$$

$$\text{Costo Mensual} = 0,68 \frac{\$}{\text{día}} \times 12 \frac{\text{día}}{\text{mes}} = 8,16 \frac{\$}{\text{mes}}$$

$$\text{Costo Anual} = 8,16 \frac{\$}{\text{mes}} \times 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 97,92 \frac{\$}{\text{año}}$$

Adicional a estos gastos se debe considerar el gasto de un operador que percibe una remuneración básica de \$ 354 con el aporte al IESS con derechos de ley (décimo tercer y décimo cuarto sueldo).

Para el aporte al IESS se tiene un porcentaje del 9,45% del salario básico.

$$\text{Aporte al IESS} = \$ 354 \times 9,45\% = \$ 33,45$$

El décimo tercer sueldo se lo cancela cada 24 de diciembre lo cual corresponde al período desde el 1 de diciembre del año anterior hasta el 30 de noviembre del año en curso.

$$\text{Décimo Tercer} = \frac{387,45 \times 12}{12} = \$387,45$$

El décimo cuarto sueldo se cancela cada 15 de agosto de cada año en el sector sierra y oriente.

$$\text{Décimo Cuarto} = \frac{354}{12} \times 12(\text{meses trabajados}) = \$354$$

Por lo tanto el sueldo anual de un trabajador será el siguiente:

$$\text{Sueldo Anual} = \$354 \times 12 + \$387,45 + \$354 + \$33,45 = \$5022,9$$

$$\text{Gasto de funcionamiento anual} = 97,92 + 5022,9 = 5120,82$$

4.9. Periodo de recuperación de inversión

4.9.1. Flujo de caja

Para la elaboración del flujo de caja se debe tomar en cuenta una proyección durante 5 años, en el cual se muestra una estimación anticipada de los ingresos y egresos de la empresa NOVEL, se considera los siguientes puntos:

- Las ventas estimadas para el primer año en la empresa “NOVEL” según datos de la misma es de \$18000.
- La tasa de interés del producto empresarial es del 10,21% (ver la tabla 4.8).
- La empresa tiene previsto un aumento del 8% anual de producción.

Tabla 4. 8.

Tasas de interés

Tasas de Interés	
agosto-2015	
1. TASAS DE INTERÉS ACTIVAS EFECTIVAS VIGENTES	
Tasas Máximas	
Tasa Activa Efectiva Máxima para el segmento:	% anual
Productivo Corporativo	9.33
Productivo Empresarial	10.21
Productivo PYMES	11.83
Comercial Ordinario	11.83
Comercial Prioritario Corporativo	9.33
Comercial Prioritario Empresarial	10.21
Comercial Prioritario PYMES	11.83
Consumo Ordinario	16.30
Consumo Prioritario	16.30
Educativo	9.00
Inmobiliario	11.33
Vivienda de Interés Público	4.99
Microcrédito Minorista	30.50
Microcrédito de Acumulación Simple	27.50

Fuente: [47]

Se prevé realizar un financiamiento de \$5500 dólares americanos para la construcción del sistema de vaciado de barbotina, con estos datos analizados

se puede realizar la amortización de préstamo anual como se puede observar en la tabla 4.9.

Tabla 4. 9.
Amortización de préstamos

CUADRO DE AMORTIZACIÓN DE PRÉSTAMOS					
importe	5.500				
años	5				
comisión de apertura	0,00%				
interés nominal	10,21%				
periodo de pago	1				
tipo amortización	2				
cuotas constantes					
		PAGOS TOTALES			
		PRINCIPAL	5.500,00		
		INTERESES	1.684,65		
		COMISIÓN	0,00		
		TOTAL	7.184,65		
coste efectivo		10,21%	www.economia-excel.com		
años	cuota	intereses	amortización	amortizado	pendiente
0					5.500,00
1	1.661,55	561,55	1100,00	1.100,00	4.400,00
2	1.549,24	449,24	1100,00	2.200,00	3.300,00
3	1.436,93	336,93	1100,00	3.300,00	2.200,00
4	1.324,62	224,62	1100,00	4.400,00	1.100,00
5	1.212,31	112,31	1100,00	5.500,00	0,00

Con estos datos se puede realizar el flujo de caja con la ayuda de una hoja de cálculo en Excel, como se muestra en la tabla 4.10.

Tabla 4. 10.
Tasa de interés para producto empresarial

FLUJO DE CARGA						
VALORES	AÑOS	AÑOS	AÑOS	AÑOS	AÑOS	AÑOS
	0	1	2	3	4	5
INGRESO INICIAL	5.500,00					
INGRESOS POR VENTA DE DISPENSADORES		18.000,00	19.440,00	20.955,00	21.415,00	23.128,00
EGRESOS:						
INTERESE PRÉSTAMO (10,21%)		561,55	449,24	336,93	224,62	112,31
AMORTIZACION DEUDA		1.100,00	1.100,00	1.100,00	1.100,00	1.100,00
COSTO DE OPERACIÓN		14.242,52	14.242,52	14.242,52	14.242,52	14.242,52
FLUJO DE CARGA	5.500,00	2.095,93	3648,24	5275,55	5847,86	7673,17

4.9.2. Valor presente neto (VPN)

Es el valor presente neto del flujo de carga proyectada a los cinco años de evaluación del proyecto.

$$VPN = -k_o + \sum_{i=1}^n \frac{fCi}{(1+D)^i} \quad [\text{Ec.4.2}]$$

Donde:

k_o = Inversión o Capital [\$]

fCi = Flujo de carga de año i [\$]

D = Tasa de descuento real utilizada [%]

i = Numero de periodos de vida del proyecto [años]

$$\begin{aligned} VPN &= -5500 + \frac{2095,93}{(1 + 0,1021)^1} + \frac{3648,24}{(1 + 0,1021)^2} + \frac{5275,55}{(1 + 0,1021)^3} \\ &\quad + \frac{5847,86}{(1 + 0,1021)^4} + \frac{7673,17}{(1 + 0,1021)^5} \\ &= \mathbf{VPN = \$12029,35} \end{aligned}$$

El valor del VPN determinado mediante los flujos de caja es de \$12029,35. El valor de VPN tiene un valor positivo por lo cual el proyecto es factible de realizarlo.

La tasa de rendimiento requerida fue establecida mediante los indicadores que se detallan a continuación:

- Riesgo país.
- Tasa de inflación anual.
- Tasa de interés pasiva.

$$TMAR = \text{riesgo país \%} + \text{inflación anual\%} + \text{interés pasiva\%} \quad [\text{Ec.4.3}]$$

$$TMAR = 10,19\% + 4,36\% + 5,55\%$$

$$TMAR = 20,1\%$$

4.9.3. Tasa interna de retorno (TIR)

Es aquella tasa de descuento que reduce a cero el valor presente neto (VAN). Donde la TIR representa el porcentaje de ganancia máxima que se aspira obtener en la producción. En la tabla 4.11 se muestra los valores del TIR que hacen cero al VAN.

Tabla 4. 11.

Valores TIR

TIR (%)	VPN (\$)
54,95	1,09
54,96	0
54,97	-1,07

Con los datos de la tabla 4.11 se procede a calcular el valor real de la TIR de la siguiente manera:

$$TIR = TIR_A + (TIR_B - TIR_A) \frac{VPA}{VPA - VPP} \quad [\text{Ec.4.4}]$$

$$TIR = 0,5495 + (0,5497 - 0,5495) \frac{1,09}{1,09 + 1,07}$$

$$TIR = 0,5496 = 54,96\%$$

4.9.4. Análisis costo - beneficio

El análisis costo beneficio representa la rentabilidad que genera el proyecto por cada dólar invertido. Mediante los datos de la tabla 4.12 se obtiene este valor.

Tabla 4. 12.

Relación Costo-Beneficio

RELACIÓN COSTO BENEFICIO			
AÑOS	FCN	FCNA	FCNAA
1	2095,93	1901,76	1901,76
2	3648,24	3003,59	4905,35
3	5275,55	3940,98	8846,33
4	5847,86	3963,81	12810,14
5	7673,17	4719,21	17529,35
		17529,35	

$$R \frac{C}{B} = \frac{\sum FCNA}{I} \quad [\text{Ec.4.5}]$$

$$R \frac{C}{B} = \frac{17529,35}{5500}$$

$$R \frac{C}{B} = 3,18$$

Donde:

FCN = Flujo de Carga Neto [\\$]

Por lo tanto por cada dólar invertido en elaboración de la máquina de vaciado se recuperará \$ 3,18 de ingreso.

a. Recuperación de la inversión

El periodo de recuperación es el tiempo que se tarda en ser recuperada la inversión inicial del sistema.

$$PR = \frac{I - FCAA}{FCAP} \times 12 \text{ meses} \quad [\text{Ec.4.6}]$$

$$PR = \frac{5500 - 4905,35}{3940,98} \times 12 \text{ meses}$$

$$PR = 1,81$$

$$PR = 1 \text{ año, } 9 \text{ meses y } 21 \text{ dias.}$$

En la tabla 4.13 se detallan los valores de comparación que determinan que el proyecto es viable y seguro.

Tabla 4. 13.**Valores límite para que el proyecto sea viable**

TÉCNICA DE EVALUACIÓN	RANGO
VPN,\$	VPN>0
TIR,%	TIR%>TMAR%
PRI, Años	PRI<n
RBC	RBC>1

En la siguiente tabla 4.14 se puede observar los valores determinados en este análisis financiero realizado para el proyecto.

Tabla 4. 14.**Valores límites obtenidos para el proyecto**

TÉCNICA DE EVALUACIÓN	RANGO
VPN,\$	12029,35>0
TIR,%	54,96%>20,1%
PRI, Años	1 año< 5años
RBC	3,18>1

4.9.5. Interpretación del análisis financiero

- Mediante el VAN obtenido de \$ 12029,35 permite una decisión correcta, lo que ratifica que el proyecto es positivo para la implementación en la empresa “NOVEL” teniendo en cuenta el TIR de 54,96% el cual es mayor para la TMAR de 20,1% de la totalidad de inversión dando así que el proyecto es eficaz y viable.
- La inversión realizada para el proyecto tiene una etapa de recuperación de 1 año 9 meses y 21 días por tal motivo es de gran satisfacción para la Empresa Cerámica “NOVEL”, lo cual se garantiza de forma segura para continuar implementando este tipo de proyectos de construcción y automatización.
- Los datos que se determinaron y comparando con los valores límites se concluye que el proyecto es muy viable para la empresa Cerámica “NOVEL”.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Mediante la implementación de la interfaz hombre máquina se diseñó y construyó el sistema de vaciado de barbotina para el crecimiento y desarrollo de cada uno de los productos de la Empresa Cerámica NOVEL.
- La adquisición de los materiales eléctricos, mecánicos y neumáticos implementados para la automatización de la máquina de vaciado de barbotina favoreció en gran parte al operario ya que proporciona un proceso de manera confiable y productiva.
- Mediante la instalación del logo 230 RC marca Siemens nos permitió automatizar el proceso de dosificación de una manera rápida y confiable para cubrir las expectativas de la Empresa y al mismo tiempo satisfacer las necesidades de cada uno de los clientes potenciales.
- A través de la Pantalla del logo TD display marca Siemens se pudo realizar el control del proceso de dosificación en forma automática y manual, siendo así un sistema de gran ayuda para el operario y de esta manera evitar el esfuerzo físico y enfermedades ergonómicas.
- El diseño mecánico de la máquina se lo realizó mediante la aplicación de un software de simulación, permitiendo realizar el análisis de los esfuerzos estáticos de cada parte mecánica para poder identificar las fallas que se pudieran presentar durante el diseño.
- Con la selección de las bombas de diafragma de 2 hp se logró facilitar el sistema de retorno del fluido (barbotina) que va desde el tanque de recirculación hasta el tanque de almacenamiento, el mismo proceso se lo realiza desde el tanque de reserva hacia el tanque de almacenamiento logrando así un sistema cerrado y a la vez eficaz.

- Con la elaboración del circuito de potencia y control se logró un correcto funcionamiento de la máquina de vaciado de barbotina para lo cual se tomó como referencia el tiempo tradicional de 3 horas con 40 minutos que realizaba el operario durante el proceso diario, teniendo como resultado que gracias a la implementación del sistema eléctrico se logró un tiempo actual de 2 horas con 18 minutos para el mejoramiento del proceso.
- Mediante el análisis financiero que se lo realizó durante la elaboración, construcción y aplicación del proyecto fue de \$ 5500 de inversión para lo cual se estima la recuperación del monto invertido en un periodo de 1 año, 9 meses y 21 días dándonos como resultado un proyecto factible y rentable.
- Con la implementación de la máquina de vaciado de barbotina el tiempo estimado para el proceso diario se reduce a 2 horas con 18 minutos, de esta manera brinda un mejoramiento para la productividad de la empresa.

5.2. Recomendaciones

- Parametrizar adecuadamente las posiciones del eje Z, con los finales de carrera para evitar las colisiones que puedan afectar a los elementos de transmisión.
- Para un correcto manejo de la máquina se recomienda revisar el manual de operaciones para no tener ningún tipo de dificultad.
- Se recomienda seleccionar de manera adecuada el tiempo de las válvulas solenoides para la correcta dosificación de los moldes.
- Al término de la jornada de trabajo se debe realizar paulatinamente la limpieza de todo el sistema de vaciado de barbotina evitando así que el material se solidifique en las válvulas solenoide y bombas evitando su deterioro.

- Se recomienda la implementación de un compresor adicional ya que al ser el único no abastece el suficiente aire a las bombas por ende su funcionamiento no es el adecuado.
- Realizar la lubricación del tornillo de potencia periódicamente para evitar que se reseque y se produzca fricción con la tuerca de bronce.
- La máquina de vaciado de barbotina se la debe dar mantenimiento cada 3 meses para evitar su deterioro.
- En el proceso de operación de la máquina se debe cumplir con todas las normas de seguridad tanto para el operador como para la máquina.
- Se recomienda realizar cada 3 meses mantenimiento a los sensores de nivel para mayor seguridad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] «Moldeo por colada,» [En línea]. Available: http://ceramica.wikia.com/wiki/Moldeo_por_colada. [Último acceso: 24 09 2015].
- [2] «Cerámica Novel,» [En línea]. Available: www.ceramicanovel.com. [Último acceso: 25 09 2014].
- [3] «Cerámica Novel,» Dispensadores 3D, [En línea]. Available: http://www.ceramicanovel.com/index.php?option=com_content&view=article&id=7. [Último acceso: 26 09 2014].
- [4] G. F. Fernández, «Academia,» [En línea]. Available: http://www.academia.edu/6310139/Comparaci%C3%B3n_entre_las_t%C3%A9cnicas_convencionales_y_las_microondas_para_la_conformaci%C3%B3n_y_secado_de_materiales_cer%C3%A1micos_fabricados_por_colado. [Último acceso: 28 09 2014].
- [5] J. E. Llumiquinga Suquillo, «Estudio de las viscosidades medias en tuberías de sistemas de distribución de fluidos no newtonianos tipo barbotina en la empresa FV para propósitos de aumento de la eficiencia en procesos de producción,» Quito, 2012.
- [6] Indesur Argentina S.A., «Bombas de doble diafragma accionadas por aire,» Argentina.
- [7] «Aguamarket,» [En línea]. Available: <http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=14668&nombreactivo=bomba+neumatica+de+doble+membrana+>. [Último acceso: 02 10 2014].
- [8] «ADAJUSA,» Construcciones PBR s.l., [En línea]. Available: <https://adajusa.es/electrovalvulas-1-4/217-electrovalvula-1-4-5-vias-biestable-220v.html>. [Último acceso: 02 10 2014].
- [9] «Todo industria,» Electroválvula 5/3 vías 08VS, 01 2015. [En línea]. Available: <http://www.todoindustria.es/inicio/index.php/mntienda/valvulas-e-y->

- cilindros/valvula-5-3-vias-electrica-detail.html. [Último acceso: 02 10 2014].
- [10] «Motor eléctrico trifásico,» © Monografias.com S.A., [En línea]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos91/motor-electrico-trifasico/motor-electrico-trifasico.shtml>. [Último acceso: 02 10 2014].
- [11] «Reductor de velocidad ejes ortogonales,» © Motor Maq, [En línea]. Available: <http://www.motorma.com.ar/productos/reductor-de-velocidad-ejes-ortogonales&id=7>. [Último acceso: 02 10 2014].
- [12] «Val.Co Float level switch / electromechanical,» Direct Industry, [En línea]. Available: <http://www.directindustry.com/prod/valco-srl/product-25159-485691.html>. [Último acceso: 03 10 2014].
- [13] «Inoxidable bola de flotador magnético eléctrico sensor de nivel de líquido interruptor de flotador,» © 1995-2015 Alibaba.com, [En línea]. Available: <http://spanish.alibaba.com/p-detail/inoxidable-bola-de-flotador-magn%C3%A9tico-el%C3%A9ctrico-sensor-de-nivel-de-l%C3%ADquido-interruptor-de-flotador-300005003962.html>. [Último acceso: 05 10 2014].
- [14] O. Olmeda Oter, Trabajo de Microrrobots: Sensores de medida por contacto.
- [15] «Tutoriales de programación de PLC en PDF,» WordPress.com, [En línea]. Available: <https://estudiandoinstrumentacion.wordpress.com/2012/01/22/tutoriales-de-programacion-de-plc-en-pdf/>. [Último acceso: 10 10 2014].
- [16] «Uso del simulador PLC S7-200 y el software microwin 32,» Blog del PLC, [En línea]. Available: <http://blogdelplc.blogspot.com/2012/02/uso-del-simulador-plc-s7-200-y-el.html>. [Último acceso: 10 10 2014].
- [17] «Dispositivos HMI de Pro-face para autómatas programables,» blogElectronica.com, [En línea]. Available: <http://www.blogelectronica.com/hmi-plc-pro-face-automata-programables/>. [Último acceso: 23 10 2014].

- [18] «Planchas de Acero Carbono,» terO Aceros Otero, [En línea]. Available: http://www.acerosotero.cl/planchas_acero_carbono_astm_a36.html. [Último acceso: 25 10 2014].
- [19] «Productos Laminados, Redondo Liso,» Celsa Group, 2015. [En línea]. Available: http://www.celsagroup.com/secciones/productos/plain_rounds.aspx. [Último acceso: 25 10 2014].
- [20] «Acero Inoxidable,» MetalPanel.com.mx, [En línea]. Available: <http://www.metalpanel.com.mx/index.php/acero-inoxidable>. [Último acceso: 25 10 2014].
- [21] «Bronce fosforado,» Promecol Ltda., [En línea]. Available: <http://www.promecol.com/bronze-fosforado/>. [Último acceso: 18 11 2014].
- [22] «Diseño de elementos de máquinas I,» Eumed.net, [En línea]. Available: <http://www.eumed.net/libros-gratis/ciencia/2013/14/tornillo-ponencia.html>. [Último acceso: 20 11 2014].
- [23] R. Bermudez, «Roscas y Roscado,» Blogspot.com, 2014. [En línea]. Available: <http://reinaldobermudez.blogspot.com/>. [Último acceso: 20 11 2014].
- [24] «Bandas,» © Casa de las Mangueras y Conexiones S.A, 2013. [En línea]. Available: http://www.mangueras.com.ni/?drv=products&page=bandas_transmisiones. [Último acceso: 29 11 2014].
- [25] «Poleas,» Mecanicainfantil.wikispaces.com, [En línea]. Available: <http://mecanicainfantil.wikispaces.com/Poleas?responseToken=134916da3a3a62309e27826064e9e4cc>. [Último acceso: 03 12 2014].
- [26] «Productos bronce,» All-Biz Ltd., [En línea]. Available: http://www.ve.all.biz/productos-bronce-g5934#.VdtPjfl_Oko. [Último acceso: 03 12 2014].

- [27] «Rodamientos radiales,» Nachi Europe GmbH, [En línea]. Available: <http://www.nachi.de/spanish/productos/rodamientos/rodamientos-radiales.html>. [Último acceso: 03 12 2014].
- [28] Rodamientos FAG, Rodamientos de bolas · Rodamientos de rodillos · Soportes · Accesorios, vol. Catálogo WL 41 520/3 SB.
- [29] «Chumaceras,» Rodamendez Importadores, [En línea]. Available: http://www.rodamendez.cl/detalle_productos.php?prod_id=2. [Último acceso: 10 12 2014].
- [30] «Tuberías,» Madercin.com, [En línea]. Available: <http://www.madercin.com/productos>. [Último acceso: 10 12 2014].
- [31] W. . T. Segui, «Diseño de estructuras de acero con LRFD,» Thomson Editores S.A. de C.V., México D.F., 2000.
- [32] J. . E. Shigley y C. R. Mischke, «Diseño en ingeniería mecánica,» MacGraw-Hill, México D.F., 2006.
- [33] R. Mott, «Diseño de Elementos de Máquinas,» Pearson Educación S.A., México D.F., 2006.
- [34] J. Shigley y L. Mitchell, «Diseño en Ingeniería Mecánica,» McGraw-Hill Companies Inc., México D.F., 1999.
- [35] «Soluciones de bombeo,» Sandpiper, [En línea]. Available: <http://www.tecfluid.cl/files/files/SANDPIPER/Catalogos/General/FOLLETO%20GENERAL%20ESPA%C3%91OL.pdf>. [Último acceso: 21 09 2015].
- [36] «Sandpiper - Una marca de bombas de Warren Rupp,» Sandpiper.com, [En línea]. Available: http://sp.salesmrc.com/pdfs/spprodbr_es.pdf. [Último acceso: 16 04 2015].
- [37] «Productos Eléctricos LSIS,» LS IS, [En línea]. Available: http://www.equipoelectricolg.com/images/catalogos/Metasol_Products_LS.pdf. [Último acceso: 18 04 2015].

- [38] «Reles - Relay,» CAMSCO International, [En línea]. Available: <http://www.camscointernational.com/productos/reles.html>. [Último acceso: 18 04 2015].
- [39] «W22 - Motor Eléctrico Trifásico,» [En línea]. Available: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-w22-motor-trifasico-tecnico-mercado-latinoamericano-50024297-catalogo-espanol.pdf>. [Último acceso: 24 04 2015].
- [40] «Reductores Coaxiales de Engranajes Helicoidales,» Transtecno The Modular Gear Motor, [En línea]. Available: http://www.transtecno.com/filealbum/151_0.pdf. [Último acceso: 25 04 2015].
- [41] «Finales de carrera,» CAMSCO International, [En línea]. Available: <http://www.gobantes.cl/control-y-potencia/interruptores-fin-de-carrera-microswitsh-ekoline>. [Último acceso: 04 05 2015].
- [42] «Sensor de nivel de flotador magnéticos / para tanque,» Direct Industry, [En línea]. Available: http://www.directindustry.es/prod/barksdale/product-7048-56551.html#product-item_1412215. [Último acceso: 04 05 2015].
- [43] «P49. Controlador de Nivel, KF-06.,» Camsco Electric Co. Ltd., [En línea]. Available: <http://www.camsco.com.tw/spa/floatless-level-control/P49.html>. [Último acceso: 04 05 2015].
- [44] «Válvula de solenoide para gas y líquido ZW,» Round Star, [En línea]. Available: <http://www.solenoidvalve.es/1-6-water-air-solenoid-valve.html>. [Último acceso: 04 06 2015].
- [45] «Válvulas electromagnéticas neumáticas,» Fly Automation, [En línea]. Available: http://spanish.pneumatic-equipments.com/china-5_2_way_low_pressure_pneumatic_solenoid_valves_4v310_10_dc24v-1803900.html. [Último acceso: 04 06 2015].
- [46] «Logo! Siemens,» [En línea]. Available: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf. [Último acceso: 07 06 2015].

- [47] «Tasas de Interés,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.bce.fin.ec/index.php/nuevas-publicaciones1>.
- [48] «SKF rodamientos, SKF 6203-2RS,» Exion Mechanical Equipment, [En línea]. Available: <http://spanish.xbearings.com/spp/skf-6203-2rs-sppproduct6938.html>. [Último acceso: 10 03 2015].
- [49] «Catálogo de chumaceras,» For New Technology Network Corporation.

ANEXOS

ANEXO A.
SELECCIÓN DE LOS
ELEMENTOS
MECÁNICOS DE
CONSTRUCCIÓN

ANEXO B.
SELECCIÓN DE
ELEMENTOS
NEUMÁTICOS

ANEXO C.
SELECCIÓN DE
ELEMENTOS
ELÉCTRICOS

ANEXO D.
PLANOS MECÁNICOS

ANEXO E.
PLANOS ELÉCTRICOS

ANEXO F.
PROGRAMACIÓN DEL
PLC

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Fabián Abelardo Guamangallo Lema y Franklin Xavier Iza Toaquiza, bajo mi supervisión.

ING. MS.c Juan Correa
DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. Freddy Salazar
CODIRECTOR DEL PROYECTO

ING. Katia Torres
DIRECTORA DE LA CARRERA

DR. Rodrigo Vaca
SECRETARIO ACADÉMICO