



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECATRÓNICO**

**AUTORES: ALMACHE BERMEO, DAVID RICARDO
 CHILUISA COELLO, ALEX JAVIER**

TEMA:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ENFARDADORA
AUTOMÁTICA PARA LA COMPACTACIÓN DE CARTÓN,
PAPEL Y PET CON CAPACIDAD DE HASTA 30 TONELADAS
PARA LA EMPRESA GREEN POINT.**

DIRECTOR: Ing. PAZMIÑO M., J. FRANCISCO MSc.

CODIRECTOR: Ing. TIPÁN C., EDGAR F.

Sangolquí, Octubre 2014

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ENFARDADORA AUTOMÁTICA PARA LA COMPACTACIÓN DE CARTÓN, PAPEL Y PET CON CAPACIDAD DE HASTA 30 TONELADAS PARA LA EMPRESA GREEN POINT.”, fue realizado en su totalidad por David Ricardo Almache Bermeo y Alex Javier Chiluisa Coello, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica.

Ing. J. Francisco Pazmiño M.

DIRECTOR

Ing. Edgar F. Tipán C.

CODIRECTOR

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, David Ricardo Almache Bermeo y Alex Javier Chiluisa Coello

Declaramos que proyecto de grado titulado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ENFARDADORA AUTOMÁTICA PARA LA COMPACTACIÓN DE CARTÓN, PAPELCA Y PET CON CAPACIDAD DE HASTA 30 TONELADAS PARA LA EMPRESA GREEN POINT.”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas 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 de esta tesis de grado.

David Ricardo Almache Bermeo

Alex Javier Chiluisa Coello

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA AUTORIZACIÓN

Nosotros, David Ricardo Almache Bermeo y Alex Javier Chiluisa Coello

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ENFARDADORA AUTOMÁTICA PARA LA COMPACTACIÓN DE CARTÓN, PAPEL Y PET CON CAPACIDAD DE HASTA 30 TONELADAS PARA LA EMPRESA GREEN POINT.”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

David Ricardo Almache Bermeo

Alex Javier Chiluisa Coello

DEDICATORIA 1

El presente proyecto de titulación es dedicado a mis padres Norma y Hugo ya que ellos depositaron todo su esfuerzo en mí, para lograr las metas establecidas, por ser partícipes de mis sueños por compartir cada día los altibajos de la vida a mi lado.

A mis hermanos y sobrinos, porque son un pilar fundamental para lograr mis metas, son quienes me impulsan a emprender nuevos caminos.

A mis compañeros con quienes pasamos la mayoría de tiempo en la universidad, compartiendo varias etapas de sacrificio y satisfacción para alcanzar un mismo objetivo.

David Ricardo Almache Bermeo.

DEDICATORIA 2

“La razón más importante para trabajar en la escuela y en la vida es el placer de trabajar, el placer de su resultado y el conocimiento del valor del resultado para la comunidad.”

Albert Einstein

A Dios por acompañarme cada día sin permitir que decline en mis sueños.

A toda mi hermosa familia, desde mis abuelos hasta mis sobrinos por ser el pilar que me ha sostenido en cada etapa de la vida.

A mi abuelito Jaime que me crio con cariño y siempre le llevo en mi corazón.

A mis abuelitas Blanquita y Laura por enseñarme que con cariño y esfuerzo ninguna batalla es invencible en la vida.

A mi pa por ser mi amigo, por apoyarme en todo y por su esfuerzo ser el mejor ejemplo a seguir en mi vida.

A mi mami que con amor y disciplina siempre ha estado a mi lado y me enseñó que la honestidad es la base de la vida.

A mi hermana Sharon porque sin ella ningún logro estaría completo en mi vida.

A Cachito que con su ternura me conmueve e impulsa a luchar más fuerte cada día.

A mi Salo por su amor incondicional.

Alex Javier Chiluisa Coello.

AGRADECIMIENTO 1

A Dios que ha sido mi fuente de amor y sabiduría, mi compañero infalible quien estuvo a mi lado hasta en los momentos de mayor dificultad.

A mis padres, por su gran ejemplo de perseverancia, por cada uno de sus consejos porque gracias a ellos sé que la responsabilidad se la debe vivir como un compromiso de dedicación y esfuerzo.

A la ESPE por enriquecerme intelectual y moralmente, por darme la oportunidad de obtener el título de ingeniero.

A todos los docentes que me instruyeron y me guiaron por el camino correcto para entender el porqué de muchas cosas y por sembrar en mí, disciplina, honestidad, respeto y perseverancia

A todas las personas que una forma u otra influyeron para que llegara al lugar en el que estoy.

David Ricardo Almache Bermeo.

AGRADECIMIENTO 2

A Dios por estar a mi lado, y siempre enseñarme un mejor camino para cada decisión de mi vida.

A mi pa, mi mami y mis hermanos por compartir todos los triunfos y fracasos, que con amor, alegría, dedicación y sacrificio me ayudaron a cumplir esta meta. A mis tíos Edgar y Francelina por estar pendientes de mi a la distancia y también acompañarme en esta meta cumplida. A toda mi familia por todo su apoyo y ayuda son lo más importante que tengo en la vida.

Al ingeniero Iván Osorio y su familia por acogerme y por darme la oportunidad de aplicar mis conocimientos a favor de su empresa e instruirme en cada situación laboral nueva.

A Salo por ser la mejor persona que pudo haberme acompañado en todo este camino, por apoyarme cada día, por todos los momentos que necesité un abrazo tuyo, en fin, por ser mi mejor amiga. También gracias a toda tu familia por el apoyo brindado desde el principio hasta este momento.

A mis amigos Álvaro, Chino, Lenin que me apoyaron en cada momento bueno y malo de esta etapa y de la vida. Se pasaron.

Alex Javier Chiluisa Coello.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	i
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA 1	iv
DEDICATORIA 2	v
AGRADECIMIENTO 1	vi
AGRADECIMIENTO 2	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
1. CAPÍTULO I.....	1
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES	2
1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	4
1.5 ÁREA DE INFLUENCIA	5
1.6 ALCANCE DEL PROYECTO	5
2. CAPÍTULO II.....	7
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
2.1 HIDRÁULICA	7
2.2 PRENSA HIDRÁULICA.....	7
2.3 CILINDRO HIDRÁULICO	8
Cilindro doble efecto.....	9

Fuerza de empuje en cilindros doble efecto	9
2.4 VÁLVULAS HIDRÁULICAS.....	10
2.4.1 Válvula distribuidora	11
2.4.2 Válvulas de cierre (bloqueo)	11
2.4.3 Válvula reguladora de presión	12
2.4.4 Válvula de flujo (caudal)	12
2.5 BOMBAS HIDRÁULICAS.....	13
2.5.1 Bomba de engranes	13
2.5.2 Bomba de pistones	15
2.5.3 Bomba de lóbulos	15
2.5.4 Bomba de paletas.....	16
2.6 TANQUE HIDRÁULICO	17
2.6.1 Partes de un tanque hidráulico	18
2.6.2 Accesorios para tanques	19
2.7 FILTROS HIDRÁULICOS.....	19
2.7.1 Filtros de succión.....	20
2.7.2 Filtro de retorno y retorno por alivio	20
2.8 MANÓMETROS.....	21
2.8.1 Manómetro de columna líquida.....	21
2.8.2 Manómetro Bourdon	22
2.9 SISTEMAS DE CONTROL.....	23
2.9.1 Señal analógica	23
2.9.2 Señal digital	24
2.10 LAZO DE CONTROL ABIERTO.....	24
2.11 LAZO DE CONTROL CERRADO.....	25
2.12 TIPOS DE CONTROL.....	25
2.12.1 Control ON/OFF.....	26
2.12.2 Control PID	26
2.13 SISTEMA ESTRUCTURAL	27
2.13.1 Viga	27

2.13.2	Columna	27
2.13.3	Marco rígido.....	28
2.13.4	Cartela	28
2.13.5	Pasadores.....	29
2.13.6	Pernos	29
2.14	SISTEMA CIERRE DE LA PUERTA (VOLANTE)	30
2.15	SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO	30
2.15.1	Motores.....	30
2.15.2	Motores de corriente continua	31
2.15.3	Motores de corriente alterna	32
2.15.4	Selección de un motor	36
2.15.5	Arranque directo	36
2.15.6	Arranque estrella triángulo.....	37
2.15.7	Potencia de accionamiento.....	41
2.15.8	Sensores.....	41
2.15.8.1	Tipos de sensores.....	41
2.15.9	Controlador lógico programable PLC.....	42
2.15.10	Gabinete de control y accesorios.....	43
	Rieles y canaletas	45
2.15.11	Protecciones eléctricas	46
2.15.12	Guardamotor.....	47
2.15.13	Cable de potencia y control	48
2.15.14	Contactores	49
3.	CAPÍTULO III	51
	DISEÑO MECATRÓNICO	51
3.1	DISEÑO CONCEPTUAL	51
3.2	SISTEMA HIDRÁULICO	51
3.2.1	Selección del cilindro hidráulico.....	51
3.2.2	Presión y caudal del aceite hidráulico.....	53
3.2.3	Selección del depósito oleohidráulico.....	54

3.2.4	Selección de la bomba y válvulas	55
3.2.5	Dimensionamiento de las mangueras hidráulicas.....	56
3.2.6	Filtro hidráulico	57
3.2.7	Fluido hidráulico.....	58
3.3	SISTEMA MECÁNICO	59
3.3.1	Dimensionamiento de la viga AB	60
3.3.2	Dimensionamiento de la viga CD.....	67
3.3.3	Análisis de pandeo del vástago	71
3.3.4	Dimensionamiento de los prisioneros	77
3.4	SISTEMA ELÉCTRICO – ELECTRÓNICO	80
3.4.1	Selección del motor	80
3.4.2	Selección del conductor eléctrico	81
3.4.3	Selección de contactores.....	82
3.4.4	Selección de la protección eléctrica (Guardamotor)	84
3.4.5	Sensores.....	85
3.4.6	Controlador lógico programable.....	86
3.4.7	Fuente de alimentación 24 VDC	86
3.4.8	Esquemas eléctricos de potencia y de control.....	87
3.4.9	Distribución del gabinete eléctrico	89
3.5	SISTEMA DE CONTROL	90
3.5.1	Descripción del proceso	90
3.5.2	Diagrama de flujo.....	91
3.5.3	Diagrama de control	93
3.5.4	Diagrama de procesos e instrumentación	94
3.5.5	Asignación de variables de control	97
3.5.6	Diseño del HMI	97
3.5.7	Programación Ladder	103
4.	CAPÍTULO IV.....	104
	CONSTRUCCIÓN, PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	104
4.1	LISTA DE MATERIALES.....	104

4.1.1	Hidráulica:.....	104
4.1.2	Eléctrico-electrónico	105
4.1.3	Metalmecánica:.....	106
4.2	PROCESO DE FABRICACIÓN.....	108
4.2.1	Corte.....	108
4.2.2	Maquinado torno y fresadora.....	108
4.2.3	Unión por soldadura	109
4.2.4	Unión por pernos y pasadores.....	110
4.3	MONTAJE ESTRUCTURAL Y SISTEMA MECÁNICO	110
4.4	MONTAJE DE LA PARTE HIDRAULICA	114
4.5	MONTAJE DE LA PARTE ELECTRICA-ELECTRÓNICA	115
4.6	TIEMPOS DE FABRICACIÓN.....	116
4.7	PROTOCOLO DE PRUEBAS	117
4.7.1	Pruebas en vacío.....	117
4.7.2	Pruebas con carga.....	117
4.7.3	Análisis de Resultado	118
5.	CAPÍTULO V.....	121
	ANÁLISIS DE COSTOS	121
5.1	COSTOS DIRECTOS.....	121
5.1.1	Costos indirectos	122
5.2	EVALUACIÓN FINANCIERA	123
5.2.1	Recuperación de la inversión.....	123
6.	CAPÍTULO VI.....	129
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	129
	BIBLIOGRAFÍA.....	131
	ANEXOS.....	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1: Historia del Reciclaje.....	2
Figura No. 2: Fardos de cartón y PET.	3
Figura No. 3: Principio de Pascal.....	8
Figura No. 4: Cilindro hidráulico.....	8
Figura No. 5: Elementos de un cilindro hidráulico doble efecto.	9
Figura No. 6: Desplazamiento de empuje.....	10
Figura No. 7: Desplazamiento de retracción.....	10
Figura No. 8: Fuerza de empuje.	10
Figura No. 9: Válvula a) 2/2, b) 3/2, c) 4/2, d) 4/3 e) 5/2, f) 5/3.....	11
Figura No. 10: a) Válvula de cierre, b) válvula de bloqueo.	12
Figura No. 11: Válvula reguladora de presión.	12
Figura No. 12: Válvula de flujo (caudal).....	13
Figura No. 13: Bomba de engranajes exteriores rígidos.....	14
Figura No. 14: Bomba engranajes interiores.	14
Figura No. 15: Bomba de dos pistones.....	15
Figura No. 16: Bomba hidráulica de tipo lobular.	15
Figura No. 17: Bomba de paletas.	16
Figura No. 18: Tanque hidráulico.....	17
Figura No. 19: Vista frontal partes de un tanque hidráulico.	18
Figura No. 20: Vista superior partes de un tanque hidráulico.	18
Figura No. 21: Filtro de succión.	20
Figura No. 22: Filtro de a) retorno y b) retorno por alivio.	21
Figura No. 23: Manómetro de columna líquida.	21
Figura No. 24: Manómetro tipo Bourdon.....	23
Figura No. 25: Señal Analógica.	24
Figura No. 26: Señal Digital.	24
Figura No. 27: Lazo de control Abierto.	25
Figura No. 28: Lazo de control con retroalimentación.	25
Figura No. 29: Viga.....	27

Figura No. 30: Columna.....	27
Figura No. 31: Marco Rígido.....	28
Figura No. 32: Soporte de Cartela.....	28
Figura No. 33: Pasador de acero.....	29
Figura No. 34: Pernos de sujeción.....	29
Figura No. 35: Sistema de cierre (Volante).....	30
Figura No. 36: Principio de funcionamiento.....	31
Figura No. 37: Motor DC.....	31
Figura No. 38: Motor de corriente alterna.....	32
Figura No. 39: Arranque directo.....	37
Figura No. 40: Esquemas a) Estrella y b) Triángulo.....	38
Figura No. 41: Arranque estrella triángulo.....	39
Figura No. 42: Secuencia de funcionamiento arranque estrella-triángulo.....	40
Figura No. 43: Tipo de sensores.....	42
Figura No. 44: PLC (Programmable Logic Controller), Renu Electronics.....	43
Figura No. 45: Gabinete de control.....	44
Figura No. 46: Pulsadores.....	44
Figura No. 47: Borneras.....	45
Figura No. 48: Riel DIN.....	45
Figura No. 49: Canaletas plásticas.....	46
Figura No. 50: Guardamotor.....	48
Figura No. 51: Cables de potencia y control.....	48
Figura No. 52: Contactor aspecto físico.....	49
Figura No. 53: Gráfica de selección de un cilindro hidráulico.....	52
Figura No. 54: Filtro instalado en la centralina hidráulica.....	58
Figura No. 55: Viga Critica AB.....	59
Figura No. 56: Viga Principal CD.....	60
Figura No. 57: Distribución de fuerza en las vigas AB y CD.....	60
Figura No. 58: Distancia entre centros de las vigas CD.....	61
Figura No. 59: Viga AB.....	62

Figura No. 60: Reacciones y momentos en la viga AB.....	62
Figura No. 61: Diagrama general de esfuerzos fluctuantes.....	63
Figura No. 62: Fuerzas aplicadas en la viga CD.....	67
Figura No. 63: Reacciones y momentos de la viga principal.	68
Figura No. 64. Vástago del cilindro hidráulico.....	71
Figura No. 65. Prisionero.	77
Figura No. 66. Dimensiones generales de la fuente Phoenix Contact.	87
Figura No. 67. Esquema de potencia para la enfardadora.	88
Figura No. 68. Esquema de control para la enfardadora.	89
Figura No. 69: Distribución del tablero de control.	89
Figura No. 70: Diagrama de flujo del proceso de compactación.....	93
Figura No. 71: Diagrama de control del PLC.	94
Figura No. 72: Árbol de pantallas.	98
Figura No. 73. Pantalla principal HMI.	99
Figura No. 74. Pantalla selección del material.....	99
Figura No. 75. Pantalla de horas de servicio de las partes.....	100
Figura No. 76. Pantalla de manuales de la máquina.	100
Figura No. 77. Pantalla de inicio de proceso.	101
Figura No. 78. Pantalla de seteo de variables.	101
Figura No. 79. Pantalla de pruebas de funcionamiento del cilindro.	102
Figura No. 80. Pantalla de reporte de producción.....	102
Figura No. 81. Pantalla de permisos para el inicio del proceso.....	103
Figura No. 82: Corte de Material.....	108
Figura No. 83: Maquinado de partes.	109
Figura No. 84: Unión por soldadura.....	109
Figura No. 85: Unión por pernos.....	110
Figura No. 86: Nivelación y plomada de partes.	110
Figura No. 87: Estructura principal.	111
Figura No. 88: Columnas de la estructura.	111
Figura No. 89: Placas laterales.....	111

Figura No. 90: Bisagras.	112
Figura No. 91: Conjunto de la puerta.	112
Figura No. 92: Conjunto placa compactadora.	112
Figura No. 93: Soporte cilindro hidráulico.	113
Figura No. 94: Volante seguro de la puerta.	113
Figura No. 95: Cilindro hidráulico.	113
Figura No. 96: Remates.	114
Figura No. 97: Pintura.	114
Figura No. 98: Cilindro hidráulico.	114
Figura No. 99: Mangueras hidráulicas.	115
Figura No. 100: Distribución y cableado de elementos eléctricos.	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1. Clasificación de los motores de Corriente Alterna.	33
Tabla No. 2. Diferencias entre motor AC y DC.....	34
Tabla No. 3. Similitudes entre motores AC y DC.....	35
Tabla No. 4. Características para la selección del cilindro hidráulico.....	53
Tabla No. 5. Análisis de alternativas entre tipos de bombas hidráulicas.....	55
Tabla No. 6. Rango de velocidades recomendadas.....	57
Tabla No. 7. Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga.....	65
Tabla No. 8. Selección de conductores eléctricos.....	82
Tabla No. 9. Dimensionamiento de contactores.....	83
Tabla No. 10. Tabla Selección de contactores Schneider.....	84
Tabla No. 11. Tabla de selección de la fuente de alimentación.	87
Tabla No. 12. Lista de materiales hidráulicos.....	104
Tabla No. 13. Lista de materiales Eléctrico-Electrónicos	105
Tabla No. 14. Lista de vigas.....	106
Tabla No. 15. Lista de planchas de acero y piezas maquinar.	107
Tabla No. 16. Tiempos de fabricación.....	116
Tabla No. 17. Protocolo de pruebas.....	117
Tabla No. 18. Parámetros de trabajo.	120
Tabla No. 19. Costos elementos mecánicos.	121
Tabla No. 20. Costos de diseño, fabricación y ensamblaje.....	122
Tabla No. 21. Valor de venta de las pacas de cartón, papel y PET.	123
Tabla No. 22. Valores de compra de cartón, papel y PET.	125
Tabla No. 23. Egresos proyectados a 20 años.	126
Tabla No. 24. Ingresos proyectados a 20 años.	127
Tabla No. 25. Flujo neto proyectado a 20 años.....	127
Tabla No. 26. Resultados VAN y TIR.....	128

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Características Aceite RANDO HD 46.....	139
ANEXO B. Catálogo UPN normalizados	140
ANEXO C. Variables de control	141
ANEXO D. Programación ladder	147
ANEXO E. Datasheet de la máquina enfardadora.....	160
ANEXO F. Manual de operación y mantenimiento	161
ANEXO G. Planos mecánicos, hidráulico, eléctricos y electrónicos	183

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño y construcción de una enfardadora automática para la compactación de materiales reciclados como cartón, papel o PET con una capacidad de producción de pacas de hasta 300 kg. La máquina está comandada por un PLC (Controlador Lógico Programable) y se controla todas las variables por medio de un HMI (Interfaz humano – máquina). Dependiendo del tipo de material que se requiere compactar, en la pantalla táctil se despliega las características de operaciones establecidas y variables tales como presión de trabajo, número de ciclos, número de pacas y peso de la paca. Adicionalmente, la máquina cuenta con parámetros de operación los cuales pueden ser modificados únicamente por el propietario de la máquina. La máquina tiene alarmas de trabajo para resguardar tanto la vida de los operarios como la vida útil de la máquina. Todo el diseño está basado en las diferentes ramas que conforman la Ingeniería Mecatrónica, enfocándose principalmente en la Ingeniería Mecánica, Eléctrica y de Control.

PALABRAS CLAVES: Enfardadora, materiales reciclados, Pacas, PLC, presión de trabajo.

ABSTRACT

This project consists of the design and construction of an automatic baler for compacting recycled materials as cardboard, paper or PET with a production capacity of up to 300 kg bales. The machine is commanded by a PLC (Programmable Logic Controller) and all variables are controlled by an HMI (Human - Machine Interface). Depending on the type of material that requires compact, on the touch screen is possible to see the operation features and variables such as work pressure, number of cycles, number of bales and bale weight is displayed. Additionally, the machine has operating parameters which can be modified only by the owner of the machine. The machine is working alarms to protect the operator's life and service life of the machine. The whole design is based on the different branches that make up Mechatronics Engineering, focusing primarily on the Mechanical, Electrical and Control Engineering.

KEYWORDS: Baler, recycled materials, bales, PLC, pressure.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

En el mundo moderno en el que se vive, el consumo de productos biodegradables y no biodegradables se ha convertido en un mercado muy amplio para explotar. Dichos productos vienen empacados o en presentaciones especialmente de cartón, papel y PET (Polietileno Tereftalato) respectivamente. Los productos fabricados con estos materiales como por ejemplo cajas de cartón, botellas de plástico, envases de tetra pack cumplen una función y una vida útil en el diario vivir de las personas, sin embargo al finalizar la misma estos productos se convierten en desechos. La implementación de este proyecto permite almacenar este tipo de materiales para su posterior reciclaje para generar nuevos productos y disminuir la contaminación ambiental.

El diseño de la máquina se lo desarrolló en base a visitas técnicas que permitan conocer el funcionamiento de este tipo de maquinaria y de esta manera generar un mecanismo simple de compactación. También se realizó un control automatizado del proceso donde el operario, mediante un interfaz humano-máquina, pueda monitorear todos los parámetros necesarios para un correcto funcionamiento.

Con el desarrollo de este proyecto se pretende concientizar a las personas sobre el reciclaje de los materiales, especialmente no biodegradables como las botellas de plástico, y así poder reducir la contaminación actual del planeta y heredar a las futuras generaciones un mejor lugar para vivir.

1.2 ANTECEDENTES

Un concepto bastante acertado indica que reciclar es cualquier proceso en el cual materiales de desperdicio son recolectados y transformados en nuevos materiales que pueden ser utilizados como productos nuevos ("Reciclar," 2009).

HISTORIA DEL RECICLAJE



Figura No. 1: Historia del Reciclaje.

(Etincelle, 2011).

Como se puede ver en la Figura No. 1 en 1884 en París se inicia el primer programa de reciclaje. Para 1940 en Estados Unidos aparecen los rellenos sanitarios. El auge económico de la posguerra detiene el avance de reciclaje. En 1970 Estados Unidos celebra el primer día de la tierra y se diseña el símbolo del reciclaje. En los años 80 Woodbury, Nueva Jersey llega a ser la primera ciudad con un mandato de reciclaje. En 1994 el Presidente Clinton decreta que las agencias federales compren bienes usados y reciclados. En 1996 Estados Unidos alcanzó una tasa de reciclaje del 25% cumpliendo su meta. Para el año 2000 más de 5000 ciudades ya usaban programas de pago por lo que se desecha (pay-as-

you-throw). Y para el año 2009 en Estados Unidos el 33.8% de la basura se reciclaba (Etincelle, 2011).

En la actualidad la gran mayoría de los productos de consumo masivo como son los alimentos y en menor cantidad los equipos Eléctrico/Electrónicos vienen empacados en presentaciones de cartón y plásticos los cuales se desechan como basura una vez abierto el producto, ahí es donde entra la industria de la chatarrización y reciclaje, ya que es un método por el cual se reutiliza lo desechado de esta forma se reduce el impacto ecológico, dicho método consiste en recolectar el material a ser procesado mediante pacas o fardos. La enfardada de dicha materia, en la mayoría de los casos, se lo realiza de forma manual y se lo transporta en camiones hacia el lugar de procesamiento, pero el espacio que se utiliza para el transporte de dichas pacas es relativamente mayor en comparación a una paca compactada.

A nivel industrial el proceso se lo realiza de una manera automática, de tal forma que la maquinaria contiene los controles necesarios y es fácil de manipular por parte de los operarios, incrementando así la producción de las empresas. En la Figura No. 2 se puede apreciar una mayor cantidad de pacas enfardadas después de un proceso automático de compactación.



Figura No. 2: Fardos de cartón y PET.

(Etincelle, 2011).

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y construir una enfardadora automática para la compactación de cartón, papel y PET con capacidad de hasta 30 toneladas para la empresa GREEN POINT.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a. Crear una solución que incremente la producción de la empresa, mediante el dimensionamiento adecuado de cada una de las partes constituyentes de la enfardadora en función de los requerimientos establecidos.
- b. Desarrollar la programación necesaria para controlar la compactadora automática mediante la utilización de un PLC (Controlador Lógico Programable) de gama media y una pantalla para el desarrollo del HMI (Interfaz humano-máquina) de tal forma que controle el funcionamiento de la misma de acuerdo a los requerimientos establecidos.
- c. Realizar planos de cada una de las partes y conjuntos así como diagramas de conexiones y programación de la máquina (mecánicos, hidráulicos, eléctricos y de control), mediante la utilización de normas para facilitar la lectura del constructor de dicha máquina.
- d. Elaborar un manual de operación y mantenimiento.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En los últimos años el reciclaje de materiales como cartón, papel, y PET ha tenido un crecimiento importante en el sector industrial alcanzando altos niveles de competitividad dentro de empresas ecuatorianas.

La empresa GREEN POINT con el objetivo de estar a la vanguardia del reciclaje de estos materiales, ha decidido invertir en la construcción de una máquina enfardadora automatizada para incorporarla a su planta de

reciclaje en Latacunga-Ecuador e incrementar su nivel de producción y rendimiento.

De la misma manera la empresa busca abrirse campo en el mercado de la comercialización de este tipo de máquinas para lo cual quiere contar con memorias técnicas y económicas de todo el proceso desde la adquisición de materiales hasta el montaje y operación de la máquina.

1.5 ÁREA DE INFLUENCIA

Hoy en día el mundo se encuentra en el auge del reciclado de varios tipos de material con una concentración mayor en ciudades grandes en donde el consumo de productos tiene una demanda mucho más alta en comparación a ciudades pequeñas, debido a esto se genera una mayor producción de desperdicio. El objetivo es reutilizar dichos desperdicios contribuyendo a la preservación del medio ambiente. Es ahí donde el desarrollo del proyecto tiene lugar por medio de la inversión de la empresa GREEN POINT. Adicionalmente se busca beneficiar al sector empresarial del reciclaje con la comercialización de más máquinas con los parámetros ya establecidos por la empresa.

1.6 ALCANCE DEL PROYECTO

El presente proyecto de grado se enfoca en el diseño, construcción e implementación de una enfardadora automática con una capacidad de producción de pacas de cartón, papel y PET de 300 kg.

La máquina, como producto final consta de la unión de varios sistemas capaces de compactar cartón, y PET mediante la acción de un cilindro hidráulico que está sujeto de una estructura y es accionado mediante una electroválvula solenoide controlada desde un PLC.

El sistema mecánico es un armazón rectangular con una distribución de vigas y columnas que atenúan las fuerzas actuantes sobre la máquina debido a la presión ejercida por el cilindro al compactar el material

reciclado. Está constituido por la estructura, la placa compactadora, la puerta y el sistema de cierre.

El sistema hidráulico es capaz de alcanzar una presión de compactación de 9 MPa (1,3 kpsi).

El sistema Eléctrico-Electrónico y de control utiliza una interfaz humano-máquina fácil de manipular que contiene los parámetros de control e instrucciones de operación. Todos los elementos (PLC, protecciones eléctricas, contactores, fuente, etc.) están distribuidos ordenadamente dentro de un tablero de control.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 HIDRÁULICA

También conocida como potencia fluida es una herramienta indispensable para los diseñadores de máquinas de potencia.

Se encuentra ampliamente presente en la ingeniería y se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los líquidos. Todo esto depende de las fuerzas que se interponen con la masa y las condiciones a que esté sometido el fluido, relacionadas con la viscosidad de este.

Desde hace siglos se usó la energía hidráulica para transmitir potencia, se aprovechaba la energía potencial del agua en una corriente para mover una rueda que a su vez tomaba el agua para elevar y poder transportarla, de esa manera se usaba para el riego, mientras que el uso del fluido sometido a presión para transmitir potencia y controlar movimientos complejos es más reciente (Rueda, 2008).

Un fluido confinado es uno de los medios más versátiles para modificar, controlar y transmitir movimientos, es tan resistente como infinitamente flexible.

2.2 PRENSA HIDRÁULICA

La prensa hidráulica constituye la aplicación fundamental del principio de Pascal. Consiste en dos cilindros de diferente sección comunicados entre sí, y cuyo interior está completamente lleno de un líquido que puede ser agua o aceite. Dos émbolos de secciones diferentes se ajustan en cada uno de los dos cilindros, de modo que estén en contacto con el líquido. Como se puede ver en la

Figura No. 3, cuando se ejerce una fuerza F_1 la presión P_1 que se origina en el líquido en contacto con él se transmite a todo el resto del

líquido; por lo tanto, será igual a la presión P_2 que ejerce el líquido sobre el émbolo de mayor sección.

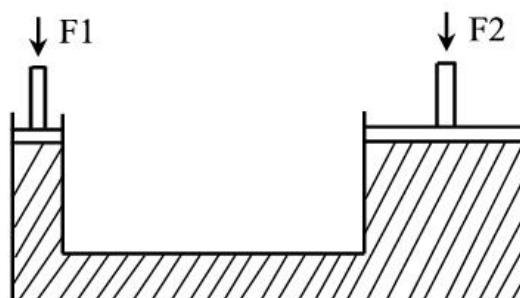


Figura No. 3: Principio de Pascal.

(FisicaPractica.com, 2007)

La prensa hidráulica es una máquina simple semejante a la palanca de Arquímedes, que permite amplificar la intensidad de las fuerzas y constituye el fundamento de elevadores, prensas, frenos y muchos otros dispositivos hidráulicos de maquinaria industrial. El volumen de líquido desplazado por el pistón pequeño se distribuye en una capa delgada en el pistón grande, de modo que el producto de la fuerza por el desplazamiento (el trabajo) es igual en ambas ramas.

2.3 CILINDRO HIDRÁULICO

Los cilindros hidráulicos son elementos que se encargan de convertir la potencia hidráulica en potencia mecánica, es decir en fuerza por velocidad actuando sobre una línea recta.



Figura No. 4: Cilindro hidráulico.

(Lycos, 2000).

Cilindro doble efecto

Un cilindro doble efecto está compuesto de dos cámaras separadas que son las que van a permitir que el cilindro hidráulico salga y entre de acuerdo al flujo que se le suministre en cada cámara.

Durante el avance, el aceite ejerce presión sobre todo el área del pistón, mientras que en el retroceso solo lo hace sobre el área anular, es decir el área del pistón menos el área del vástago. Por esto los cilindros hacen más fuerza saliendo que entrando, pero entran más rápido de lo que salen. En la

Figura No. 5 se pueden ver los diferentes elementos que componen un cilindro hidráulico de doble efecto típico.

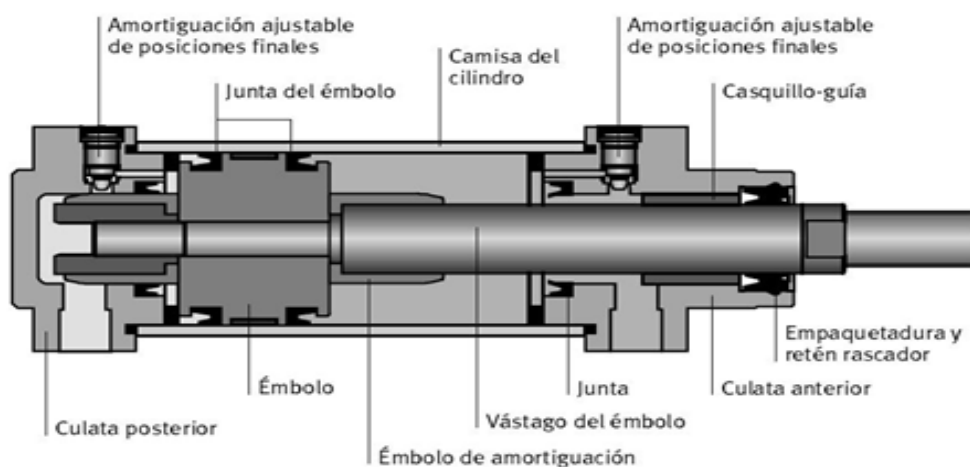


Figura No. 5: Elementos de un cilindro hidráulico doble efecto.
("Ciclo secuencial de dos cilindros," 2013).

Fuerza de empuje en cilindros doble efecto

El desplazamiento de un cilindro hacia adelante y hacia atrás se denomina carrera. La carrera de empuje y de tracción o retracción se ilustran en la Figura No. 6 y Figura No. 7 respectivamente.

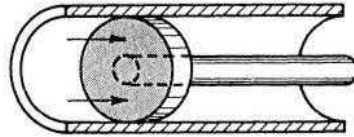


Figura No. 6: Desplazamiento de empuje.
(Cohimar, 2012).

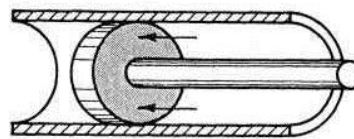


Figura No. 7: Desplazamiento de retracción.
(Cohimar, 2012).

El empuje es igual a la presión manométrica multiplicada por la superficie total del pistón, es decir:

$$F \text{ (N)} = P \text{ (Pa)} \times A \text{ (m}^2\text{)} \quad (2.1)$$

La presión ejercida por el fluido comprimido o el fluido hidráulico sobre el pistón se manifiesta sobre cada unidad de superficie del mismo como se muestra en la Figura No. 8.

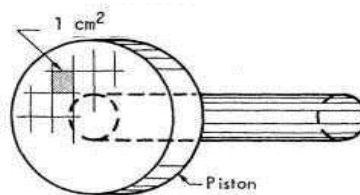


Figura No. 8: Fuerza de empuje.
(Cohimar, 2012).

2.4 VÁLVULAS HIDRÁULICAS

Las válvulas hidráulicas son mecanismos que sirven para regular la presión, flujo o paso de fluidos. Pueden desempeñar distintas funciones, recibiendo en cada caso un nombre diferente.

2.4.1 Válvula distribuidora

Una válvula distribuidora permite realizar y ordenar los cambios en la dirección del fluido hidráulico, según las necesidades de cada fase del ciclo de trabajo, abriendo o cerrando determinadas vías de paso.

La nomenclatura simbólica de las válvulas se las puede realizar con letras o con números. Las válvulas distribuidoras se identifican por dos números, uno indicativo del número de vías y el otro, indicativo del número de posiciones posibles de la válvula, por ejemplo una válvula 3/2 significa tres vías y dos posiciones.

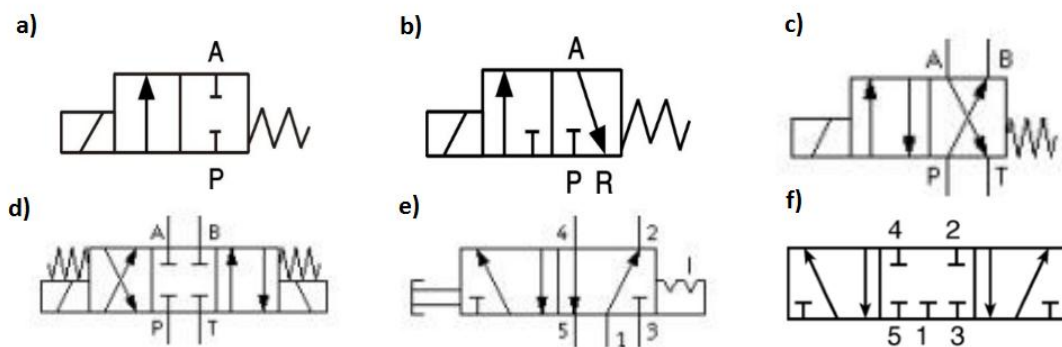


Figura No. 9: Válvula a) 2/2, b) 3/2, c) 4/2, d) 4/3 e) 5/2, f) 5/3.
(Bürkert, 2010).

2.4.2 Válvulas de cierre (bloqueo)

Este tipo de válvula tiene como objetivo impedir el paso de fluido hacia un sentido, mientras permite la libre circulación de fluido en el sentido contrario al obstruido.

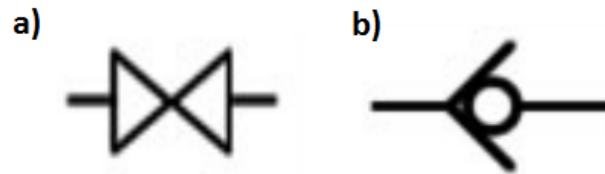


Figura No. 10: a) Válvula de cierre, b) válvula de bloqueo.
(Festo).

2.4.3 Válvula reguladora de presión

Limitan la presión de trabajo en el circuito, actuando como elemento de seguridad. A su vez se pueden clasificar en:

- Válvulas limitadoras
- Válvulas reductoras

De lo cual las válvulas limitadoras se usa cuando se supera un determinado valor de presión, estas descargan el circuito para evitar sobrepresiones en las líneas, mientras que las válvulas reductoras reducen la presión ya que en ocasiones un determinado componente del circuito necesita, para su correcto funcionamiento una presión inferior a la del fluido, en esta situación se utilizaría una válvula reductora.

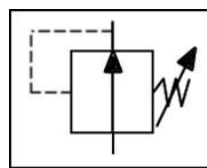


Figura No. 11: Válvula reguladora de presión.
(Festo).

2.4.4 Válvula de flujo (caudal)

Cuando se desea regular y controlar la velocidad de un actuador hidráulico se usa una válvula de flujo (Figura No. 12). Los actuadores hidráulicos dependen exclusivamente del caudal del sistema, así que utilizando una válvula de flujo se puede manipular el tiempo de llenado o vaciado del actuador.

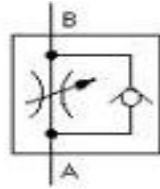


Figura No. 12: Válvula de flujo (caudal).
(Festo).

La regulación de un actuador se puede realizar de dos formas diferentes, cada una de ellas tiene sus ventajas e inconvenientes:

- Regulando en la entrada del actuador. Se emplea para elevación de cargas. La válvula se dispone entre la bomba y el actuador, regulando de esta forma la cantidad de fluido que entra. La válvula reguladora lleva en paralelo otra válvula limitadora para poder desviar el fluido que no entra en el actuador. Como ventaja, no multiplica las presiones en el actuador. Como desventaja, el fluido sobrante tiene presión y es dirigido al tanque, lo que hace perder energía útil.
- Regulando a la salida del actuador. En este caso se controla la salida del fluido del actuador. Como en el caso anterior, también se coloca una válvula limitadora en paralelo para el mismo fin. La ventaja es que al retener el fluido de salida del actuador, no es posible una aceleración o desaceleración de la carga, es decir, lo contrario que en la regulación de la entrada. Como desventajas, el calentamiento del fluido produce un incremento de presión en el actuador. Este método es utilizado para controlar las cargas en su descenso y en máquinas con trabajos continuos.

2.5 BOMBAS HIDRÁULICAS

2.5.1 Bomba de engranes

Las bombas de engranes exteriores (Figura No. 13) conducen el líquido en las cavidades limitadas por la carcasa, dos dientes consecutivos

de cada engranaje y las paredes anterior y posterior. Son adecuadas para líquidos de alta viscosidad, y permiten lograr muy altas presiones.



Figura No. 13: Bomba de engranajes exteriores rígidos.
(Fernández, 2012).

Pueden estar ambos engranajes motorizados externamente, o uno de ellos conducir al otro.

Las bombas de engranes interiores capturan el fluido entre dos engranajes que engranan uno dentro del otro, girando ambos conjuntamente y excéntricos entre sí: el interior guiado por su eje y el exterior por la carcasa fija (Figura No. 14).

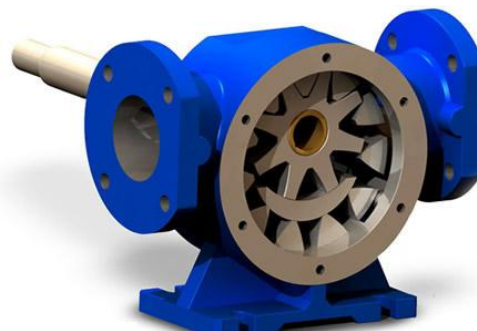


Figura No. 14: Bomba engranajes interiores.
(Pompa, 2010).

2.5.2 Bomba de pistones

En este tipo de bombas se convierte el movimiento giratorio de entrada de un eje en un movimiento de salida axial del pistón. Son un tipo de bombas, por lo general, de construcción muy robusta y adecuada para presiones y caudales altos (Figura No. 15). Su rendimiento volumétrico es alto.

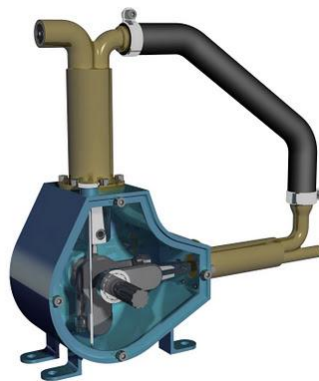


Figura No. 15: Bomba de dos pistones.

(Ciri, 2011)

2.5.3 Bomba de lóbulos

Son bastante semejantes a las de engranes, pero con un número de dientes menor y con rangos de funcionamiento menores (Figura No. 16). Normalmente se utilizan para incrementos de presiones bajas donde puede haber problemas de erosión en los dientes si se empleara una bomba de engranajes.



Figura No. 16: Bomba hidráulica de tipo lobular.

(Quiminet, 2011).

2.5.4 Bomba de paletas

Estas bombas se caracterizan por tener un rotor con paletas planas deslizantes radialmente en él. Dicho rotor gira excéntrico dentro de una carcasa circular (Figura No. 17). Una porción de fluido atrapada en la zona de entrada entre dos paletas consecutivas y las tapas laterales es conducida hacia la boca de descarga de la bomba, que suele ser colineal con la boca de entrada.

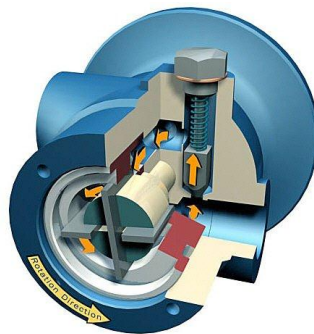


Figura No. 17: Bomba de paletas.

(Ávila, 2010).

Las paletas se deslizan apoyadas sobre la carcasa fija, oprimidas por la fuerza centrífuga; algunos modelos incluyen resortes en el interior de las ranuras del rotor para mantener el contacto.

Son aptas para diferencias de presiones relativamente bajas, en especial cuando son de un pequeño número de paletas. Este número puede ser desde dos hasta un máximo de 8 o 10, muy raramente más. El material de las paletas tiene que ser, a la vez, liviano, resistente y de bajo coeficiente de fricción.

2.6 TANQUE HIDRÁULICO



Figura No. 18: Tanque hidráulico.
(DirectIndustry).

La función natural de un tanque hidráulico es:

- Contener o almacenar el fluido de un sistema hidráulico.
- Evacuar el calor.
- Sedimentación.
- Separación del aire.
- Separación del agua.
- Generalmente son herméticos para reducir la contaminación por la suciedad externa.

Cuando el fluido regresa al tanque, una placa deflectora bloquea el fluido de retorno para impedir su llegada directamente a la línea de succión. Así se produce una zona tranquila, la cual permite sedimentarse a las partículas grandes de suciedad, que el aire alcance la superficie del fluido y da oportunidad de que el calor se disipe hacia las paredes del tanque.

La desviación del fluido es un aspecto muy importante en la adecuada operación del tanque. Por esta razón, todas las líneas que regresan el fluido al tanque deben colocarse por debajo del nivel del fluido y en el lado de la placa deflectora opuesto al de la línea de succión.

La selección del depósito hidráulico se lo realiza en función del volumen del aceite que demanda el actuador por lo general se suele seleccionar un depósito que sea tres veces el volumen del actuador, que para este caso es el cilindro hidráulico.

2.6.1 Partes de un tanque hidráulico

La mayoría de los sistemas hidráulicos de tamaño pequeño a mediano utilizan los tanques o depósitos como base de montaje para la bomba, motor eléctrico, válvula de alivio, y a menudo otras válvulas de control. En las Figura No. 19 y Figura No. 20 se puede observar las partes de un tanque hidráulico.

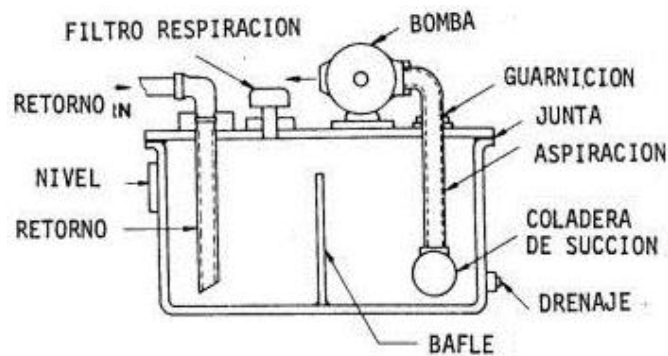


Figura No. 19: Vista frontal partes de un tanque hidráulico.
(Cohimar, 2012).

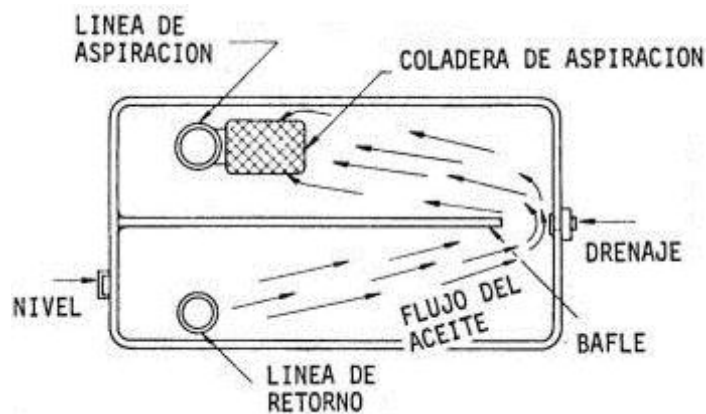


Figura No. 20: Vista superior partes de un tanque hidráulico.
(Cohimar, 2012).

2.6.2 Accesorios para tanques

Entre los accesorios que componen el tanque se pueden mencionar los siguientes:

- Nivel visible, es un indicador construido de plástico permite que el operador no solo verifique el nivel sino también la condición de emulsión del aceite.
- Tapa de llenado, el orificio de llenado debe ser cubierto por una tapa preferentemente retenida por una cadena, la tapa del tanque puede ser removida para permitir la limpieza e inspección, se colocan guarniciones alrededor de las tuberías que pasan a través de la tapa para eliminar la entrada de aire.
- Tapón de drenaje, se utiliza cuando se lo quiere vaciar el depósito para el cambio de aceite.
- Baffle, cumple la función de reducir el splash del fluido para evitar las formaciones de burbujas, además establece la separación entre la línea de succión y la descarga de retorno, la capacidad de radiación de temperatura del tanque puede ser incrementada si el baffle se coloca de forma tal que el aceite circule en contacto con las paredes externas.
- Filtro de succión, línea, y retorno, el objetivo es mantener limpio al fluido del sistema.
- Filtro de aspiración, mantiene al interior del depósito a presión atmosférica haciendo ingresar aire libre de impurezas.

2.7 FILTROS HIDRÁULICOS

Su función es mantener limpio el sistema hidráulico protegiendo las piezas que intervienen en el mismo.

El aceite hidráulico además de lubricar las piezas para reducir el desgaste también transmite potencia por lo que trabaja a distintas niveles de presión. El filtro hidráulico debe trabajar bajo esas condiciones para

brindar mayor protección a todo el sistema cuando la presión es mayor (Filtros, 2009).

Cuando se selecciona el tamaño de un filtro se debe recordar que el caudal de retorno puede ser mucho mayor que el de la bomba, debido a la diferencia de secciones de ambos lados de los cilindros.

Los filtros hidráulicos se clasifican de la siguiente manera:

2.7.1 Filtros de succión

Son utilizados en la succión de las bombas. Se encuentran sumergidos en los depósitos de aceite hidráulico.

Retienen las partículas protegiendo el sistema de las bombas, aumentando su vida útil. Estos filtros pueden utilizarse para aceites minerales, sintéticos y también en líquidos. En la Figura No. 21 se la llama coladera y se encuentra en la parte inferior.

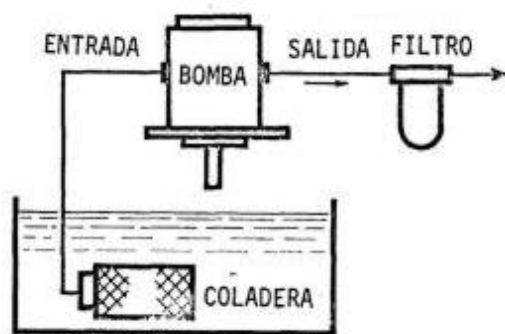


Figura No. 21: Filtro de succión.

(Cohimar, 2011)

2.7.2 Filtro de retorno y retorno por alivio

Los filtros de retorno fueron diseñados como filtros para el montaje en el tanque. Evita el paso de partículas de contaminación hacia el tanque.

El diseño práctico del filtro de retorno permite el montaje rápido así como el intercambio fácil de los elementos filtrantes.

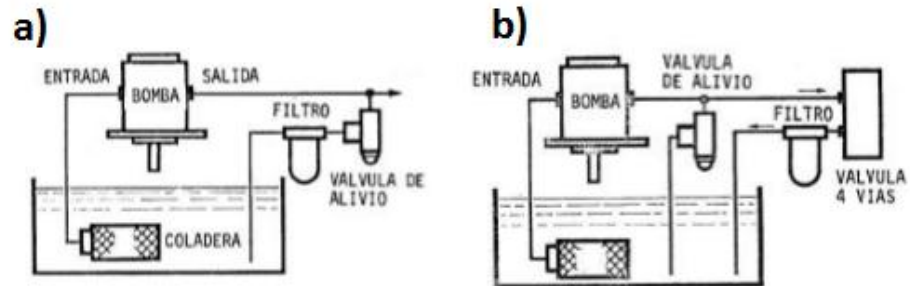


Figura No. 22: Filtro de a) retorno y b) retorno por alivio.
(Cohimar, 2011)

2.8 MANÓMETROS

El manómetro es un instrumento utilizado para la medición de la presión en los fluidos, generalmente determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local.

Existen diferentes tipos de manómetros que se describen a continuación.

2.8.1 Manómetro de columna líquida

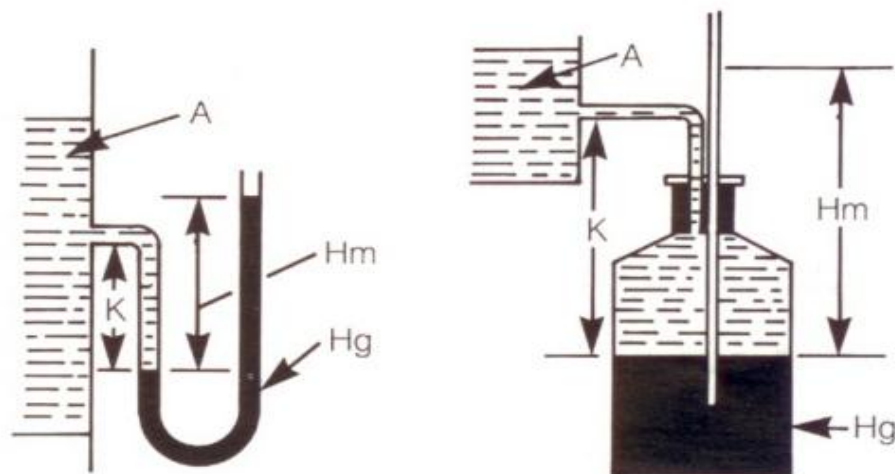


Figura No. 23: Manómetro de columna líquida.
(Instrumentación, 2014)

Como se puede apreciar en la Figura No. 23, este tipo de manómetros es la forma más sencilla de dispositivo para medir presiones, donde la altura, carga o diferencia de nivel, a la que se eleva un fluido en un tubo vertical abierto conectado a un aparato que contiene un líquido, es una medida directa de la presión en el punto de unión y se utiliza con frecuencia para mostrar el nivel de líquidos en tanques o recipientes (Instrumentación, 2014).

2.8.2 Manómetro Bourdon

El principio de medida en el que se basa este instrumento es el sensor conocido como tubo Bourdon. El sistema de medida está formado por un tubo aplanado de bronce o acero, cerrado, en forma de "C" de $\frac{3}{4}$ de circunferencia para la medición de bajas presiones, o enrollado en forma de espiral para la medición de bajas presiones y que tiende a enderezarse proporcionalmente al aumento de la presión; este movimiento se transmite mediante un elemento transmisor y multiplicador que mueve la aguja indicadora sobre una escala graduada (Figura No. 24). La forma, el material y el espesor de las paredes dependen de la presión que se quiera medir.

El conjunto de medida está formado por un tubo Bourdon soldado a un racord de conexión, Por lo general este conjunto es de latón, pero en el caso de altas presiones y también cuando hay que medir presiones de fluidos corrosivos se hacen de aceros especiales (Instrumentación, 2014).

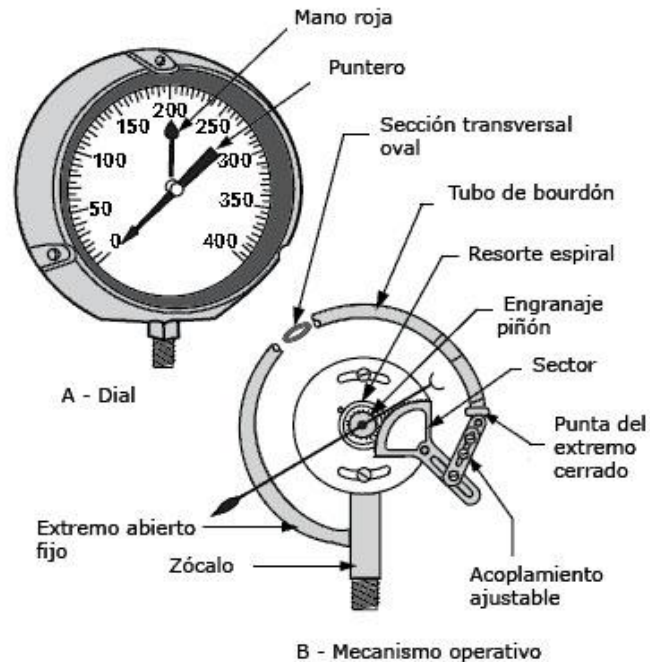


Figura No. 24: Manómetro tipo Bourdon.
(Sapiensman.com)

2.9 SISTEMAS DE CONTROL

Es la representación de un fenómeno físico o estado material a través de una relación establecida; las entradas y salidas de un sistema electrónico serán señales variables.

En electrónica se trabaja con variables que toman la forma de la onda tensión o corriente estas se pueden denominar comúnmente señales, estas señales en función de milivoltios o miliamperios representan el estado los parámetros analógicos como presiones, niveles, temperaturas, fuerzas, etc.

Las señales primordialmente pueden ser de dos tipos:

2.9.1 Señal analógica

Son aquellas que pueden tomar un número infinito de valores comprendidos entre dos límites. La mayoría de los fenómenos de la vida real dan señales de este tipo. (Presión, temperatura, etc.).

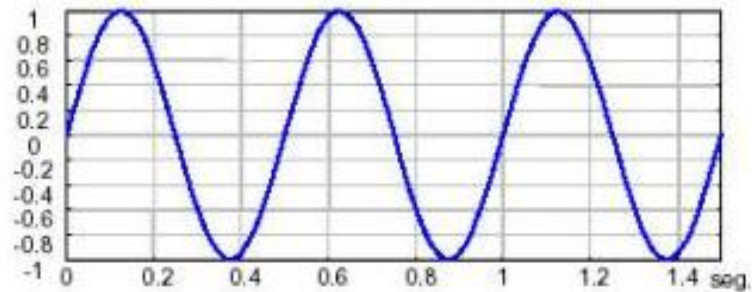


Figura No. 25: Señal Analógica.

(tecnologia.org, 2011)

2.9.2 Señal digital

También llamadas variables discretas, entendiéndose por éstas, las variables que pueden tomar un número finito de valores. Por ser de fácil realización los componentes físicos con dos estados diferenciados, es este el número de valores utilizado para dichas variables, que por lo tanto son binarias. Siendo estas variables más fáciles de tratar (en lógica serían los valores V y F) son los que generalmente se utilizan para relacionar varias variables entre sí y con sus estados anteriores.

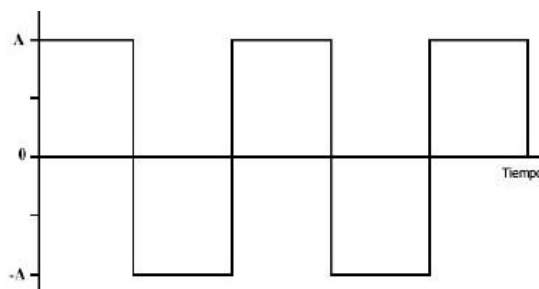


Figura No. 26: Señal Digital.

(Robledo, 2012)

2.10 LAZO DE CONTROL ABIERTO

El control en lazo abierto se caracteriza porque la información o variables que controlan el proceso circulan en una sola dirección.

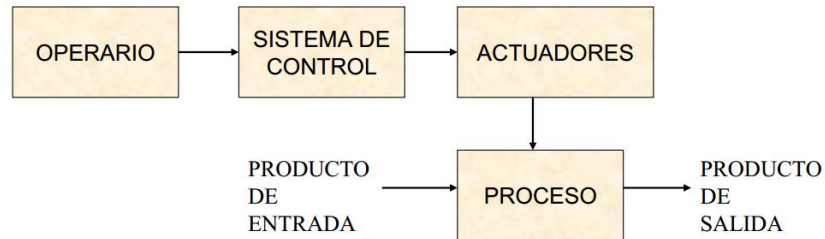


Figura No. 27: Lazo de control Abierto.

(Suárez, 2010)

2.11 LAZO DE CONTROL CERRADO

El control en lazo cerrado se caracteriza porque existe una realimentación a través de los sensores desde el proceso hacia el sistema de control, que permite a éste último conocer si las acciones ordenadas a los actuadores se han realizado correctamente sobre el proceso.

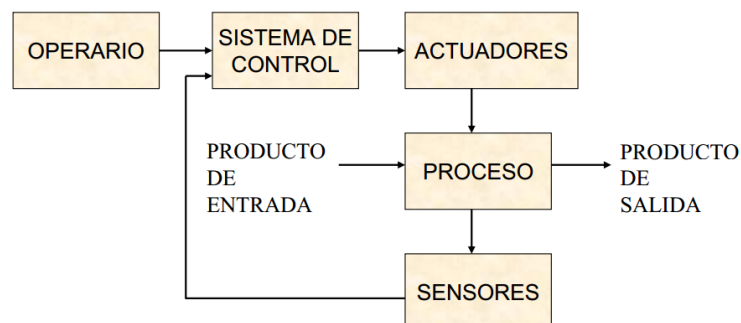


Figura No. 28: Lazo de control con retroalimentación.

(Suárez, 2010)

2.12 TIPOS DE CONTROL

Un controlador de procesos, es definido como un dispositivo que compara el valor de una variable medida (señal de entrada) al valor deseado (Set Point) para producir una señal de salida que mantenga el valor deseado de la variable y usa esa diferencia para manipular la variable controlada (Arántegui, 2011).

Existen varios tipos de Sistemas de Control de Procesos, dependiendo la aplicación se los usa en función de las variables que rigen el sistema a controlar, entre los que se puede mencionar los siguientes:

2.12.1 Control ON/OFF

También llamado Todo-Nada, es la forma más simple de control por realimentación, es un control de dos posiciones en el que el elemento final solo ocupa una de las dos posibles posiciones, en el cual la salida del controlador va de un extremo a otro cuando el valor de la variable controlada se desvía del valor deseado.

Este método solo acepta dos posiciones para el actuador: encendido (100%) y apagado (0%). La lógica de funcionamiento es tener un punto de referencia, si la variable es mayor el actuador asume una posición y si la variable es menor el actuador asume la otra posición.

2.12.2 Control PID

El controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) es un controlador realimentado cuyo propósito es hacer que el error en estado estacionario, entre la señal de referencia y la señal de salida de la planta, sea cero de manera asintótica en el tiempo, lo que se logra mediante el uso de la acción integral. Además el controlador tiene la capacidad de anticipar el futuro a través de la acción derivativa que tiene un efecto predictivo sobre la salida del proceso. Los controladores PID son suficientes para resolver el problema de control de muchas aplicaciones en la industria, particularmente cuando la dinámica del proceso lo permite.

2.13 SISTEMA ESTRUCTURAL

2.13.1 Viga

Son elementos longitudinales que soportan las cargas constructivas y las transmiten sensiblemente hacia los elementos verticales de sustentación. Las solicitaciones típicas de las vigas son a flexión y a cortante de modo que se necesitan materiales que puedan resistir de los esfuerzos de tracción o compresión.



Figura No. 29: Viga.

2.13.2 Columna

Son elementos mecánicos que se encuentran expuestos exclusivamente a compresión axial, en los cuales se concentra gran parte de la fuerza.



Figura No. 30: Columna.

2.13.3 Marco rígido

Es una estructura que posee juntas resistentes las que están sujetas a momentos flectores, sus barras se encuentran unidas rígidamente en sus extremos de tal forma que ninguno de sus nodos se traslade, es decir son elementos que se unen en un solo nodo y se puede girar en conjunto pero no se puede mover uno respecto al otro.

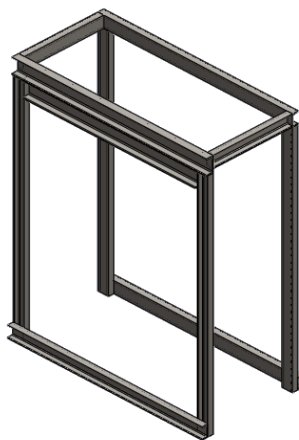


Figura No. 31: Marco Rígido.

2.13.4 Cartela

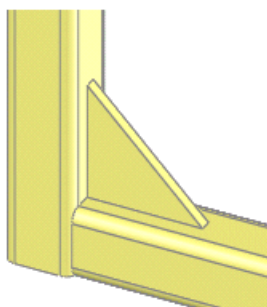


Figura No. 32: Soporte de Cartela.

(SolidWorks, 2014)

Pieza de chapa metálica o acero con forma triangular que soldada a una superficie o barra se utiliza para reforzar la unión de ésta con otras barras, formando un ángulo recto (Construmática, 2014).

2.13.5 Pasadores



Figura No. 33: Pasador de acero.
(Aciarium, 2009)

Es un elemento de fijación mecánica desmontable, de forma cilíndrica o cónica, cuyos extremos pueden variar en función de la aplicación. Se emplea para la fijación de varias piezas a través de un orificio común, impidiendo el movimiento relativo entre ellas. El empleo de estos sistemas de fijación es de gran uso en máquinas industriales y productos comerciales; como dispositivos de cierre, posicionado de los elementos, pivotes, etc. (Perno, 2014).

Están diseñados para soportar esfuerzos cortantes, endureciéndose para resistir lo máximo posible, aun así, son diseñados para que se rompan antes de que las piezas del ensamblaje se dañen.

2.13.6 Pernos



Figura No. 34: Pernos de sujeción.

El perno o espárrago es una pieza metálica larga de sección constante cilíndrica, normalmente hecha de acero o hierro. Está

relacionada con el tornillo pero tiene un extremo de cabeza redonda, una parte lisa, y otro extremo roscado para la chaveta, tuerca, o remache, y se usa para sujetar piezas en una estructura, por lo general de gran volumen (Anco, 2014).

2.14 SISTEMA CIERRE DE LA PUERTA (VOLANTE)

Es un sistema que está constituido por un volante con tornillos con ángulo de rosca opuestos con el objetivo de cerrar o abrir la puerta y un ángulo de acero soldado para mantenerse rígido en cualquiera de las dos posiciones anteriormente indicadas.

El volante cumplirá la función de asegurar que la puerta se mantenga cerrada durante el proceso de compactación.



Figura No. 35: Sistema de cierre (Volante).

2.15 SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

2.15.1 Motores

El motor eléctrico permite la transformación de energía eléctrica en energía mecánica, esto se logra mediante la rotación de un campo magnético alrededor de una espira o un bobinado que toma diferentes formas (Celec, 2014).

Al pasar la corriente eléctrica por la bobina esta se comporta como un imán cuyos polos se rechazan o se atraen con el imán que se encuentra en la parte interior al dar media vuelta el paso de corriente se interrumpe y la bobina deja de comportarse como imán pero por inercia se sigue

moviendo hasta que da otra media vuelta y la corriente pasa nuevamente repitiéndose el ciclo haciendo que el motor rote constantemente.

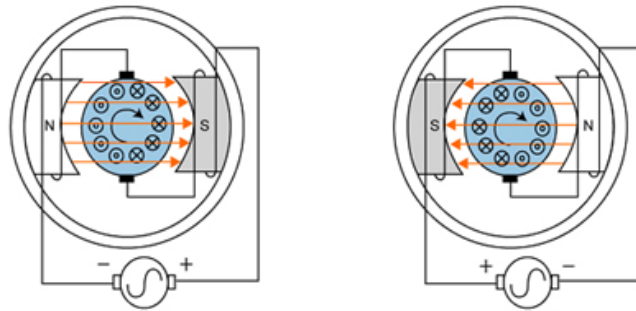


Figura No. 36: Principio de funcionamiento.
(Johnson, 2012)

2.15.2 Motores de corriente continua



Figura No. 37: Motor DC.
(mower.china, 2014)

Esta máquina de corriente continua es una de las más versátiles en la industria. Su fácil control de posición, par y velocidad la han convertido en una de las mejores opciones en aplicaciones de control y automatización de procesos. Pero con la llegada de la electrónica su uso ha disminuido en gran medida, pues los motores de corriente alterna, del tipo asíncrono, pueden ser controlados de igual forma a precios más accesibles para el consumidor medio de la industria. A pesar de esto los motores de corriente continua se siguen utilizando en muchas

aplicaciones de potencia (trenes y tranvías) o de precisión (máquinas, micromotores, etc.).

Se utilizan en casos en los que es importante el poder regular continuamente la velocidad del motor, además, se utilizan en aquellos casos en los que es imprescindible utilizar corriente directa, como es el caso de motores accionados por pilas o baterías.

2.15.3 Motores de corriente alterna

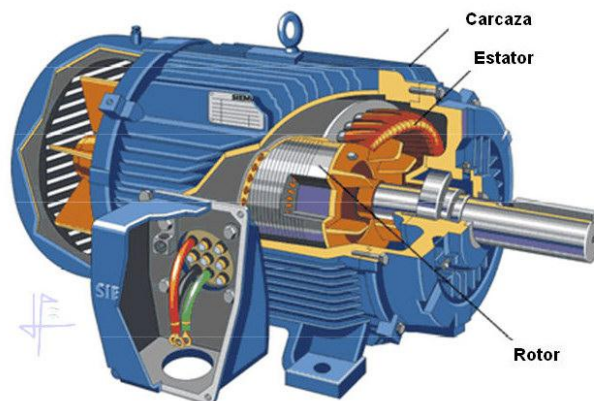


Figura No. 38: Motor de corriente alterna.
(Ramonmar.mex.tl, 2014)

El motor síncrono es en esencia un alternador trifásico que funciona a la inversa. Los imanes del campo se montan sobre un rotor y se excitan mediante corriente continua, y las bobinas de la armadura están divididas en tres partes y alimentadas con corriente alterna trifásica. La variación de las tres ondas de corriente en la armadura provoca una reacción magnética variable con los polos de los imanes del campo, y hace que el campo gire a una velocidad constante, que se determina por la frecuencia de la corriente en la línea de potencia de corriente alterna.

El más simple de todos los tipos de motores eléctricos es el motor de inducción de caja de ardilla que se usa con alimentación trifásica. La armadura de este tipo de motor consiste en tres bobinas fijas y es similar

a la del motor síncrono. El elemento rotatorio consiste en un núcleo, en el que se incluyen una serie de conductores de gran capacidad colocados en círculo alrededor del árbol y paralelos a él (Vallejo, 2010).

Tabla No. 1.

Clasificación de los motores de Corriente Alterna.

Por su velocidad de giro	Asíncronos	Cuando la velocidad del campo magnético generado por el estator supera a la velocidad de giro del rotor.
	Síncronos	Cuando la velocidad del campo magnético del estator es igual a la velocidad de giro del motor.
Por el tipo de rotor	Anillos rozantes	Son motores asíncronos con un devanado trifásico de cobre dispuesto en las ranuras de rotor, que va conectado a tres anillos metálicos por uno de sus extremos, en tanto que, por el otro lado se conectan en estrella.
	Con colector	Pueden entregar alta potencia con dimensiones y peso reducidos. Pueden soportar considerables sobrecargas temporales sin detenerse completamente. Se adaptan a las sobrecargas disminuyendo la velocidad de rotación, sin excesivo consumo eléctrico. Producen un elevado torque de funcionamiento.
	Jaula de ardilla	En su forma instalada, es un cilindro montado en un eje. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o de cobre con surcos y conectados juntos en

Continua 

		ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula.
Por su número de fases	Monofásicos	Los motores monofásicos tienen un gran desarrollo debido a su aplicación en electrodomésticos, la conexión consiste en la alimentación al motor de una fase y el neutro.
	Bifásicos	No son muy comunes ya que se utiliza para aplicaciones específicas, la conexión consiste en la alimentación de las dos fases al motor.
	Trifásicos	Son los más utilizados en la industria debido a su bajo consumo de corriente, la conexión se la realiza ya sea de tipo estrella o tipo delta.

Tabla No. 2.

Diferencias entre motor AC y DC.

MOTOR DC	MOTOR AC
La velocidad aumenta con la tensión aplicada, al disminuir la corriente del inducido y al disminuir el flujo producido por el campo inductor.	Su velocidad depende de la corriente alterna con la que se los alimenta
La regulación de velocidad se puede hacer de dos formas diferentes: manteniendo constante el flujo y variando la tensión aplicada al inducido o manteniendo constante la tensión y variando el flujo de la excitación.	La única forma de regular su velocidad de giro consiste en alimentarlos a través de variadores electrónicos de frecuencia
Se pueden conectar en estrella o en triángulo, dependiendo del voltaje de la red.	Dependiendo de cómo se conecte el devanado de excitación respecto al inducido se consiguen diferentes conexiones de motor: motor de

Continua 

	excitación independiente, motor de excitación en derivación o shunt, motor de excitación en serie y motor de excitación compound.
El par motor es proporcional a la corriente del inducido y al flujo del campo magnético del inductor	El par motor depende del campo giratorio
Se usan mucho en la industria, sobretodo el motor trifásico asíncrono de jaula de ardilla	Suelen utilizarse cuando se necesita precisión en la velocidad
Sus partes básicas son: inductor, inducido y colector	Sus partes básicas son: estator y rotor.
Requieren de mayor mantenimiento al tener más piezas (escobillas, colector, etc.)	El mantenimiento requerido es mínimo.
Diseño para multi – velocidad	Diseño para velocidad única
Alta relación peso / potencia (pesados)	Baja relación peso / potencia (livianos)
Mediano costo	Bajo costo
85 / 95% de eficiencia a carga completa	95% de eficiencia a carga completa

(Maleon, 2009).

Tabla No. 3.

Similitudes entre motores AC y DC.

Transforman la energía eléctrica en energía mecánica.

Se fabrican desde potencias muy pequeñas hasta grandes potencias.

Se basan en el mismo principio de funcionamiento.

La energía mecánica es enviada al exterior mediante la rotación de un dispositivo llamado eje.

Pierden velocidad de giro con la carga

(Maleon, 2009)

2.15.4 Selección de un motor

No todos los motores pueden ser utilizados para toda clase de trabajo ya que cada aplicación requiere un tipo de motor diferente, para elegir un motor se debe tener en cuenta:

- La carga de trabajo (Potencia).
- La clase de servicio.
- El ciclo de trabajo.
- Los procesos de arranque, frenado e inversión de giro.
- La regulación de velocidad.
- Las condiciones de la red de alimentación.
- La temperatura ambiente.

2.15.5 Arranque directo

Como su propio nombre indica, el motor se conecta directamente a la red de su tensión nominal.

La Figura No. 39 representa el esquema de un arranque directo. Normalmente el responsable de la conexión entre el motor y la red es un contactor tripolar de la clase AC3 (para cargas inductivas), gobernado por un circuito de mando o control, que puede ser cableado o programable.

El relé térmico es un dispositivo de protección frente a sobrecargas de intensidad, producidas por pares de carga mayores del nominal que originan que el motor funcione a menos velocidad, más deslizamiento y más intensidad. Este dispositivo en el caso de detectar una sobrecarga, desconecta la bobina del contactor y este a su vez, desconecta el motor de la red (CIFP, 2008).

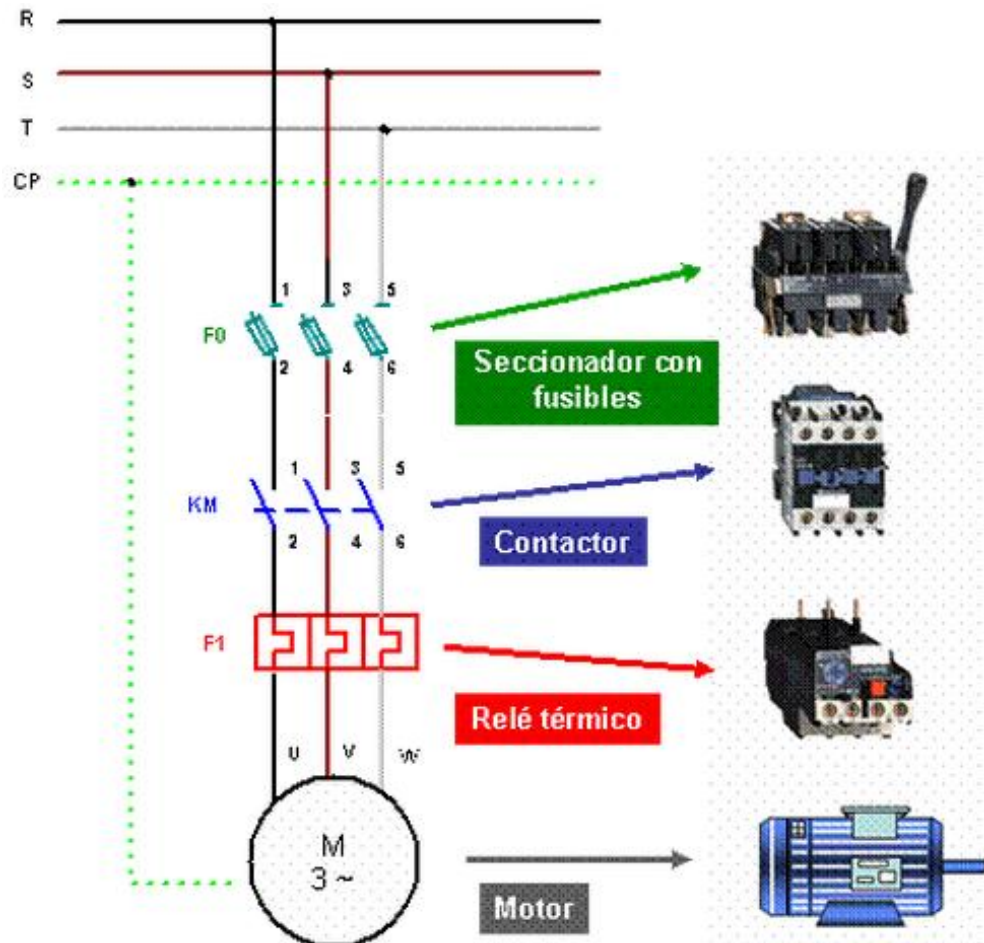


Figura No. 39: Arranque directo.
(CIFP, 2008).

2.15.6 Arranque estrella triángulo

Se basa en conectar el motor en estrella sobre una red donde se debe conectar en triángulo. De esta forma durante el arranque los devanados del estator están a una tensión $\sqrt{3}$ veces inferior a la nominal. En el caso en el cual se disponga de un motor de 400V/230V y una red de 230V. El motor debe conectarse sobre esta red en triángulo para que sus devanados soporten 230V. La Figura No. 40 indica que la corriente en dicho arranque es 15A pero si la conexión es estrella en la red de 230V la corriente de arranque es 25,98A (CIFP, 2008).

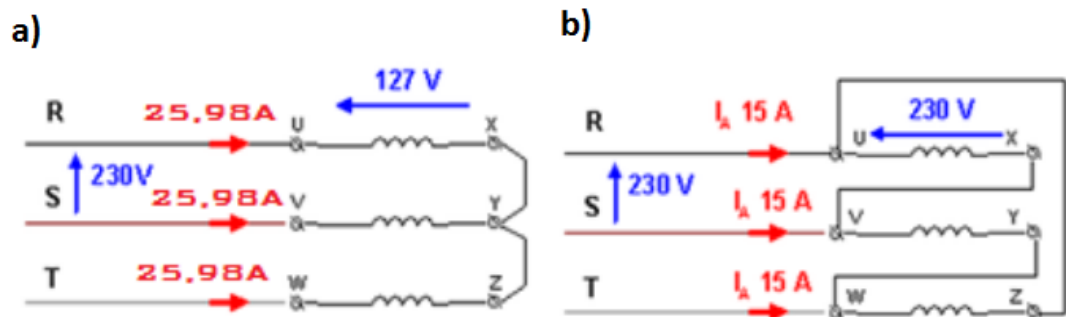


Figura No. 40: Esquemas a) Estrella y b) Triángulo.
(CIFP, 2008).

Según la Figura No. 40 en conexión estrella sobre una red de 230(V) cada devanado soporta 127 (V), con lo cual el estator genera un campo giratorio de menor inducción, el motor es débil y la curva de par presenta valores bajos a la misma velocidad. Se puede demostrar que el par de arranque se reduce un tercio.

Respecto a la corriente de arranque esta también se reduce un tercio. Tres impedancias en triángulo consumen el triple de corriente de línea que en estrella, a la misma tensión de red. La tensión de la red es la misma, se arranque el motor en estrella-triángulo o directamente en triángulo, con lo que en estrella la I_A es tres veces más pequeña.

$$I_A(Y - \Delta) = \frac{I_A(\Delta)}{3} \quad (2.2)$$

La secuencia de funcionamiento es la siguiente:

1. Se cierra KM1 y KM2 conectándose el motor en estrella y arrancando con los valores de par e intensidad del punto 1 (KM2 cortocircuita X-Y-Z). A continuación la velocidad va aumentando y el punto de funcionamiento del motor evoluciona hacia el punto 2.
2. Transcurrido un pequeño tiempo (de 2 a 5 segundos), se abre KM2 y simultáneamente se cierra KM3 (cortocircuita U-Z, V-X, W-Y) con lo cual el motor se conecta en triángulo. En la Figura No. 41 se observa

que la caja de conexiones no tiene chapas puesto que los puentes los realizan los contactores (KM2 para la estrella y KM3 para el triángulo).

- Finalmente el motor evoluciona en triángulo desde el punto 3 al 4, donde el motor se estabiliza a la velocidad que corresponda en función del par de carga.

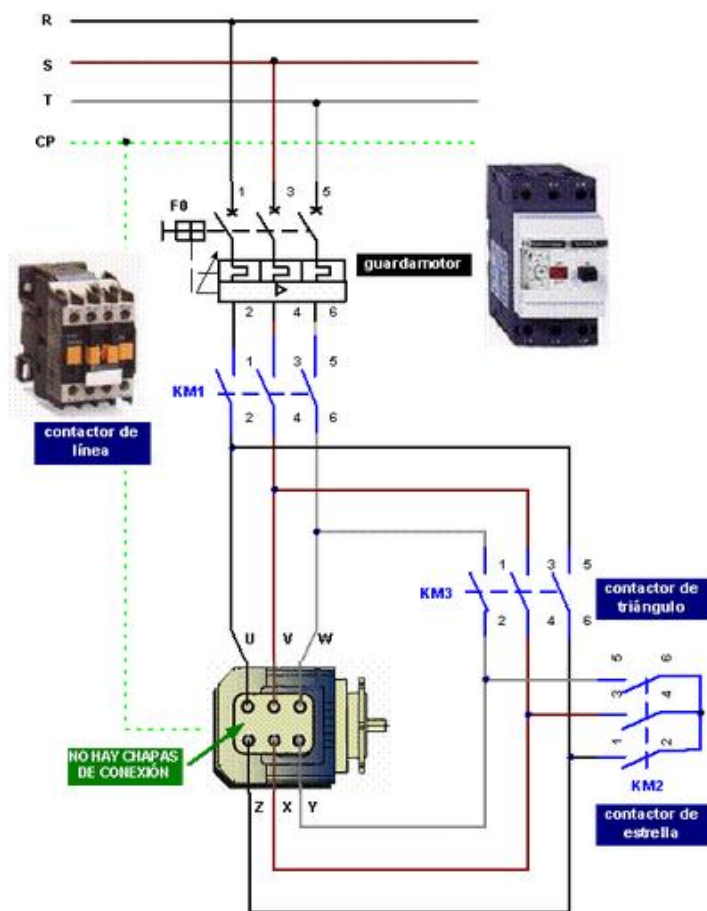


Figura No. 41: Arranque estrella triángulo.

(CIFP, 2008).

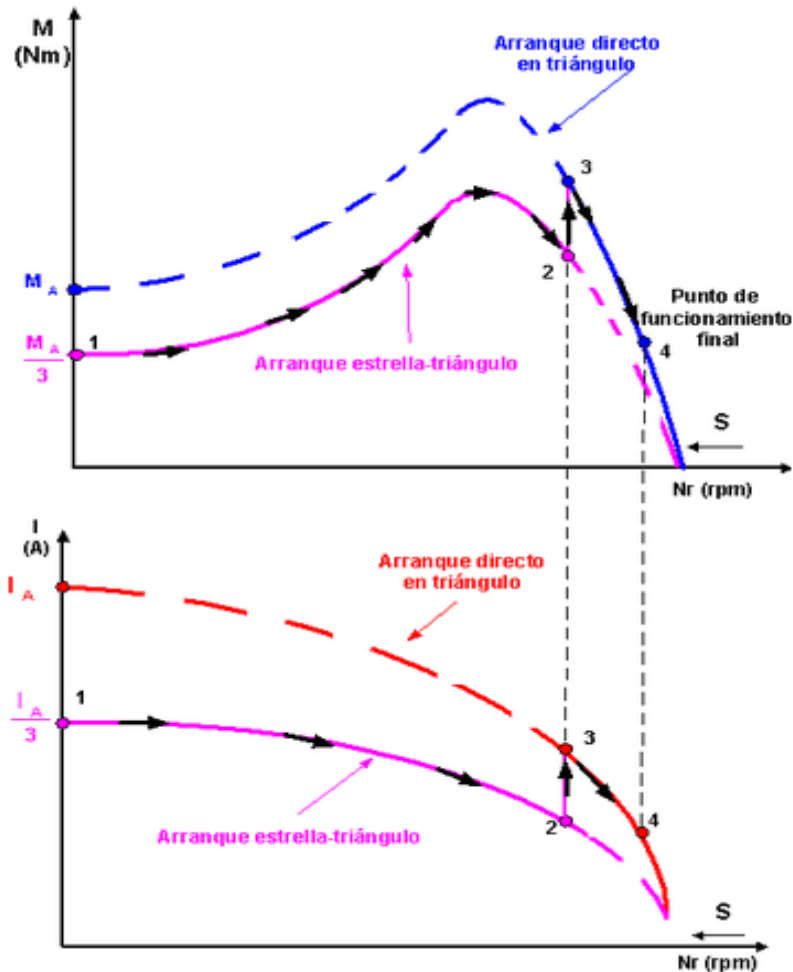


Figura No. 42: Secuencia de funcionamiento arranque estrella-triángulo.
(CIFP, 2008).

Ventajas del arranque estrella-triángulo

- Automatismo muy sencillo y barato, se utiliza mucho en la industria.
- Menor reducción de par en comparación a los métodos anteriores, para la misma limitación de I_A .

Desventajas del arranque estrella-triángulo

- Debe utilizarse solo ante cargas de bajo par de arranque.
- No siempre es posible ejecutarlo porque debemos disponer de una red cuya tensión coincida con la tensión nominal más baja del motor. Por

ejemplo para un motor de 400/230 (V), el arranque Y- Δ debe realizarse sobre una red de 230 (V).

2.15.7 Potencia de accionamiento

La potencia de accionamiento de un motor está dada de la siguiente manera.

$$\text{Potencia en KW} = 0.736 * \text{Potencia en Hp} \quad (2.3)$$

$$\text{Potencia en Hp} = 1.36 * \text{Potencia en KW}$$

La potencia está definida en dos factores la fuerza en Newton y la velocidad en metros por segundo.

$$\text{Potencia} = F * V \quad (2.4)$$

El par del motor es una magnitud decisiva hasta el punto de determinar las dimensiones de un motor. Motores de igual par tienen aproximadamente las mismas dimensiones aunque tengan diferentes velocidades. En el arranque de un motor, es decir en el intervalo de tiempo que pasa de velocidad cero a nominal el par toma distintos valores independientemente de la carga. La potencia nominal debe ser lo más parecida posible a la potencia requerida por la máquina a accionar.

2.15.8 Sensores

2.15.8.1 Tipos de sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, etc. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD diferencial de resistencia térmica), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una Tensión

eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como en un fototransistor), etc.

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación con lo que puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura. Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra.

Existen diferentes tipos de sensores, en función del tipo de variable que tengan que medir o detectar:



Figura No. 43: Tipo de sensores.

(Leiva, 2013)

2.15.9 Controlador lógico programable PLC

Es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas.



Figura No. 44: PLC (Programmable Logic Controller), Renu Electronics. (MicroCom).

A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura amplios, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto.

Los PLC's modernos pueden ser programados de diversas maneras, desde la lógica de escalera de relés, a los lenguajes de programación tales como dialectos especialmente adaptados de BASIC y C.

2.15.10 Gabinete de control y accesorios

La fabricación o ensamblaje de un tablero eléctrico debe cumplir criterios de diseño y normativas que permitan su funcionamiento correcto una vez energizado, garantizando la seguridad de los operarios y de las instalaciones en las cuales se encuentran ubicados. Los equipos de protección y de control, así como los instrumentos de medición, se instalan por lo general en tableros eléctricos, teniendo una referencia de conexión estos pueden ser: Diagrama Unifilar, Diagrama de Control, Diagrama de interconexión (Rodríguez, 2012).



Figura No. 45: Gabinete de control.
(Cofaco, 2014)

A continuación se presentan algunos de los elementos constituyentes del gabinete de control.

Pulsadores



Figura No. 46: Pulsadores.
(Electronica, 2014)

Los botones son por lo general activados, al ser pulsados con un dedo. Permiten el flujo de corriente mientras son accionados. Cuando ya no se presiona sobre él vuelve a su posición de reposo.

Puede ser un contacto normalmente abierto (NO) en reposo, o con un contacto normalmente cerrado (NC) en reposo (TecnoAccesible, 2011).

Borneras

Los bornes de conexión se han convertido últimamente en elementos fundamentales en todo tipo de instalaciones eléctricas. El uso del borne como elemento para interconexión de circuitos ha sido adoptado universalmente y ha simplificado el diseño, instalación y mantenimiento de equipos y sistemas eléctricos (Zoloda, 2000).



Figura No. 47: Borneras.
(ReallImportExport, 2014)

Rieles y canaletas

Un carril DIN o rail DIN es una barra de metal normalizada de 35 mm de ancho con una sección transversal en forma de sombrero. Es muy usado para el montaje de elementos eléctricos de protección y mando, tanto en aplicaciones industriales como en viviendas.



Figura No. 48: Riel DIN.
(UTEFA).

Las canaletas son muy usadas en el mercado industrial sirve como cobertor del cableado del tablero de control para evitar que

este se encuentre en contacto directo con el gabinete, estéticamente se aprecia el orden de la distribución agradables a primera vista, además es muy importante para evitar cruces y sobre montaje de cables, son de plástico para evitar la conducción de la corriente en caso de que exista fisuras en el cableado.



Figura No. 49: Canaletas plásticas.
(Sercom, 2011).

2.15.11 Protecciones eléctricas

Centrado en la protección contra los efectos de las sobre intensidades cuando la corriente de trabajo es mayor a la nominal ($I > I_n$), Estas pueden producirse por:

Cortocircuito: conexión de 2 o más puntos a través de una impedancia despreciable ($I > 3I_n$), se llama cortocircuito franco si $I > 6I_n$, la protección se la realiza mediante:

- Fusibles calibrados de características funcionales adecuadas.
- Interruptores automáticos con sistema de disparo electromagnético.

Sobrecarga: condición de funcionamiento de un circuito eléctrico provoca una sobre intensidad, la protección se la realiza mediante.

- Fusibles calibrados de características funcionales adecuadas.
- Interruptores automáticos con curva térmica de disparo.
- Relés térmicos para proteger los motores.

Entre otras protecciones se encuentran las siguientes.

Protecciones contra contactos directos: son contactos de personas con partes activas de los materiales o equipos, la protección se la realiza mediante:

- Alejamiento de las partes activas.
- Interposición de contactos que impidan todo contacto accidental.
- Recubrimiento de las partes activas por medio de un aislamiento apropiado.

Protecciones contra contactos indirectos: son contactos de personas con masas puestas accidentalmente bajo tensión, la protección se la realiza mediante.

- Separación de circuitos.
- Puestas a tierra o a neutro de las masas y dispositivos de corte por intensidad o tensión de defecto, típicamente interruptor diferencial.

Protección diferencial: detecta fallos de aislamiento o contacto accidental de una persona con una tensión, su apertura es automática cuando la suma vectorial de las intensidades supera el umbral determinado, su sensibilidad es alta ya que detecta la mínima cantidad de corriente de defecto y provoca el disparo.

2.15.12 Guardamotor

Un guardamotor es un disyuntor magneto-térmico, especialmente diseñado para la protección de motores eléctricos. Este diseño especial proporciona al dispositivo una curva de disparo que lo hace más robusto frente a las sobre intensidades transitorias típicas de los arranques de los motores. El disparo magnético es equivalente al de otros interruptores automáticos pero el disparo térmico se produce con una intensidad y tiempo mayores.

Las características principales de los guardamotors, al igual que de otros interruptores automáticos magneto-térmicos, son la capacidad de ruptura, la intensidad nominal o calibre y la curva de disparo. Proporciona protección frente a sobrecargas del motor y cortocircuitos, así como, en algunos casos, frente a falta de fase.

Pero contrariamente a lo que ocurre con los pequeños interruptores automáticos magneto-térmicos, los guardamotors son regulables; de

resultas de lo cual se dispone en una sola unidad de las funciones que de otra manera exigirían por ejemplo la instalación de al menos tres unidades a saber: interruptor, contactor y relevo térmico (Sarmiento, 2011).



Figura No. 50: Guardamotor.
(AGSA, 2012)

2.15.13 Cable de potencia y control

Se llama cable a un conductor (generalmente cobre) o conjunto de ellos generalmente recubierto de un material aislante o protector, si bien también se usa el nombre de cable para transmisores de luz (cable de fibra óptica) o esfuerzo mecánico (cable mecánico).



Figura No. 51: Cables de potencia y control.
(Guerrero, 2014)

Un conductor eléctrico esta formado por el alambre de cobre y un revestimiento dieléctrico. Este puede ser alambre, de una sola hebra o un cable formado por varias hebras o alambres retorcidos entre sí.

Los materiales más utilizados en la fabricación de conductores eléctricos son el cobre y el aluminio. Aunque ambos metales tienen una conductividad eléctrica excelente, el cobre constituye el elemento principal en la fabricación de conductores por sus notables ventajas mecánicas y eléctricas. El uso de uno u otro material como conductor, depende de sus características eléctricas (capacidad para transportar la electricidad), mecánicas (resistencia al desgaste, maleabilidad), del uso específico que se le quiera dar y del costo.

El diámetro del conductor dependerá de la corriente que va a cruzar por el cable este se selecciona mediante el uso de tablas de calibre AWG (Hernández, 2012).

2.15.14 Contactores



Figura No. 52: Contactor aspecto físico.

(AB, 2014)

Es un mecanismo cuya misión es la de cerrar unos contactos, para permitir el paso de la corriente a través de ellos. Esto ocurre cuando la bobina del contactor recibe corriente eléctrica, comportándose como electroimán y atrayendo dichos contactos.

Partes de que está compuesto:

- Contactos principales: 1-2, 3-4, 5-6. Tienen por finalidad abrir o cerrar el circuito de fuerza o potencia.

- Contactos auxiliares: 13-14 (NO) Se emplean en el circuito de mando o maniobras. Por este motivo soportarán menos intensidad que los principales.
- Circuito electromagnético: Cuando se va a elegir un Contactor hay que tener en cuenta, entre otros factores, lo siguiente:

Tensión de alimentación de la bobina: Esta puede ser continua o alterna, siendo esta última la más habitual, y con tensiones de 12 V, 24 V o 220 V. Corriente que consume el motor de forma permanente (corriente de servicio). Por lo tanto es conveniente el uso de catálogos de fabricantes en los que se indican las distintas características de los contactores en función del modelo.

CAPÍTULO III

DISEÑO MECATRÓNICO

3.1 DISEÑO CONCEPTUAL

La máquina se diseñó para soportar una fuerza de compactación de $F_{\text{trabajo}} = 294 \text{ kN}$ (30 toneladas) siendo este el principal requerimiento para obtener fardos de material compactado en un rango de masa de 200 Kg a 300 Kg. Adicionalmente, la empresa cuenta con un cilindro hidráulico de diámetro de vástago de 51 mm por lo que se solicitó se trabaje inicialmente con este cilindro adecuando los parámetros de trabajo requeridos, previo a un análisis de presión y caudal en base a las características físicas y mecánicas de cilindro hidráulico.

3.2 SISTEMA HIDRÁULICO

3.2.1 Selección del cilindro hidráulico

Para la selección del cilindro hidráulico se toma en cuenta la fuerza que debe ser aplicada y la distancia que necesita recorrer el pistón del cilindro hidráulico.

Datos:

$$\text{Longitud de trabajo} = 1000\text{mm}$$

$$F_{\text{trabajo}} = 294 \text{ kN}$$

Se seleccionó el diámetro del cilindro hidráulico mediante un catálogo normalizado que se basa en los dos parámetros establecidos anteriormente.

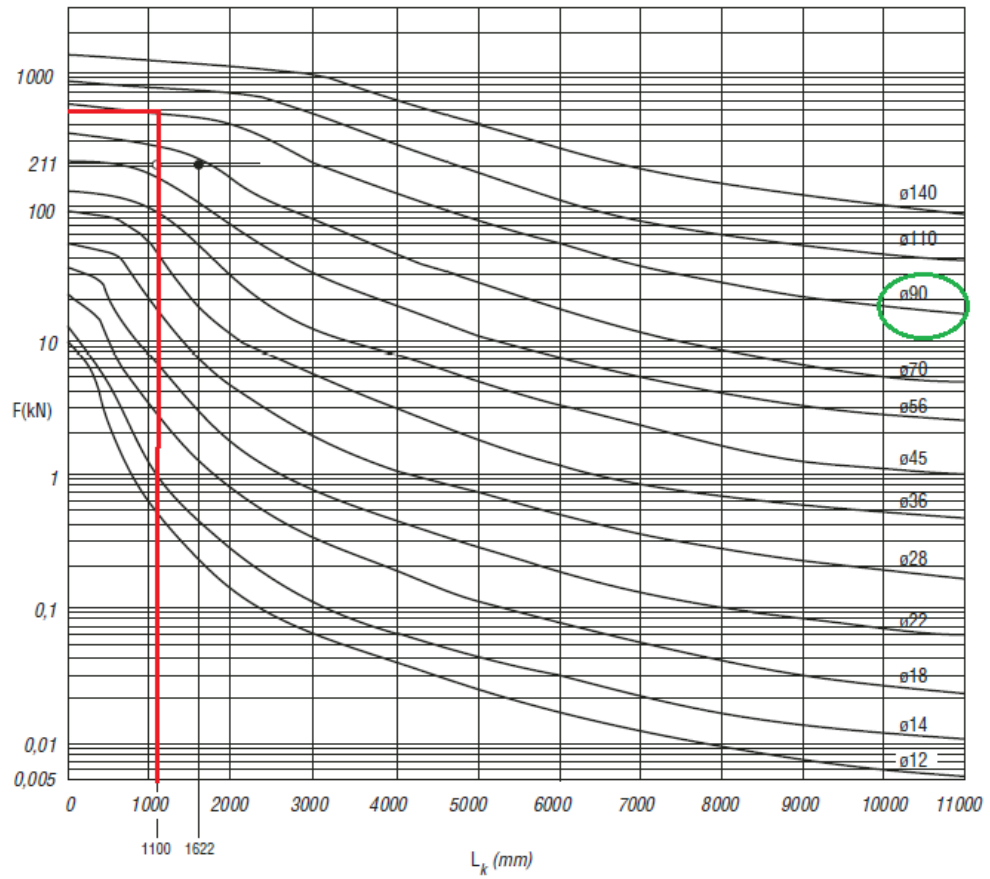


Figura No. 53: Gráfica de selección de un cilindro hidráulico.
(Glual, 2007).

Con ayuda de la Figura No. 53 se obtuvo que el diámetro necesario es de 90 mm. En la siguiente tabla del mismo catálogo normalizado para cilindros hidráulicos se procede a seleccionar el diámetro del pistón.

Tabla No. 4.

Características para la selección del cilindro hidráulico.

CARACTERISTICAS																					
Norma	ISO 6020/2 - DIN 24554																				
Tipo de construcción	Con tirantes / con brida																				
Presión nominal	160 bar																				
Presión de prueba	240 bar																				
Posición de montaje	Indiferente																				
Temperatura ambiente	-20°C...+80°C con estanqueidad tipo 3-8 / -20°C...+160°C con estanqueidad vitón tipo 2																				
Temperatura del fluido	-20°C...+80°C con estanqueidad tipo 3-8 / -20°C...+160°C con estanqueidad vitón tipo 2																				
Fluido	Aceite mineral – Otros fluidos bajo demanda																				
Viscosidad	12...90 cSt																				
Filtración	Grado de filtración según NAS 1638 clase 9...10 a obtener con filtro $\beta_{25} = 75$																				
Estanqueidad vástago y pistón	Ver codificación para pedido																				
Ø Pistón (mm)	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200											
Ø Vástago (mm)	12	18	14	22	18	28	22	36	28	45	36	56	45	70	56	90	70	110	90	140	
Velocidad máxima (m/s) Juntas tipo 3	0,5				0,4				0,25												
Velocidad máxima (m/s) Juntas tipo 8	1						0,7														
Longitud de amortiguación(mm)	Delantera	20	20	20	20	27	27	28	29	28	29	30	31	30	31	30	31	38	39	44	45
	Trasera	20	20	27	28	29	33	32	31	38	57										
Carrera mín. (mm)	Sin amortig.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Con amortig.	45	45	60	65	65	70	70	70	85	110										
Carrera max. (mm) con tirantes	250	300	400	500	600	700	800	1000	1100	1250											
Carrera max. (mm) con brida	250	800	1000	1200	1400	1700	2000	2300	2600	3000											
Tolerancia de carrera	ISO 8135																				

(Glual, 2007).

Datos del cilindro seleccionado

$$D_{\text{piston}} = 200\text{mm}$$

$$D_{\text{vástago}} = 90\text{mm}$$

$$L = 1000\text{mm}$$

3.2.2 Presión y caudal del aceite hidráulico

Sabiendo que la presión de trabajo es la fuerza aplicada sobre una superficie determinada se tiene que:

$$P = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

$$A = \pi r^2 \quad (3.2)$$

Donde:

r es el radio del cilindro

El diámetro del pistón es 200mm

$$A = \pi * (0.1 \text{ m})^2$$

$$A = 31.42 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Reemplazando en la ecuación (3.1)

$$P = \frac{294300 \text{ N}}{31.42 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$\mathbf{P = 9,36 \text{ MPa (1358,71 psi)}}$$

El tiempo de cada uno de los ciclos se obtuvo mediante muestreo en varias enfardadoras. Como resultado, la máquina se demora en bajar 60 segundos aproximadamente.

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{A * L}{t} \quad (3.3)$$

Q = Caudal, A = Area del vástago, L = longitud del vástago

$$Q = \frac{31.4 \times 10^{-3} * 1}{60}$$

$$Q = 0.52 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\mathbf{Q = 0,52 \frac{L}{s} (8,23 \text{ gpm})}$$

3.2.3 Selección del depósito oleohidráulico

Referenciando los datos del cilindro hidráulico seleccionado se obtiene el volumen de aceite que ocupara el cilindro.

$$V_{\text{cilindro}} = A * \text{Longitud} \quad (3.4)$$

V_{cilindro} = Volumen del cilindro hidraulico

$$V_{\text{cilindro}} = 31.42 \times 10^{-3} \text{ m}^2 * 1\text{m}$$

$$V_{\text{cilindro}} = 31.42 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\mathbf{V_{\text{cilindro}} = 31.42 \text{ L (8,3g l)}}$$

Tomando en cuenta que el volumen del cilindro es 31.42 L (8.3 gl) y que un depósito hidráulico debe abastecer de 2 a 3 veces el volumen del cilindro se obtuvo que:

$$V_{\text{deposito}} = 3 * V_{\text{cilindro}} \quad (3.5)$$

$$V_{\text{deposito}} = 3 * 31.42\text{Lts}$$

$$V_{\text{deposito}} = 94.26 \text{ L (25 gl)}$$

3.2.4 Selección de la bomba y válvulas

Bomba

Para la selección de la bomba que se utilizó en el sistema hidráulico se analizó algunas de las características que cada una posee. En la Tabla No. 5 se puede apreciar una comparación entre los diferentes tipos de bombas.

Tabla No. 5.

Análisis de alternativas entre tipos de bombas hidráulicas.

	Ponderación	De engranajes	De paletas	De pistón
Capacidad (presión)	50%	4	3	2
Mantenimiento	10%	4	3	1
Aplicación	40%	4	2	3
TOTAL	100%	4	2.6	2.3

Se considera un valor variable de 1 a 5 para ponderar las diferentes características de las bombas hidráulicas.

Las bombas de engranajes son de caudal fijo, con presiones de operación hasta 250 bar (3600psi) y velocidades de hasta 6000 rpm, con caudales de 250 ml/rev combinan una alta confiabilidad y tecnología de sellado especial, luego de un análisis comparativo de las diferentes clases

de bombas se optó por la adquisición de una bomba de engranajes por lo que se ajusta a las necesidades de la aplicación de la enfardadora.

Válvulas

Las válvulas del sistema hidráulico del proyecto cumplen con los siguientes requerimientos:

Limite de presión = 10 MPa

$$Q = 0.52 \frac{\text{L}}{\text{s}} (8,23 \text{ gpm})$$

Se utilizó dos válvulas reguladores de caudal para variar la velocidad de desplazamiento del vástago, una válvula solenoide 4/3 con centro tándem el control de posición del vástago, una válvula reguladora de presión para el sistema hidráulico y una válvula de globo de cuarto de vuelta para el manómetro.

3.2.5 Dimensionamiento de las mangueras hidráulicas

Para la selección de las mangueras hidráulicas se tomó en cuenta la presión de trabajo de 10 MPa (1450.4 psi) y caudal de 0.52 L/s para calcular el diámetro de las mismas. (Glual, 2007).

$$d = 4.62 * \sqrt{\frac{Q}{V}} \quad (3.6)$$

d = diámetro, Q = Caudal, A = Velocidad de línea

Los siguientes valores de velocidad de línea son recomendados para minimizar la caída de presión.

Tabla No. 6.

Rango de velocidades recomendadas.

Rango de velocidades recomendadas	
Línea impelente	2 a 4,6 m/s
Línea aspirante	0,6 a 1,5 m/s

(Glual, 2007).

Utilizando la ecuación (3.6) se tiene la línea impelente:

$$d = 4.62 * \sqrt{\frac{31.42}{4.6}}$$

$$\mathbf{d = 12.1 \text{ mm}}$$

Mediante el catálogo se obtuvo que el diámetro $d = 12.7 \text{ mm}$ (Soluciones MRO 2006).

Para la línea aspirante:

$$d = 4,62 * \sqrt{\frac{31,42}{1,5}}$$

$$\mathbf{d = 21.1 \text{ mm}}$$

Mediante el catálogo se obtuvo que el diámetro $d = 25.4 \text{ mm}$ (Soluciones MRO 2006).

3.2.6 Filtro hidráulico

De acuerdo a las características del sistema hidráulico es necesario elementos de filtración para evitar el paso de impurezas que pueden dañar las paredes del cilindro hidráulico debido a la alta presión de trabajo. La especificación de los filtros es:

Retención de filtración: 10 micras.

Presión de operación: 200 psi (14 bar.)



Figura No. 54. Filtro instalado en la centralina hidráulica.

3.2.7 Fluido hidráulico

Los aceites Rando HD pueden ser utilizados como lubricantes de ejes en donde los aceites libres de zinc no son un requerimiento. Los aceites Rando 32, 46 o 68 son recomendados para aplicaciones en las que usan:

- Bombas de tipo vane, pistón, o engranajes, especialmente en donde las presiones exceden 1000 psi.
- Compresores recíprocos ligeramente cargados

Dependiendo del tipo de trabajo a desarrollar por el fluido hidráulico se busca seleccionar aquel aceite que ofrezca el mayor número de prestaciones y satisfacciones del equipo hidráulico tales como refrigeración, lubricación y protección ante la corrosión.

El aceite lubricante se seleccionó por recomendación del proveedor de la centralina hidráulica y por sus aplicaciones en sistemas industriales (Ver ANEXO A).

Los aceites RANDO HD son fluidos hidráulicos formulados con bases parafínicas destiladas de excelente estabilidad y de alto índice de viscosidad (Chevron, 2014).

El aceite a utilizar es el RANDO 46, ya que contienen una cuidadosa y selectiva composición química que les otorga buenas propiedades antidesgaste, antiespuma y antioxidantes.

3.3 SISTEMA MECÁNICO

Se enfatizó el diseño de la parte mecánica de la enfardadora en ciertos elementos estructurales en base a análisis de fatiga de los mismos. Los elementos estructurales que se consideraron para el análisis respectivo debido a que son sometidos a grandes esfuerzos fueron:

Viga AB: Considerada como la viga crítica (Figura No. 55) debido a que está expuesta a soportar la mitad de la fuerza aplica por el cilindro hidráulico. Se encuentra ubicada en la parte frontal superior de la máquina y soporta la fuerza de compresión de la paca, como resultado, esta viga sufre deflexiones que deben ser consideradas para que no afecten el trabajo de la máquina.

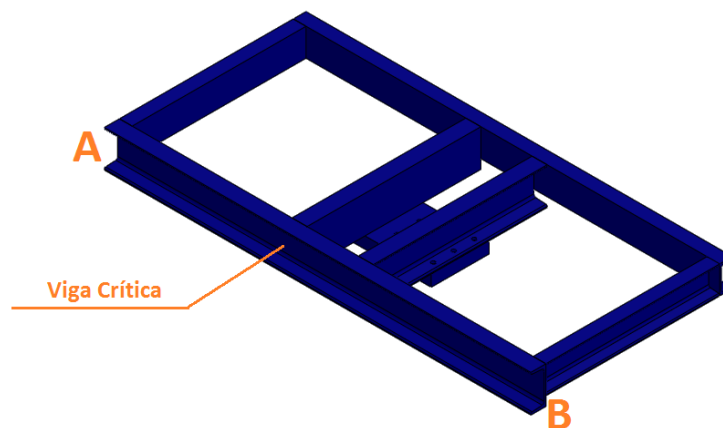


Figura No. 55: Viga Crítica AB.

Viga CD: Considerada como la viga principal (Figura No. 56). Son dos vigas ubicadas perpendicularmente a la viga AB (crítica) y están en contacto directo con el soporte del cilindro hidráulico en el cual actúa la fuerza de compactación directamente.

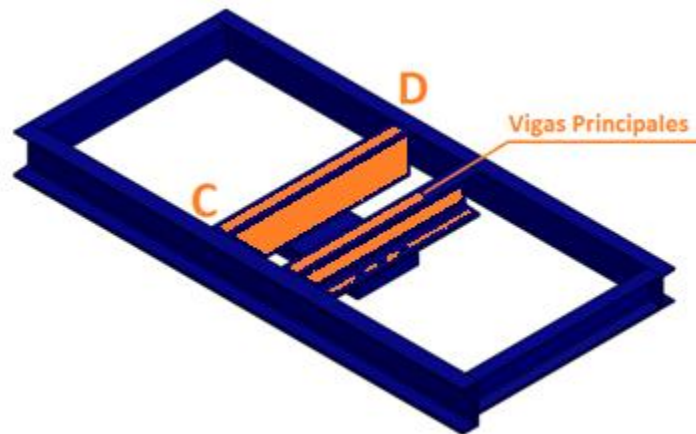


Figura No. 56: Viga Principal CD.

La selección de la viga se la realizo en base a un catálogo normalizado y utilizando la inercia de cada una de las vigas (Ver ANEXO B), para la configuración de la viga AB (viga critica) se utilizó dos vigas de 160 mm. Con el objetivo de optimizar el material

3.3.1 Dimensionamiento de la viga AB

La fuerza que el cilindro ejerce sobre la estructura se distribuye en la vigas, tanto AB como CD, como se muestra en la Figura No. 57.

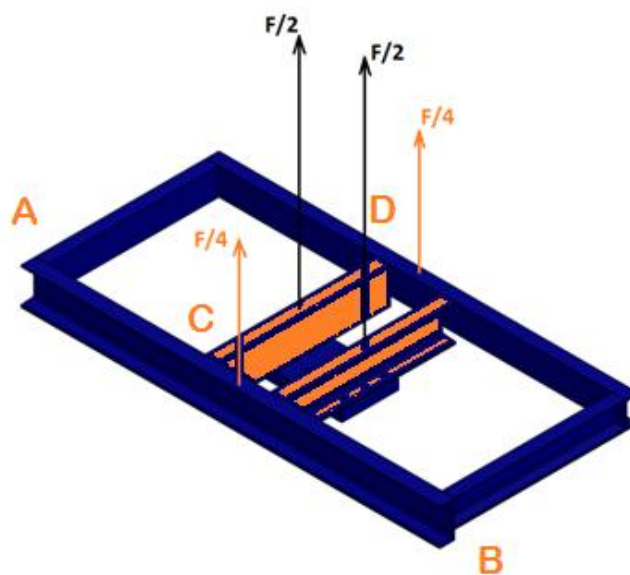


Figura No. 57: Distribución de fuerza en las vigas AB y CD.

La fuerza que la viga AB soporta es igual a la cuarta parte de la ejercida por el cilindro. Adicionalmente, la distancia entre las vigas CD es necesaria para los cálculos siguientes (Figura No. 58).

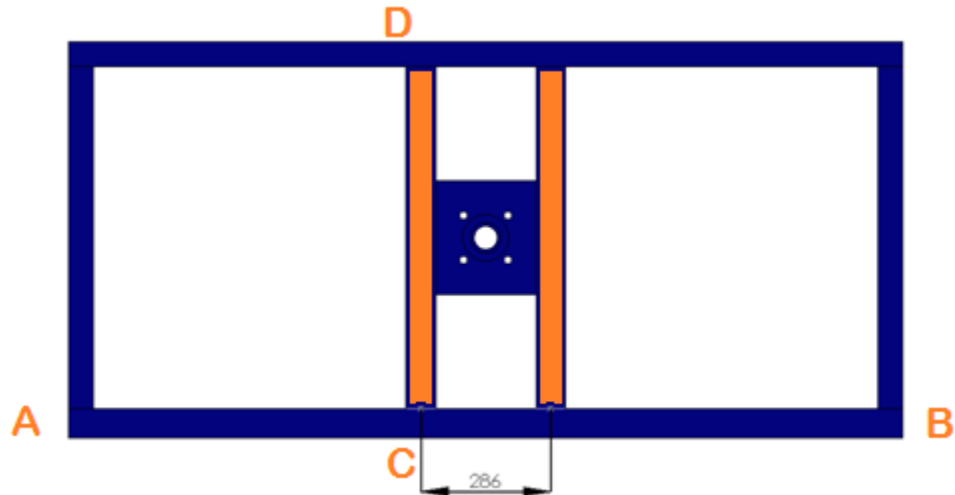


Figura No. 58: Distancia entre centros de las vigas CD.

$$F_{\text{trabajo}} = 294 \text{ kN}$$

$$F_{\text{viga AB}} = \frac{F_{\text{trabajo}}}{4} = F = 73.58 \text{ kN}$$

$$L_{\text{viga AB}} = 1840 \text{ mm}$$

$$a = \frac{L_{\text{viga AB}} - L_{\text{centros viga CD}}}{2} \quad (3.7)$$

$$a = \frac{1840 - 286}{2} = 777 \text{ mm}$$

Reacciones en la viga (Gere & Timoshenco, 1984)

$$\mathbf{R1 = R2 = R = 73.58 \text{ kN}} \quad (3.8)$$

Momentos actuantes a carga nominal

$$M1 = M2 = M = \frac{F * a * (L - a)}{L} \quad (3.9)$$

$$M = \frac{(73.58 \text{ kN}) * 0.78 \text{ m} * (1.06 \text{ m})}{1.84 \text{ m}}$$

$$M = 33.06 \text{ kN} * \text{m}$$

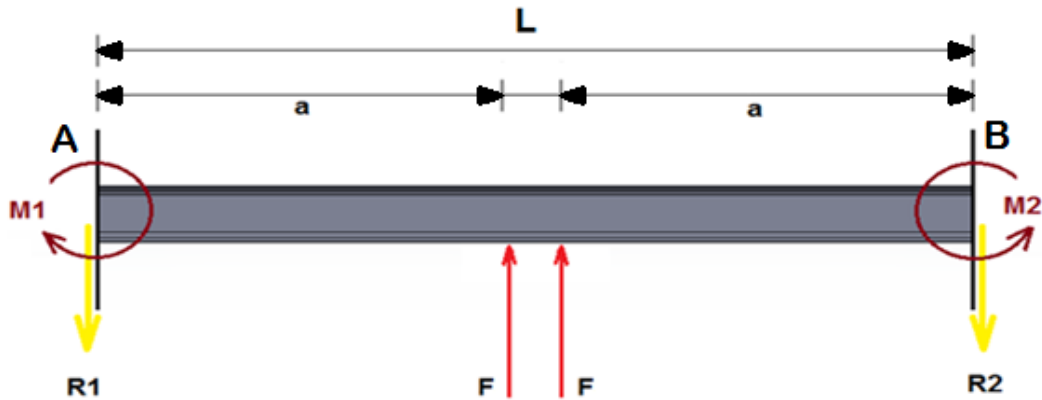


Figura No. 59: Viga AB.

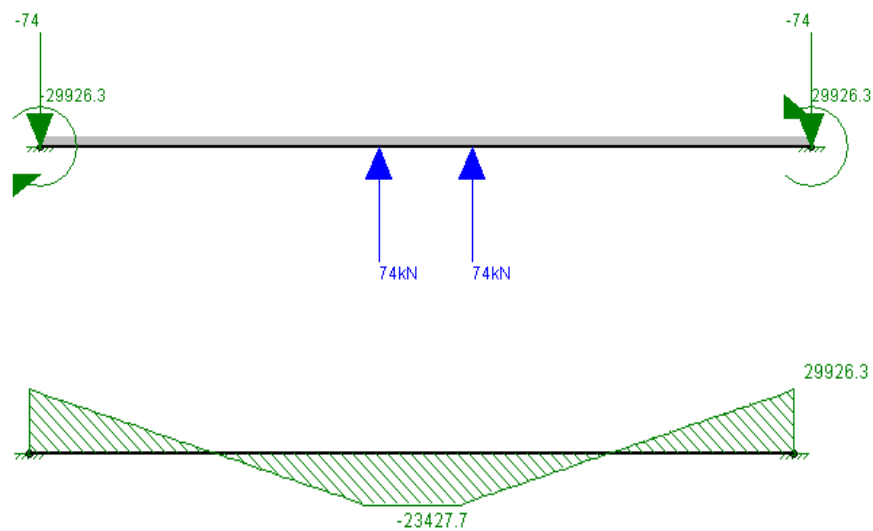


Figura No. 60: Reacciones y momentos en la viga AB.

Por medio del análisis a fluencia se determinó la deflexión de la viga a carga nominal (Gere & Timoshenko, 1984)

$$Y = \frac{F * a^2 * (3 * L - 4 * a)}{24 * E * I} \quad (3.10)$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$I = 27 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$Y = \frac{(73580 \text{ N}) * (0.78 \text{ m})^2 * (3 * 1.8 \text{ m} - 4 * 0.78 \text{ m})}{24 * 210 \times 10^9 \text{ Pa} * 27 \times 10^{-6} \text{ m}^4}$$

$$Y = 0.75 \times 10^{-3} \text{ m} = 0.75 \text{ mm}$$

De conformidad con las especificaciones AISC 2005 se considera los límites establecidos para vigas sometidas a cargas vivas de servicio en la que el límite máximo de deflexión es:

$$\text{Deflexión máxima} = \frac{L}{500}$$

Donde L es la longitud del claro

$$\text{Deflexión máxima} = \frac{L}{500} = \frac{1840}{500} = 3,68 \text{ mm}$$

De lo cual la deflexión $Y = 0.75 \text{ mm}$ se encuentra dentro del rango admisible en comparación al límite máximo de deflexión.

Ciertos elementos componentes de la máquina son sometidos a fuerzas fluctuantes y alternantes de tal forma que se consideró necesario realizar un estudio de fatiga de dichas partes.

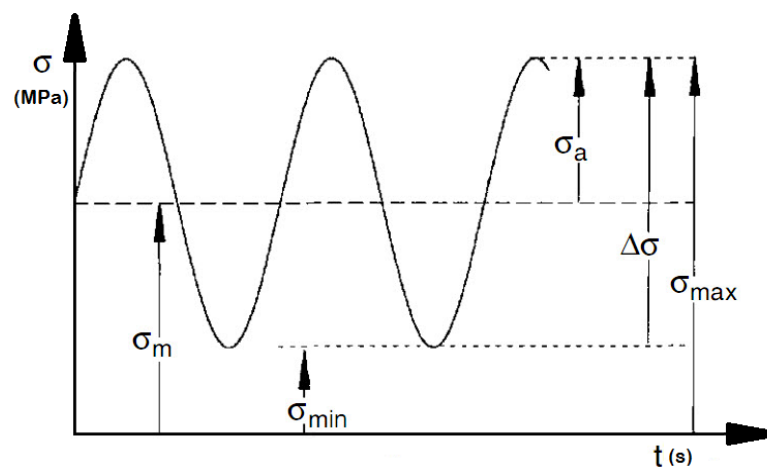


Figura No. 61: Diagrama general de esfuerzos fluctuantes.
(Zapata, 2003)

El material utilizado en los elementos que soportan grandes cargas es Acero ASTM A36, las propiedades mecánicas son: $S_{ut} = 410$ MPa (58 kpsi), $S_y = 250$ Mpa (36 kpsi), usado para la conformación de estructuras ya que tiene una notoria deformación antes de llegar a la fractura, además es un acero comercial y cuyas propiedades satisfacen a los requerimientos del diseño.

Teniendo en cuenta que la capacidad de compactación debe ser de 294 kN (30 t) se obtuvo:

$$\begin{aligned}
 F_{\max} &= 147.15 \text{ kN} \\
 F_{\min} &= -9.81 \text{ kN} \\
 \sigma_{\max} &= 121.4 \text{ MPa} \\
 \sigma_{\min} &= -4 \text{ MPa} \\
 \sigma_a &= \left| \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \right| \quad (3.11)
 \end{aligned}$$

$$\sigma_a = \left| \frac{121.4 - (-4)}{2} \right|$$

$$\sigma_a = 62.7 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (3.12)$$

$$\sigma_m = \frac{121.4 + (-4)}{2}$$

$$\sigma_m = 58.7 \text{ Mpa}$$

Se obtiene el límite de resistencia a la fatiga

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e \quad (3.13)$$

$$S'_e = 0,5 * S_{ut} = 0,5 * 410$$

$$S'_e = 205 \text{ MPa}$$

Se calculó los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga los mismos que se describen en la Tabla No. 7.

Tabla No. 7.

Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga.

FACTORES QUE MODIFICAN EL LÍMITE DE RESISTENCIA A LA FATIGA	
k_a	Modificación de la condición superficial
k_b	Modificación del tamaño
k_c	Modificación de la carga
k_d	Modificación de la temperatura
k_e	Modificación de la confiabilidad
k_f	Modificación efectos varios

(Budynas & Nisbett, 2012).

$${}^1k_a = a * S_{ut}^b \quad (3.14)$$

$$a = 4,51$$

$$b = -0,265$$

$$k_a = 4.51 * 410^{-0.265}$$

$$\mathbf{k_a = 0.92}$$

Debido a que la viga no tiene una sección circular se calculó un diámetro equivalente (d_e) y se aplicó la ecuación (3.16) para un sección tipo C como lo es la viga de estudio.

$$k_b = 1.51 * d^{-0.157} \quad (3.15)$$

$$d_e = 0,808 * \sqrt{h * b} \quad (3.16)$$

¹ Los parámetros a y b se obtuvieron de la Tabla 6-2 (Budynas & Nisbett, 2012), pág. 274.

d_e = distancia efectiva, h = altura de la viga,

b = ancho de la viga

$$d_e = 0,808 * \sqrt{160 * 65}$$

$$\mathbf{d_e = 82.4 \text{ mm}}$$

$$k_b = 1.51 * 82.4^{-0.157}$$

$$\mathbf{k_b = 0.76}$$

La viga AB es sometida a una carga a flexión por lo que el factor modificador de carga es igual a 1.

$$\mathbf{k_c = 1}$$

Se asume un factor de confiabilidad estándar del 50 %.

$$\mathbf{k_e = 1}$$

Reemplazando los valores calculados en la ecuación 3.13 se obtuvo el límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e = 0.92 * 0.76 * 1 * 1 * 205$$

$$\mathbf{S_e = 143.34 \text{ MPa}}$$

Con los valores obtenidos se calculó el factor de seguridad basado en el criterio de falla ASME-Elíptica.

$$nf = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{S_y}\right)^2}} \quad (3.17)$$

$$nf = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{62.7}{143.44}\right)^2 + \left(\frac{58.7}{250}\right)^2}}$$

$$\mathbf{nf = 2,1}$$

Se calcula el factor de seguridad para la fluencia en el primer ciclo.

$$\sigma_a + \sigma_m = \frac{S_y}{n_y} \quad (3.18)$$

$$= \frac{S_y}{\sigma_a + \sigma_m} = \frac{250}{62,7 + 58,7}$$

$$n_y = 2,06$$

3.3.2 Dimensionamiento de la viga CD

Como se mencionó anteriormente la fuerza que el cilindro ejerce sobre la estructura se distribuye en las vigas AB Y CD como se muestra en la Figura No. 57. La fuerza que la viga CD soporta es igual a la mitad de la fuerza ejercida por el cilindro, ya que esta fuerza se divide en las dos vigas CD (principales).

$$F_N = 2940 \text{ kN}$$

$$F_{CD} = \frac{F_N}{2} = F = 147.15 \text{ kN}$$

$$L_{CD} = 750 \text{ mm}$$

$$a = b = \frac{L_{CD}}{2} = 375 \text{ mm}$$

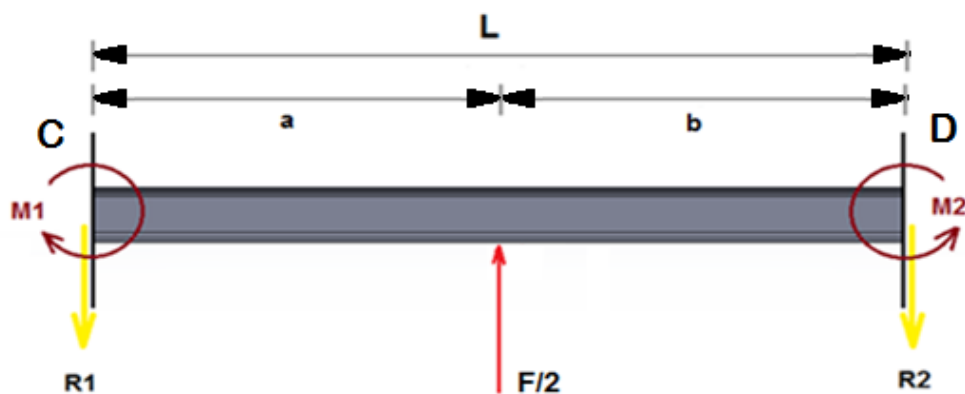


Figura No. 62: Fuerzas aplicadas en la viga CD.

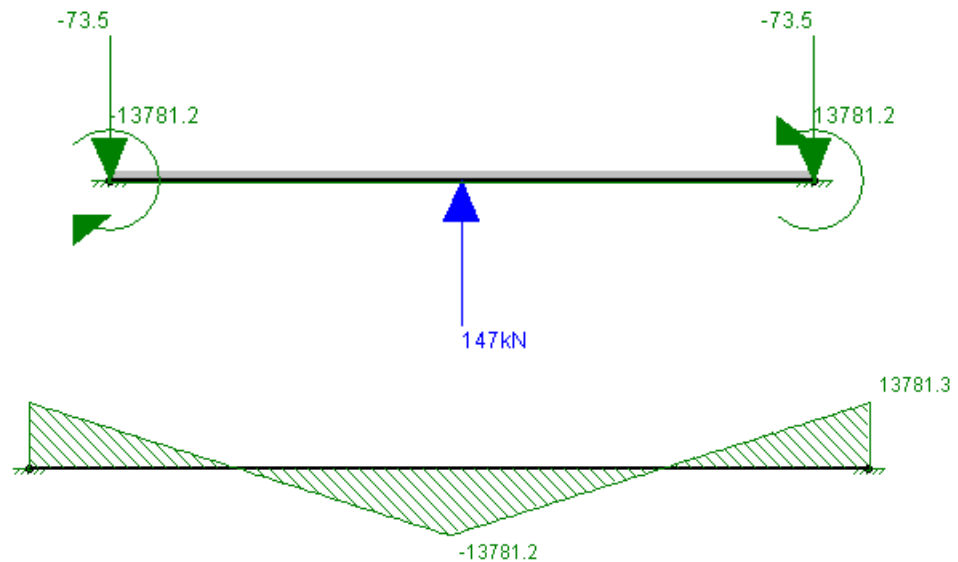


Figura No. 63: Reacciones y momentos de la viga principal.

Reacciones en la viga utilizando la ecuación (3.8) (Gere & Timoshenko, 1984)

$$R1 = R2 = R = 73.58 \text{ kN}$$

Momentos actuantes a carga nominal (ídem)

$$M1 = M2 = M = \frac{F * a * b^2}{L^2} \quad (3.19)$$

$$M = \frac{(147.15 \text{ kN}) * 0.375 \text{ m} * (0.375 \text{ m})^2}{0.75 \text{ m}}$$

$$M = 10.35 \text{ kN} * \text{m}$$

Por medio del análisis a fluencia se determinó la deflexión de la viga a carga nominal (ídem).

$$Y = \frac{F * b^2 * a^2 * (b * (3 * a + b) - 3 * a * l)}{6 * E * I^3} \quad (3.20)$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$I = 27 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$Y = \frac{(147150) * (0.375)^4 * (0.375 * (3 * 0.375 + 0.375)) - 3 * 0.375 * 0.75}{6 * 210 * 10^9 * 27 * 10^{-6}}$$

$$Y = 82.7 * 10^{-6} \text{ m} = 82.7 * 10^{-3} \text{ mm}$$

En base a las especificaciones AISC 2005 se tiene en cuenta los límites establecidos para vigas sometidas a cargas vivas de servicio en la que el límite máximo de deflexión es:

Donde L es la longitud del claro

$$\text{Deflexión máxima} = \frac{L}{500} = \frac{750}{500} = 1,5\text{mm}$$

De lo cual la deflexión $Y = 82.7 * 10^{-3} \text{ mm}$ se encuentra dentro del rango admisible en comparación al límite máximo de deflexión.

De igual manera se realizó el análisis por fatiga por ser un elemento sometido a cargas fluctuantes (Figura No. 61).

$$F_{\max} = 147.15 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\max} = 118.9 \text{ MPa}$$

$$F_{\min} = -9.81 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\min} = -3.96 \text{ MPa}$$

Utilizando la ecuación (3.11) se obtuvo

$$\sigma_a = \left| \frac{118.9 - (-3.96)}{2} \right|$$

$$\sigma_a = 61.43 \text{ MPa}$$

Utilizando la ecuación (3.12) se obtuvo

$$\sigma_m = \frac{118.9 + (-3.96)}{2}$$

$$\sigma_m = 57.47 \text{ MPa}$$

Por medio de la ecuación (3.13) se obtuvo el límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e$$

$$S'_e = 0,5 * S_{ut} = 0,5 * 410$$

$$S'_e = 205 \text{ MPa}$$

Se calculó los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga los mismos que se describen en la Tabla No. 7.

$$k_a = a * S_{ut}^b$$

$$a = 4,51 \quad b = -0,265$$

$$k_a = 4,51 * 410^{-0,265}$$

$$\mathbf{k_a = 0.92}$$

Debido a que la viga no tiene una sección circular se calculó un diámetro equivalente (d_e) y se aplicó la ecuación (3.16) para un sección tipo C como lo es la viga de estudio.

$$k_b = 1.51 * d^{-0.157}$$

$$d_e = 0,808 * \sqrt{h * b}$$

d_e = distancia efectiva, h = altura de la viga, b = ancho de la viga

$$d_e = 0,808 * \sqrt{160 * 65}$$

$$\mathbf{d_e = 82.4 \text{ mm}}$$

$$k_b = 1.51 * 82.4^{-0.157}$$

$$\mathbf{k_b = 0.76}$$

La viga CD es sometida a una carga a flexión por lo que lo que su modificador de carga es igual a 1 (Budynas & Nisbett, 2012)

$$\mathbf{k_c = 1}$$

Se asume un factor de confiabilidad estándar del 50 %.

$$\mathbf{k_e = 1}$$

Reemplazando los valores calculados en la ecuación (3.13) se obtuvo el límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e = 0.92 * 0.76 * 1 * 1 * 205$$

$$\mathbf{S_e = 143.34 \text{ MPa}}$$

Con los valores obtenidos se calculó el factor de seguridad basado en ASME-Elíptica (Budynas & Nisbett, 2012).

$$nf = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{S_y}\right)^2}}$$

$$nf = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{61.43}{143.34}\right)^2 + \left(\frac{57.47}{250}\right)^2}}$$

nf = 2,1

Utilizando la ecuación (3.18) se determinó el factor de seguridad a la fluencia en el primer ciclo.

$$\sigma_a + \sigma_m = \frac{S_y}{n_y}$$

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma_a + \sigma_m} = \frac{250}{61.43 + 57.47}$$

n_y = 2.1

3.3.3 Análisis de pandeo del vástago

El material utilizado para los vástagos generalmente es el acero SAE 1045, las propiedades mecánicas son: $S_{ut} = 565$ MPa (82 kpsi), $S_y = 310$ Mpa (45 kpsi).

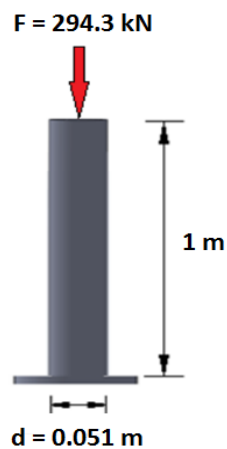


Figura No. 64. Vástago del cilindro hidráulico.

Longitud efectiva:

Es aquella longitud medida cuando el elemento se encuentra pandeada, en el caso del vástago es:

$$L_e = \frac{l}{2} \quad (3.21)$$

l = longitud del vástago

$$L_e = \frac{1000}{2} = 500 \text{ mm} = 0.5 \text{ m}$$

Radio de giro:

Con el Momento de Inercia se calculó el radio de giro:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (3.22)$$

r = Radio de giro

$$I = \text{inercia de la seccion} = \frac{\pi * d^4}{64} \quad (3.23)$$

A = Area de la seccion transversal del vástago

$$d = 51 \text{ mm}$$

$$r = \sqrt{\frac{\frac{\pi * d^4}{64}}{\frac{\pi * d^2}{4}}} \quad (3.24)$$

$$r = \sqrt{\frac{51^2}{16}}$$

$$r = 12,8 \text{ mm}$$

$$r = 12,8 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Tanto el momento de inercia como el radio de giro permiten ver que existe un eje rotación. Si el radio es pequeño está señalando una curva de pandeo muy pronunciada.

Esbeltez:

Es la relación proporcional, entre la altura y la sección transversal del elemento. Un elemento muy largo y fino va a pandear con muchísima facilidad, esto es: con pequeñas cargas aplicadas en el extremo superior.

Un elemento muy grueso, amplio y corto, difícilmente va a pandear, incluso puede llegar a la ruptura sin manifestar pandeo alguno.

$$RE = \frac{L_e}{r_{\min}} = \frac{500}{12.8} = 39.1 \quad (3.25)$$

Incidencia del material en el problema del pandeo

Para poder comparar valores críticos de esbeltez contra las propiedades del material se debe establecer una nueva relación llamada constante de columna:

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{S_f}} \quad (3.26)$$

E = Módulo de elasticidad del acero = 200 GPa

S_y = Esfuerzo de fluencia = 310 MPa

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 200 * 10^9}{310 * 10^6}}$$

$$C_c = 112,85$$

Para encontrar el límite entre una columna larga o corta se comparara el valor de la relación de esbeltez (RE) y la constante de columna (Cc).

Si R.E. > C_c entonces se utiliza Euler (columna larga).

Si R.E. < C_c entonces se utiliza Johnson (columna corta).

$$R.E. < C_c \quad (3.27)$$

$$39.1 < 112.85$$

Entonces se usa la fórmula de Johnson (columna corta).

$$P_{cr} = A * S_y \left[1 - \frac{S_f * \left(\frac{L_e}{r} \right)^2}{4 * \pi^2 * E} \right] \quad (3.28)$$

Donde:

P_{cr} = valor crítico de la fuerza en Newtons

A = area de la seccion transversal en m^2 .

S_y = esfuerzo de fluencia en Pascales.

L_e = longitud efectiva en metros.

r = radio de giro en metros

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 0.051^2}{4} = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_f = 310 \text{ MPa}$$

$$L_e = 0.5 \text{ m}$$

$$r = 12,8 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$P_{cr} = 2 \times 10^{-3} * 310 * 10^6 * \left[1 - \frac{310 * 10^6 * \left(\frac{0.5}{12,8 \times 10^{-3}} \right)^2}{4 * \pi^2 * 200 * 10^9} \right]$$

$$\mathbf{P_{cr} = 619.63 \text{ kN}}$$

$$n = \frac{\text{Fuerza crítica}}{\text{Fuerza aplicada}} \quad (3.29)$$

$$n = \frac{619.63}{294}$$

$$n = 2.1$$

Al estar sometidos a cargas fluctuantes y alternantes se necesitó realizar el análisis a fatiga en base al requerimiento del fabricante, de que la capacidad de compactación debe ser de 294 kN (30 t).

$$F_{\max} = 294 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\max} = 144.1 \text{ MPa}$$

$$F_{\min} = -9.81 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\min} = -4.8 \text{ MPa}$$

Utilizando la ecuación (3.11) y ecuación (3.12) respectivamente se obtuvo los siguientes valores

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \right|$$

$$\sigma_a = \left| \frac{144.1 - (-4.8)}{2} \right|$$

$$\sigma_a = \mathbf{74.45 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

$$\sigma_m = \frac{144.1 - 4.8}{2}$$

$$\sigma_m = \mathbf{69.65 \text{ MPa}}$$

Por medio de la ecuación (3.13) se obtuvo el límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e$$

$$S'_e = 0,5 * S_{ut} = 0,5 * 565$$

$$S'_e = \mathbf{282.5 \text{ MPa}}$$

Se calculó los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga los mismos que se describen en la Tabla No. 7.

$$k_a = a * S_{ut}^b$$

$$a = 4,51 \quad b = -0,265$$

$$k_a = 4.51 * 410^{-0.265}$$

$$\mathbf{k_a = 0.92}$$

Debido a que el vástago está sometido a fuerza axial el factor de tamaño k_b y el factor de carga k_c son igual a 1 y 0.85 respectivamente.

$$\mathbf{k_b = 1}$$

$$\mathbf{k_c = 0.85}$$

Se asume un factor de confiabilidad estándar del 50 %.

$$\mathbf{k_e = 1}$$

Reemplazando los valores calculados en la ecuación (3.13) se obtuvo el límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e = 0.92 * 1 * 0.85 * 1 * 282.5$$

$$\mathbf{S_e = 221 \text{ MPa}}$$

Con los valores obtenidos se calculó el factor de seguridad basado en ASME-Elíptica.

$$nf = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{S_y}\right)^2}}$$

$$nf = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{74.45}{221}\right)^2 + \left(\frac{69.65}{310}\right)^2}}$$

$$\mathbf{nf = 2.46}$$

Utilizando la ecuación (3.18) se determinó el factor de seguridad a la fluencia en el primer ciclo.

$$\sigma_a + \sigma_m = \frac{S_y}{n_y}$$

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma_a + \sigma_m} = \frac{250}{69.65 + 74.45}$$

$$\mathbf{n_y = 1.73}$$

3.3.4 Dimensionamiento de los prisioneros

Se consideró el peso de la placa compactadora y se distribuye de manera uniforme en tres partes debido a que se colocaron 3 prisioneros equidistantes.

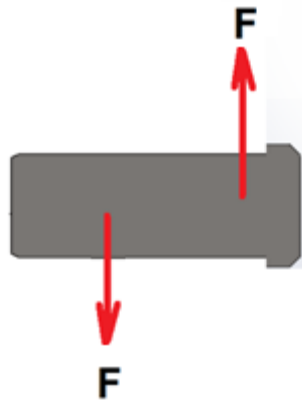


Figura No. 65. Prisionero.

$$F_{\text{placa}} = 9.81 \text{ kN}$$

$$F_{\text{prisionero}} = \frac{F_{\text{placa}}}{3} = 3.27 \text{ kN}$$

Utilizando la ecuación (3.1) se tiene:

$$\tau = \frac{F_{\text{cortante}}}{A} = \frac{F_{\text{placa}}}{\pi * \frac{d_p^2}{4}}$$

τ = esfuerzo cortante en el prisionero

A = Area transversal del prisionero

d_p = diámetro del prisionero

$$d_p = \sqrt{\frac{4 * F_{\text{prisionero}}}{\pi * \tau}}$$

$$d_p = \sqrt{\frac{4 * 3270}{\pi * 250000000}}$$

$$d_p = 5.08 \times 10^{-3} \text{ m} = 5.08 \text{ mm}$$

Se consideró un valor normalizado de prisionero M8.

Como se mencionó anteriormente, para elementos que soportan grandes cargas es el material utilizado es Acero ASTM A36, las propiedades mecánicas son: $S_{ut} = 410 \text{ MPa}$ (58 kpsi), $S_y = 250 \text{ MPa}$ (36 kpsi). Al estar sometidos a cargas fluctuantes y alternantes se necesitó realizar el análisis a fatiga.

$$F_{\max} = 3.27 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\max} = 65.05 \text{ MPa}$$

$$F_{\min} = 0 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\min} = 0 \text{ MPa}$$

Utilizando la ecuación (3.11) y ecuación (3.12) respectivamente se obtuvo los siguientes valores

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \right|$$

$$\sigma_a = \left| \frac{65.05 - 0}{2} \right|$$

$$\sigma_a = \mathbf{32.52 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

$$\sigma_m = \frac{65.05 + 0}{2}$$

$$\sigma_m = \mathbf{32.52 \text{ MPa}}$$

Se obtiene el límite de resistencia a la fatiga por medio de la ecuación (3.13)

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_e * k_f * S_e'$$

$$S_e' = 0,50 * 410$$

$$\mathbf{S_e' = 205 \text{ MPa}}$$

Se calculó los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga descritos en la Tabla No. 7.

$$k_a = a * S_{ut}^b$$

$$a = 4,51 \quad b = -0,265$$

$$k_a = 4,51 * 410^{-0,265}$$

$$\mathbf{k_a = 0.92}$$

De acuerdo al diámetro seleccionado para el pasador, se sugiere el siguiente factor de tamaño.

$$k_b = 1.24 * d_p^{-0,107}$$

$$k_b = 1.24 * 8^{-0,107}$$

$$\mathbf{k_b = 0.99}$$

Los pasadores son sometidos a una carga cortante por lo que el factor de carga es de 0.59.

$$\mathbf{k_c = 0,59}$$

Se asume un factor de confiabilidad estándar del 50 %.

$$\mathbf{k_e = 1}$$

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación (3.13) se obtuvo el límite de resistencia a la fatiga

$$Se = 0,92 * 0,99 * 0,59 * 1 * 1 * 205$$

$$\mathbf{Se = 110 MPa}$$

Con los valores obtenidos se calculó el factor de seguridad basado en ASME-Elíptica.

$$nf = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\sigma_a}{Se}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{Sy}\right)^2}}$$

$$nf = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{32.52}{110}\right)^2 + \left(\frac{32.52}{250}\right)^2}}$$

$$\mathbf{nf = 3.09}$$

3.4 SISTEMA ELÉCTRICO – ELECTRÓNICO

3.4.1 Selección del motor

Se calculó la potencia requerida por la máquina.

Datos:

$$P_e = \frac{Q * P}{600 * E_f} \quad (3.30)$$

Donde:

P_e = Potencia eléctrica

$$Q = 0.52 \frac{L}{s} = 31.2 \frac{L}{min}$$

$P = 9.36 \text{ MPa} = 93.6 \text{ Bar}$

E_f = Eficiencia del motor (85%)

$$P_e = \frac{31.2 * 93.6}{600 * 0.85}$$

$$P_e = 5.73 \text{ kw (8 hp)}$$

Debido a que la potencia máxima de trabajo requerida para la compactación de las pacas es 5.73 kw se ha seleccionado un motor de 7.46 kw (10 hp) trifásico a 220V es un valor normalizado se acerca al valor del dimensionamiento.

DATOS TÉCNICOS:

Marca: SIEMENS

Alimentación: trifásica

Potencia: 7,46kw (10hp)

Voltaje: 220V/440 V

Velocidad nominal: 1755 RPM

Corriente nominal: 25 A

Frecuencia: 60Hz

Cos ϕ : 0,85

3.4.2 Selección del conductor eléctrico

La potencia nominal es de 7.46 kw (10 hp). Con este valor se realizó el dimensionamiento de los conductores eléctricos. Se determinó la corriente nominal que deben soportar los mismos.

Datos:

$$\begin{aligned}
 P_e &= 7.46 \text{ kw (10 hp)} \\
 V &= 220V \\
 P_e &= \sqrt{3} * V_L * I_N * \cos\phi * N \qquad (3.31)
 \end{aligned}$$

Donde:

$$\begin{aligned}
 V_L &= \text{voltaje de trabajo} \\
 I_N &= \text{Corriente nominal}
 \end{aligned}$$

Adicionalmente se asume el factor de potencia a plena carga de $\cos \phi = 0.9$ y una $N =$ eficiencia del motor a plena carga de 0.8.

Despejando de la ecuación (3.37) se obtuvo:

$$\begin{aligned}
 I_N &= \frac{P_e}{\sqrt{3} * V_L * \cos\phi * N} \\
 I_N &= \frac{7.46}{\sqrt{3} * 220 * 0.9 * 0.8} \\
 \mathbf{I_N} &= \mathbf{27.20 \text{ A}}
 \end{aligned}$$

La norma NEC en la sección 430-22, establece que el conductor que alimenta a un solo motor de corriente alterna, debe tener una capacidad no menor a 125% de la corriente nominal del motor, entonces tenemos $\text{Factor}_1 = 1,25$.

$$I = \text{Factor}_1 * I_{pc}(\text{MG}) \qquad (3.32)$$

$I_{pc}(\text{MG}) =$ corriente a plena carga del motor mas grande.

$$\mathbf{I = 1,25 * 28A = 35A}$$

Con este valor de corriente y en base a la Tabla No. 8 se obtuvo que el cable necesario es el Cable #10 AWG flexible tipo THWN 75°C.

Tabla No. 8.

Selección de conductores eléctricos.

CALIBRE	CONSTRUCCIÓN		ESPEORES		DIÁMETRO EXTERIOR APROXIMADO mm	PESO APROXIMADO Kg/Km	CAPACIDAD MÁXIMA DE CORRIENTE (AMP)			
	N° HEBRAS	e mm	AISLACIÓN mm	CUBIERTA mm			THWN (75°C)		THHN (90°C)	
							A	B	A	B
14		0.61	0.38	0.1	2.81	24.06	20	30	25	35
12		0.77			3.3	36.62	25	35	30	40
10		0.97	0.51	4.17	58.35	35	50	40	55	

(Covisa, 2014)

3.4.3 Selección de contactores

Se seleccionó los contactores en base a la potencia que estos deben soportar, para lo cual se sobredimensionó al 125% de la potencia nominal del motor (P_n).

Entonces se obtuvo:

$$P_{\text{contactor}} = 1.25 * P_n \quad (3.33)$$

$$P_{\text{contactor}} = 1.25 * 7.46 \text{ kw}$$

$$P_{\text{contactor}} = 9,33 \text{ kw (12.5 hp)}$$

Las aplicaciones de los contactores, en función de la categoría de servicio, son:

- **AC1** ($\cos \varphi \geq 0,9$): cargas puramente resistivas para calefacción eléctrica. Son para condiciones de servicio ligeros de cargas no inductivas o débilmente inductivas, hornos de resistencia, lámparas de incandescencia, calefacciones eléctricas. No para motores.
- **AC2** ($\cos \varphi = 0,6$): motores síncronos (de anillos rozantes) para mezcladoras centrífugas.

- **AC3** ($\cos \varphi=0,3$): motores asíncronos (rotor jaula de ardilla) en servicio continuo para aparatos de aire acondicionado, compresores, ventiladores.
- **AC4** ($\cos \varphi=0,3$): motores asíncronos (rotor jaula de ardilla) en servicio intermitente para grúas, ascensores.

Tabla No. 9.

Dimensionamiento de contactores.

Potencia Nominal(Hp)	Voltaje Nominal (V)	Corriente Nominal (A)	Categoría de servicio	Potencia del contactor (hp)
10	220	28	AC3	12,5

Los contactores utilizados tienen las siguientes características:

- Tipo de accionamiento: electromagnético.
- Voltaje nominal: 220v.
- Intensidad nominal del motor: 28A.
- Categoría de utilización establecida por la norma IEC: AC3.
- Frecuencia: 60Hz.
- Clase de servicio: Intermitente.
- Voltaje de bobina: 110v.
- Contactos auxiliares: 3NA

Tabla No. 10.

Tabla Selección de contactores Schneider.

Potencia		Corriente		Contactos		Referencias
380/415V kW	HP	En AC-3 440V hasta	En AC-1 $\varnothing < 40^{\circ}\text{C}$ hasta	NA	NC	
4	5,5	9A	25A	1	1	LC1-D09*
5,5	7,5	12A	25A	1	1	LC1-D12*
7,5	10	18A	32A	1	1	LC1-D18*
11	15	25A	40A	1	1	LC1-D25*
15	20	32A	50A	1	1	LC1-D32*
18,5	25	38A	50A	1	1	LC1-D38*
18,5	25	40A	60A	1	1	LC1-D40A*
22	30	50A	80A	1	1	LC1-D50A*
30	40	65A	80A	1	1	LC1-D65A*
37	50	80A	125A	1	1	LC1-D80*
45	60	95A	125A	1	1	LC1-D95*

(Schneider-electric, 2010)

3.4.4 Selección de la protección eléctrica (Guardamotor)

El guardamotor es un dispositivo que permite reunir todas las necesidades de un arranque directo en un solo aparato.

El mismo es básicamente un interruptor automático cuya característica de disparo es exactamente igual a la del relé térmico. Puede incluir un disparo por falla de fase, la compensación de temperatura ambiente y un disparo magnético ajustado para proteger adecuadamente al térmico.

Por eso el guardamotor reemplaza al conjunto contacto+ térmico+ fusible.

Para el diseño de las protecciones contra sobrecargas se debe considerar

- La corriente nominal de arranque y el funcionamiento en régimen estacionario del motor.
- Las curvas características de intensidad- tiempo.

La norma IEC 947-4-1-1 responde a esta necesidad respondiendo a tres tipos de disparo:

- Relé de clase 10: para motores pequeños de potencia fraccionaria con aceleración casi instantánea cuyo tiempo de disparo es extremadamente corto.
- Relé de clase 20: para la mayoría de motores de uso general clasificados por NEMA.
- Relé de clase 30: para motores con tiempos de aceleración de más de 10 segundos con altas cargas de inercia, para arranques con un máximo de 30 segundos de duración.

Los fabricantes recomiendan un ajuste de +/-20% de corriente nominal del motor.

$$A. C. = I_N + / - 0,20 I_N \quad (3.34)$$

A. C. = Ajuste de Corriente

$$A. C. = 28 + / - 0,2 * 28$$

$$A. C. = 28 + / - 5,6$$

3.4.5 Sensores

Debido a las condiciones de trabajo de la máquina se ha seleccionado sensores que se adapten a dichas circunstancias.

Los sensores mecánicos seleccionados se basa en contactos o finales de carrera los cuales van a sensor la posición inferior, superior y el cierre de la puerta, dichos finales de carrera al ser accionados entregan una señal digital "Uno lógico".

Además se ha seleccionado un transductor para sensor la presión existente al momento de la compresión en las líneas de aceite que hacen que la placa compactadora baje.

3.4.6 Controlador lógico programable

El controlador lógico programable se ha seleccionado en base a los requerimientos de trabajo, en las que la robustez y tamaño son obligatorios.

Es un PLC compacto que incorpora una pantalla táctil a la cual se le ha complementado con un módulo análogo para la lectura de presión y un módulo digital para los finales de carrera, para las maniobras de encendido, arranque y apagado de la unidad de compactación.

Características técnicas:

- Marca: Renu Electronics
- Código FP5043T-E
- Fuente de poder: 24Vdc
- PLC: CPU y pantalla táctil compacta de 4,3pulgadas.
- 3 puertos para conexión de módulos análogos y digitales
- Capacidad de memoria: 128MB máximo
- Comunicación: 2 COM port, 1 RS232/1 RS485, 2 USB port
- Modulo análogo (FPEA-0402U-16): 4 entradas y 4 salidas (voltaje o corriente).
- Modulo digital (FPED-HS-0808N): 7 entradas o salidas a transistor.

3.4.7 Fuente de alimentación 24 VDC

Es una Fuente de poder, esencial para dar alimentación a diversos dispositivos industriales, tales como PLC's, tarjetas de control, convertidores o acondicionadores de señal, sensores, etc.

Se seleccionó dicha fuente que transforma la alimentación monofásica de 110VAC a 24VDC para alimentar a la parte de control de la unidad de compactación como PLC, relés de interfaz, módulos de expansión análoga y digital, etc.

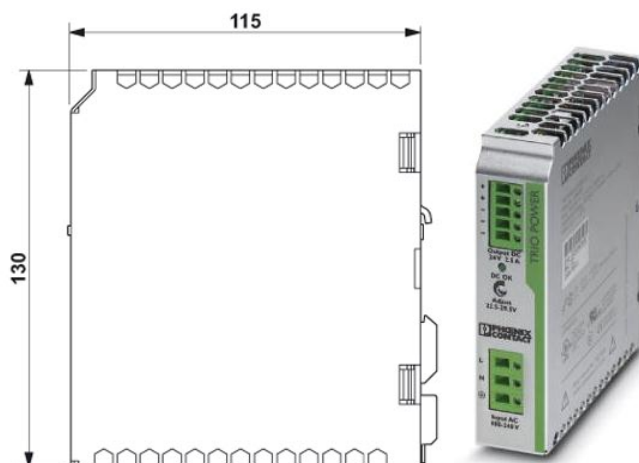


Figura No. 66. Dimensiones generales de la fuente Phoenix Contact.
(Phoenix, 2014)

Tabla No. 11.

Tabla de selección de la fuente de alimentación.

Fuentes de Poder TRIO POWER, Monofásicas				
Código	Referencia	Voltaje de Entrada	Voltaje de Salida	Corriente Nominal
2866268	TRIO-PS/1AC/24DC/2.5	85VAC..264VAC	24VDC	2,5A
2866310	TRIO-PS/1AC/24DC/5	85VAC..264VAC	24VDC	5A
2866323	TRIO-PS/1AC/24DC/10	85VAC..264VAC	24VDC	10A
2866381	TRIO-PS/1AC/24DC/20	85VAC..264VAC	24VDC	20A
2866475	TRIO-PS/1AC/12DC/5	85VAC..264VAC	12VDC	5A
2866488	TRIO-PS/1AC/24DC/10	85VAC..264VAC	12VDC	10A
2266491	TRIO-PS/1AC/48DC/5	85VAC..264VAC	48VDC	5A
2866501	TRIO-PS/1AC/48DC/10	85VAC..264VAC	48VDC	10A

(Phoenix, 2014)

3.4.8 Esquemas eléctricos de potencia y de control²

Diagrama de Potencia

El sistema de conexionado de potencia parte de la alimentación trifásica 220VAC, se conecta en serie al elemento de protección trifásico denominado guardamotor, con el objetivo de protección a todo el tablero

² Más información revisar los planos incluidos en los anexos.

de control. A continuación se encuentran conectados los contactores KM1, KM2 y KM3 los que realizan la configuración estrella-triángulo para el arranque suave del motor trifásico.

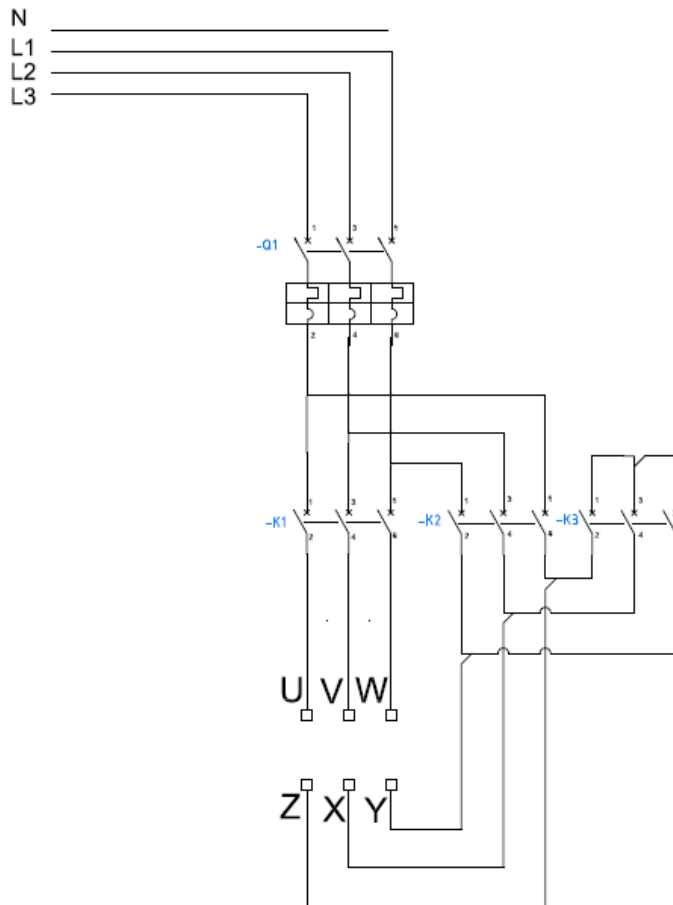


Figura No. 67. Esquema de potencia para la enfardadora.

Diagrama de control

Se parte de la alimentación dotada por el contactor KM1 de la cual se realiza un enclavamiento de la energía 110VAC mediante el pulsador S1, como indicación que la parte de control se encuentra energizada se enciende una luz H1 110VAC de color verde, a la vez se energiza la fuente de 24VDC y se enciende el PLC, cada uno de los relés de protección están conectados a las bobinas de los contactores y electroválvula.

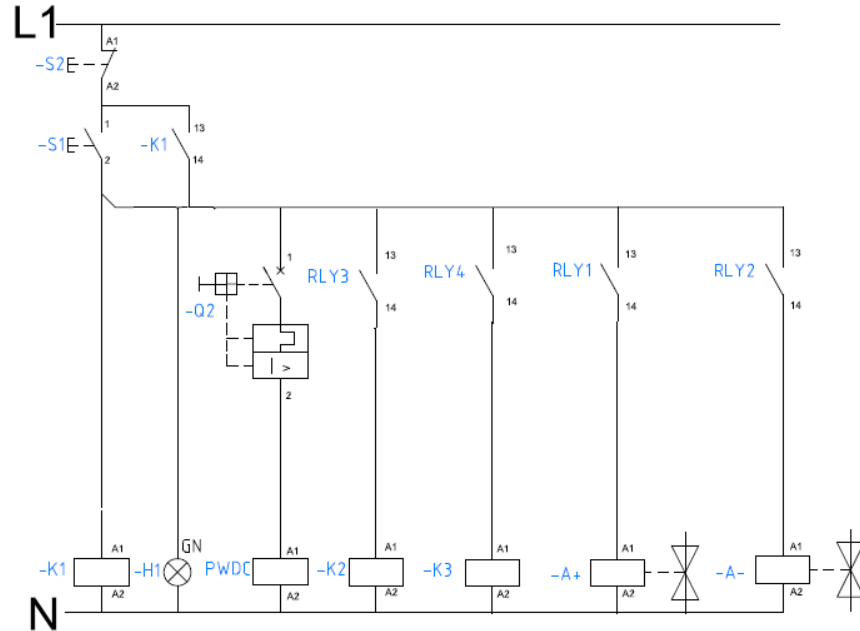


Figura No. 68. Esquema de control para la enfardadora.

3.4.9 Distribución del gabinete eléctrico

La distribución de los elementos componentes de la parte eléctrica del proyecto se lo desarrollo en base a un orden de protección y secuencia de uso, se los clasifico de tal forma que sea fácil el seguimiento del circuito.

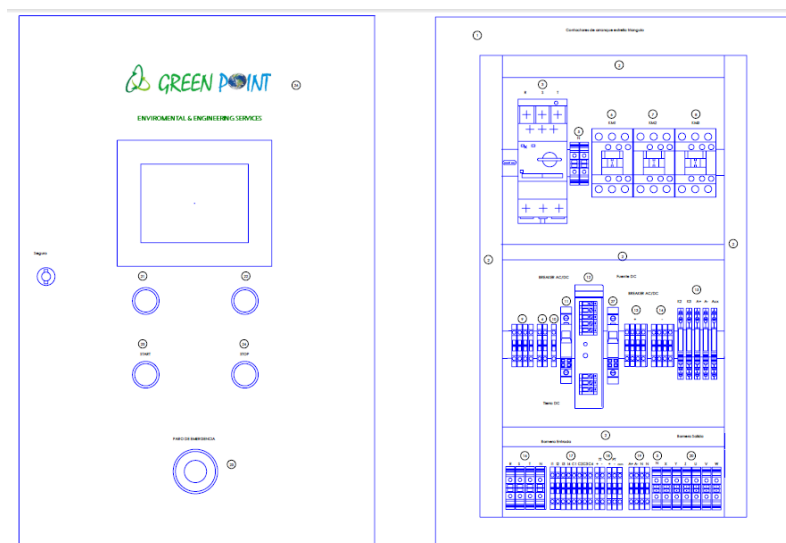


Figura No. 69: Distribución del tablero de control.

3.5 SISTEMA DE CONTROL

3.5.1 Descripción del proceso

1. El proceso inicia con una revisión externa o verificación general de manera visual de la unidad de compactación, se enfatiza la revisión en las partes móviles como los pasadores, el vástago, en la parte de potencia que respecta al cableado del motor al conexionado y postura de las mangueras hidráulicas, se revisa además la inexistencia de liqueo de aceite, etc. de tal manera que si se presencia anomalías se informe al personal calificado para realizar la respectiva corrección.
2. Se realiza la adaptación del tomacorriente trifásico en el tablero de distribución, se presiona el pulsador “START” de la unidad de compactación, y se verifica que la pantalla táctil se prenda y se encuentre en la ventana principal.
3. Se verifica que las señales eléctricas de entrada y salida al PLC se encuentren en el correcto estado.
4. Se escoge el tipo de material que va a ser compactado para definir los parámetros de trabajo durante la compactación de dicho material, entre estos pueden estar: Cartón, papel o PET.
5. En el caso en el que se requiera de la modificación de los parámetros de funcionamiento de la unidad de compactación tales como: la presión de compactación en cada uno de los materiales, el número de ciclos, el tiempo de aplastamiento de la paca, el reseteo de registros de producción, etc. es necesario conocer la clave de acceso para proceder al nuevo seteo de dichos parámetros y variables.
6. Con la puerta abierta se procede al ingreso del material a la cavidad de compactación, esto en caso del cartón, pero en el caso del papel y del PET se realiza el llenado con la puerta cerrada, esto se realiza hasta el nivel establecido.
7. Se realiza la revisión de permisivos de arranque de la unidad de compactación los cuales deben encontrarse dentro del rango

especificado por parte del operador tales como la presión de aceite, el accionamiento del final de carrera superior, inferior y el de la puerta, etc. Además se realiza el seteo de los ciclos.

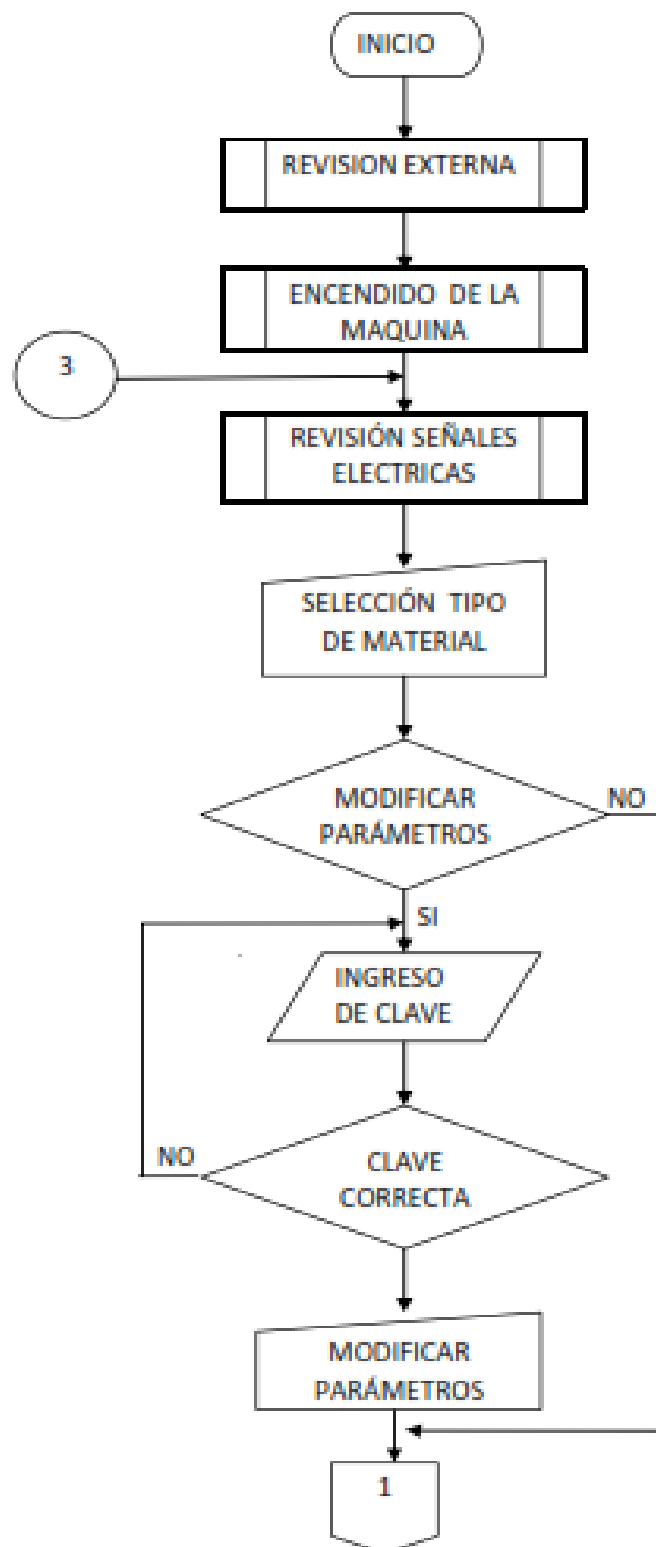
8. Mediante la pantalla táctil se procede a encender el motor, el proceso de compactación empieza, se verifica variables de trabajo.
9. Concluido el ciclo de trabajo se almacena en un registro el valor del número de ciclos cumplidos para realizar el control de producción, se repite nuevamente el paso 6.
10. Una vez que el proceso ha cumplido el número de ciclos seteado y la paca ha alcanzado la altura deseada se procede a enfardar con alambre galvanizado y mediante el acoplamiento de las cadenas ubicadas en la parte superior de la máquina se procede al desalojo de la paca enfardada.

3.5.2 Diagrama de flujo

El diagrama de flujo se realizó en base a cada uno de los procedimientos que se siguen para realizar la compactación de la paca ya sea de PET o cartón.

Así como también se resalta cada uno de los permisivos que se debe tomar en consideración previo al uso de la compactadora.

Se hace referencia del proceso en general de todos los pasos que se deben seguir desde que se realiza la verificación de la alimentación trifásica hasta que la paca del material reciclado está lista para el desalojo y almacenamiento.



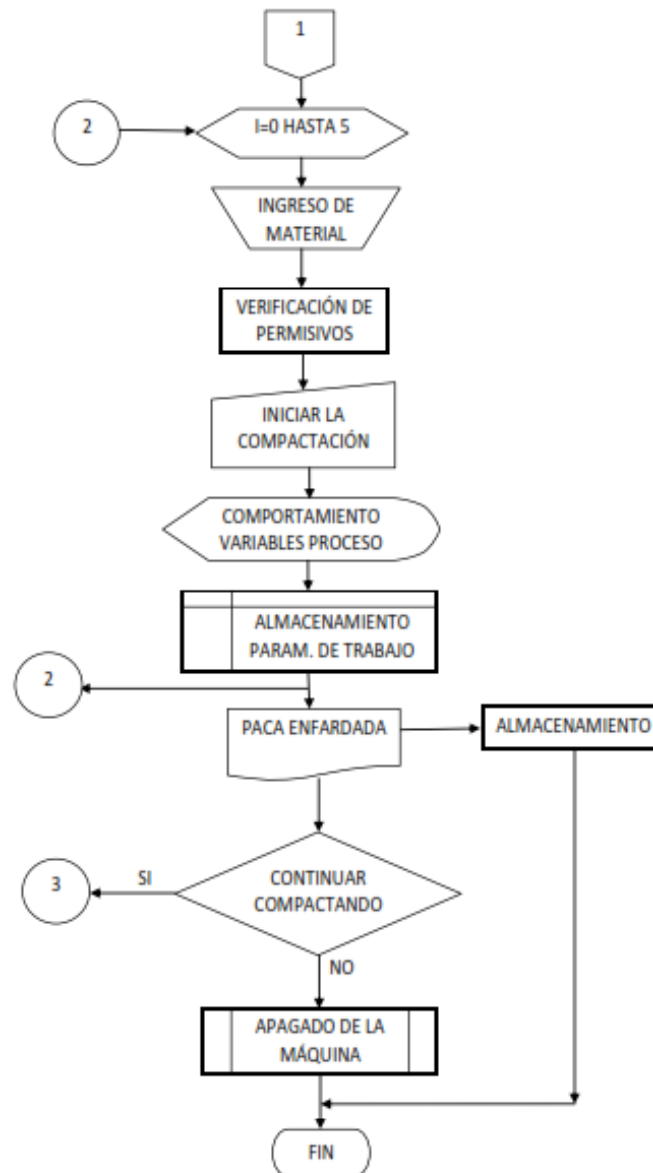


Figura No. 70: Diagrama de flujo del proceso de compactación.

3.5.3 Diagrama de control

En el diagrama de control se especifica la información de cada una de las entradas y salidas del controlador lógico programable, el cual realizara el respectivo control en función de la secuencia establecida en la programación.

De una manera general se establece las variables dependientes e independientes que regirán el control, las mismas se especifican en la programación del PLC.

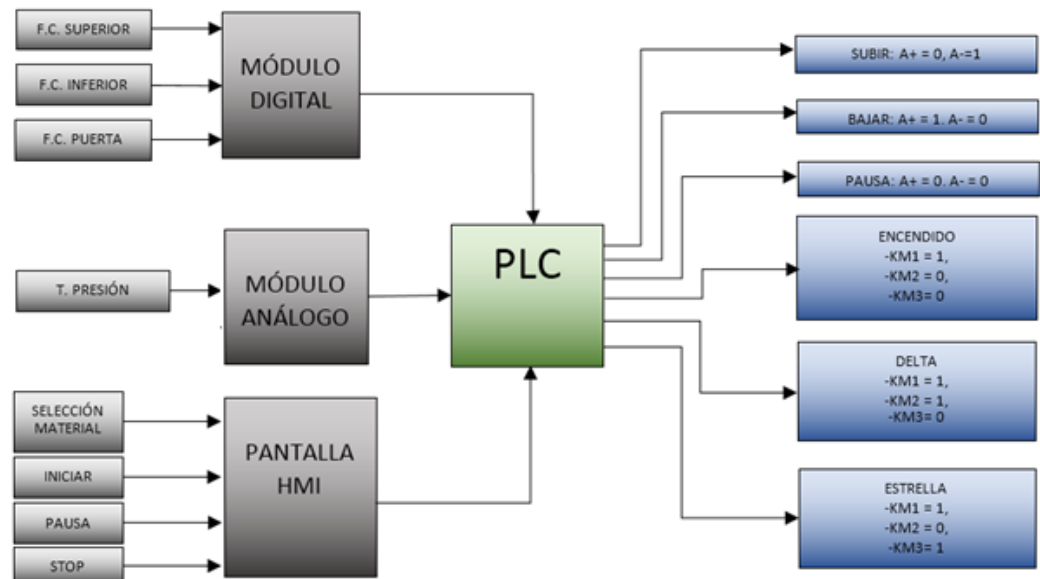


Figura No. 71: Diagrama de control del PLC.

3.5.4 Diagrama de procesos e instrumentación



Se ha establecido el diagrama de procesos e instrumentación de la maquina con los siguientes elementos:






Se ha establecido la materia prima como entrada a Papel, Cartón y PET, cualquiera de estos materiales reciclados se los puede someter al proceso de compactación, la alimentación se la realiza de forma manual.




Elemento de nivel (LE/100) el cual se activa cuando la placa compactadora ha llegado al límite superior, inferior o cuando la puerta ha sido cerrada y envía una señal de uno lógico al lazo de control 100 del PLC.

Cuando la información dada por LE/100 de nivel alto o nivel bajo ha sido enviada al PLC está activa un indicador lumínico  o  ubicado en la pantalla del HMI como indicador que la placa ha llegado a su límite superior o inferior.

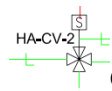
La señal enviada por el elemento de nivel  es captada por el lazo de control  para que el PLC realice el control del proceso de acuerdo a la información enviada (Límite superior).

El transductor de presión, elemento  ubicado a continuación de la bomba es el cual realiza el censado de manera analógica de la presión de trabajo que se está en el sistema hidráulico, dicha señal está ligada al lazo de control 100.


Después de la bomba se encuentra el manómetro o indicador de presión  el cual indicada la misma presión censada por el transductor





El elemento de control de posición  es el PLC el cual envía la señal



eléctrica a la electroválvula  que recibe información del lazo de control 100 para activar las posiciones respectivas de la electroválvula mediante la alimentación de las bobinas con 110VAC.

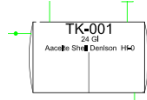



Se tiene el elemento  que es una válvula Check de 1plg para impedir que el líquido hidráulico regrese a la bomba cuando se desee desmontar por mantenimiento.


Una vez que ha sido compactado el material reciclado es enviado a un sitio de almacenaje de las pacas enfardadas. 

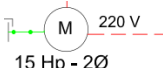

Se tiene un indicador de nivel  en el tanque de la centralina hidráulica para monitoreo de la cantidad de aceite.


 F-001  F-002 Son filtros de ingreso y salida de aceite a la centralina TK-001.

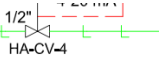
El elemento  TK-001 corresponde al depósito hidráulico con capacidad de 24gl, es el que abastece de aceite al sistema hidráulico.

El elemento  HA-CV-1 es una válvula de globo de 1/2 plg la cual se usa para desalojar el aceite del depósito hidráulico conectado mediante la línea hidráulica de 1/2plg.

El elemento  P-001 es la bomba hidráulica de engranes que entrega el aceite hidráulico con una presión de 150Bar y un caudal constante superior a 8gpm.

El elemento  M 220 V 15 Hp - 2Ø es el motor trifásico de 10 Hp el cual provee la potencia para el funcionamiento de la bomba  P-001 .

El elemento  HA-CV-6 es una válvula que permite cerrar el paso del aceite hacia el manómetro y el transductor cuando se los necesite dar mantenimiento.

Las válvulas reguladoras de caudal  HA-CV-4 se encuentran en la entrada y salida del cilindro hidráulico³.

³ Más información revisar el plano incluido en los anexos.

3.5.5 Asignación de variables de control

La asignación de las variables se encuentra en función de la utilidad de cada una de ellas, se las asigna un nombre referencial fácil de entender en la programación tanto en la pantalla táctil y en el PLC.

En cada una de las señales de entradas y salidas análogas y digitales, así como en las variables que intervienen en la supervisión y control mediante el HMI se asignó diferentes tipos de datos entre los que están bobinas (booleano), contactos normalmente abiertos (booleano), contactos normalmente cerrados (booleano), registros permanentes (Word, DWord), registros temporales (Word, DWord), contadores (Unsigned), etc. (Ver ANEXO C)

3.5.6 Diseño del HMI

El diseño de las pantallas para la operación de la unidad compactadora se las realizó de tal forma que facilite su manipulación y entendimiento por parte del operario, además se ha realizado un control de seteo de las variables del proceso mediante el ingreso con una clave que dispondrá solo el personal autorizado.

Las pantallas táctiles incorporan un listado de acciones las cuales son indispensables al momento de operar la unidad compactadora tales como pantallas en la que se representan valores de los parámetros de funcionamiento y seteo de nuevos valores de trabajo.

A continuación se muestra un esquema de distribución del árbol de las pantallas.



Figura No. 72: Árbol de pantallas.

Está compuesto de 22 pantallas que se encuentran enlazadas como se indica en el árbol de pantallas.

1. “Principal” se puede apreciar el botón de “START” el cual permite encender el motor, se debe esperar de 4 a 6 para empezar con el compactado, además en la parte inferior se encuentran los botones de “Selección de Material”, “Horómetro” y “Manuales Enfardadora”.



Figura No. 73. Pantalla principal HMI.

2. "Selección del Material a compactar" Se tiene tres opciones de material Cartón, PET, y papel, se selecciona uno de los tres, si se ha seleccionado dos o los tres a la vez, el programa automáticamente rechaza esa selección, uno debe encontrarse resaltado de color verde claro y el resto color plomo.



Figura No. 74. Pantalla selección del material.

3. "Horómetro" Se presenta las horas de trabajo de la máquina y de las partes críticas que lo componen, además se tiene un indicador lumínico que se enciende cuando ha culminación el tiempo de trabajo de alguno de los elementos, dichos tiempos son representados gráficamente en el grid que se encuentra ubicado al lado derecho.



Figura No. 75. Pantalla de horas de servicio de las partes.

4. "Manuales Enfardadora" Se presenta tres opciones de instructivos entre estos el de operación, el de mantenimiento y el uso del HMI.



Figura No. 76. Pantalla de manuales de la máquina.

5. "Inicio de Proceso" Desde esta pantalla se manda la orden de inicio del proceso. Mediante el accionamiento de los botones "START", "STOP" Y "CONTINUAR" se controla la compactación, dicho funcionamiento se refleja en el indicador lumínico ubicado arriba del botón de "START", además se despliega un indicador del tipo de material que se está compactando y el comportamiento de las variables.



Figura No. 77. Pantalla de inicio de proceso.

6. "Seteo de Variables" Es accesible solo por personal autorizado debido a que el acceso a dicha ventana se lo realiza mediante clave, aquí se puede variar el seteo de las presiones del aceite acuerdo a las condiciones de trabajo.



Figura No. 78. Pantalla de seteo de variables.

7. "Pruebas de Funcionamiento" Sirve para deslizar el vástago del cilindro hidráulico a modo de prueba y poder verificar posibles fugas o recorridos inadecuados, presenta indicadores de funcionamiento del accionamiento de la electroválvula A+ y A-, además presenta indicadores lumínicos de los finales de carrera.



Figura No. 79. Pantalla de pruebas de funcionamiento del cilindro.

8. "Reporte de Producción" se despliega la información de la producción de la enfiadora automática en un registro indicando el número de las pacas en función del tiempo, esta puede ser mensual o anual.



Figura No. 80. Pantalla de reporte de producción.

9. "Permisivos" Se despliega la información previa para poder iniciar con el proceso de compactado, se muestra el comportamiento de los parámetros análogos y digitales, si uno de estos se encuentra marcado en rojo el proceso no se podrá llevar a cabo debido a las seguridades establecidas tanto para el operador como para el buen estado de la máquina.



Figura No. 81. Pantalla de permisos para el inicio del proceso.

3.5.7 Programación Ladder

Se ha realizado la programación en base a la norma IEC para el control de la unidad de compactación mediante lenguaje de programación ladder (lenguaje visual).

Se realizó las siguientes actividades:

- Asignación de las variables (tags) para la programación de los eventos e interacción con la pantalla táctil.
- Acondicionamiento interno de las señales análogas y digitales del sensor de presión y finales de carrera.
- Control de acceso para manipulación del seteo de las variables.
- Control del arranque estrella-triángulo para el motor trifásico, mediante un juego de bobinas y temporizadores.
- Visualización de permisos del proceso.
- Control de encendido, pausa y stop del proceso de compactación del material reciclado. Ver ANEXO D.

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN, PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 LISTA DE MATERIALES

4.1.1 Hidráulica:

Tabla No. 12.

Lista de materiales hidráulicos.

LISTA DE ELEMENTOS HIDRAULICOS		
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
	Motor eléctrico trifásico 10 HP, 220VAC	1
	Acople flexible motor bomba	1
	Soporte de bomba	1
	Bomba de engranes en aluminio	1
	Manómetro	1
	Subplaca cetop 5	1
	Válvula de alivio cetop 5	1
	Electroválvula 4/3 centro tándem cetop 5, 110VAC	1
CENTRALINA	Válvula check de línea	1
	Regulador de caudal unidireccional	2
	Tanque de 20 galones	1
	Filtro de succión	1
	Filtro de retorno	1
	Filtro respiradero	1
	Visor de nivel de aceite	1
	Válvula para drenaje de aceite	1

4.1.2 Eléctrico-electrónico

Tabla No. 13.

Lista de materiales Eléctrico-Electrónicos

LISTA ELEMENTOS ELÉCTRICO-ELECTRÓNICOS		
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
	Micro Switch Palanca con Rodillo Var	3
	PLC+HMI Pantalla 4,3" Touch3 Slots	1
	Slot 4 in Analg Universales	1
	8 Digital in (PNP/NON), 8 Digital out	1
	Relé Interface + Base 24VDC Phoenix	8
	UT 6-TMC M 1A Interruptor	3
	Fuente Phoenix Contact Trio 24VDC 2,5A	1
	Riel Din NS35/7,5 Perforado Phoenix	1
	Canaleta Dexson 40x40 ranurada gris	2
	Pulsante Verde 1NA Schneider Electric	2
	Pulsante Rojo 1NC Schneider Electric	2
TABLERO DE CONTROL	Luz Piloto Verde Schneider Electric	1
	Gabinete Beaucoup Liviano 60x40x20	1
	Cable Flexible 18 (m)	50
	Cable Flexible 10 (m)	20
	Cable Sucre 4x8 (m)	10
	Bornera UT2,5 mm Phoenix C	20
	Bornera UT2,5 Azul	10
	Bornera UT6 10mm 20-6AWG Phoenix	4
	Contactador 25A AC3 Tesys Schneider	1
	Bobina 220V Tesys Schneider Electric	3
	Contactador 18A AC3 Tesys Schneider	1
	Relé Térmico 23-32A Tesys Schneider	1
	Guardamotor 3 fases Tesys Schneider	1

4.1.3 Metalmecánica:

Tabla No. 14.

Lista de vigas.

DETALLE DE MATERIALES				
ITEM	DESCRIPCION DE PARTES	CANT.	CORTE (m)	TOTAL (m)
UPN 100x50x6 (6mt.)				26,23
1	Columna Delantera de la Estructura	2	2,3	4,6
	Columna Posterior de la Estructura	2	2,4	4,8
	Viga Inferior Placa Compactadora	11	0,76	8,31
	Columna de la Puerta	2	1,2	2,4
	Viga Horizontal de la Puerta	4	1,53	6,13
UPN 120x55x7 (6mt.)				46,56
2	Columna Posterior	11	2,23	24,48
	Viga Horizontal de la Estructura	3	1,84	5,53
	Viga Lateral de la Estructura	8	0,75	6
	Viga Base de la Estructura	11	0,96	10,56
UPN 140x60x7 (6mt.)				4,73
3	Viga Porta Cilindro	2	0,75	1,5
	Viga Horizontal Placa Compactadora	2	1,61	3,23
UPN 160xx7 (6mt.)				1,84
4	Viga Crítica de la Estructura	1	1,84	1,84
ÁNGULOS				
AL 50x6 (6mt.)				4,59
5	Guía Estructura	2	0,55	1,1
	Guía Posterior Placa Compactadora	2	0,55	1,1
	Guía Delantera Placa Compactadora	2	0,55	1,1
	Refuerzo Placa Compactadora	2	0,64	1,29
				83,95

Tabla No. 15.

Lista de planchas de acero y piezas maquinas.

DETALLE DE MATERIALES				
ITEM	DESCRIPCION PARTES	CANT.	ÁREA (m2)	TOTAL (m2)
	PLANCHA 1,22x2,44x6 (2,98mt²)			5,14
	Plancha Lateral de la Estructura	2	2,04	4,08
	Plancha Lateral de la Compactadora	2	0,31	0,62
1	Refuerzo Acople Cilíndrico Placa Compactadora	1	0,22	0,22
	Cartela de la Puerta	8	0,003	0,03
	Cartela Placa Compactadora	4	0,05	0,2
	PLANCHA 1,22x2,44x8 (2,98mt²)			2,23
	Plancha de la Puerta	1	2,08	2,08
2	Soporte para la Cadena en Placa Compactadora	2	0,01	0,02
	Oreja para Cadena	2	0,01	0,01
	Placa Soporte Puerta	1	0,12	0,12
	PIEZAS DE ESPESOR 10mm			1,61
	Bisagra para Ángulo de Volante	8	0,01	0,11
3	Bisagra Puerta	8	0,01	0,04
	Cartela Alojamiento Vástago	4	0,02	0,09
	Placa Porta Bisagras de la Puerta	1	0,14	0,14
	Plancha Inferior Placa Compactadora	1	1,23	1,23
	PIEZAS DE ESPESOR 12mm			0,15
4	Bisagra para Ángulo de Volante en la Estructura	4	0,02	0,07

Continua



	Bisagra Puerta en la Estructura	4	0,02	0,07
	PIEZAS DE ESPESOR 20mm			0,48
	Soporte Volante en el Ángulo	1	0,07	0,07
	Soporte Volante en la Estructura	1	0,11	0,11
5	Uñas de Sujeción	10	0,01	0,06
	Placa para Ángulo 1	1	0,09	0,09
	Placa para Ángulo 2	1	0,16	0,16
				9,61

4.2 PROCESO DE FABRICACIÓN

4.2.1 Corte

Se sometió a corte a la mayoría de elementos que componen la unidad de compactación, dichos cortes se los realizo en base a las medidas que se indica en los planos, entre los elementos que se sometieron a corte se puede mencionar.

- Vigas UPN.
- Planchas y placas metálicas.
- Ejes, etc.



Figura No. 82: Corte de Material.

4.2.2 Maquinado torno y fresadora

En la mayoría de los puntos móviles de la máquina se realizaron trabajos de maquinado como se menciona a continuación:

- Volante para el cierre de la puerta.

- Roscado del tornillo para el volante.
- Fresado de las manos del volante.
- Bisagras para la puerta y el seguro de la puerta.
- Soporte del cilindro hidráulico.
- Pasadores para las Bisagras.
- Agujeros en las vigas, etc.



Figura No. 83: Maquinado de partes.

4.2.3 Unión por soldadura

Todas las partes que componen la estructura se las sometió a soldadura para mantener una estructura rígida, la unión se la realizó con soldadura de arco eléctrico con electrodos 6011 y 7018 para acabado.



Figura No. 84: Unión por soldadura.

4.2.4 Unión por pernos y pasadores

Se realizó la unión del cilindro hidráulico con el soporte para dicho cilindro mediante pernos M16, de igual forma la unión del soporte del cilindro con las vigas principales se las hizo mediante pernos M16.

La unión de las bisagras y la unión del soporte del vástago se las realizó mediante pasadores.



Figura No. 85: Unión por pernos.

4.3 MONTAJE ESTRUCTURAL Y SISTEMA MECÁNICO

La construcción de la unidad de compactación hidráulica se la realizó mediante la utilización de escuadras y nivel para asegurar su correcto en montaje.

Fases del montaje

1. Fijación de los niveles y la puesta en escuadra de las piezas principales.

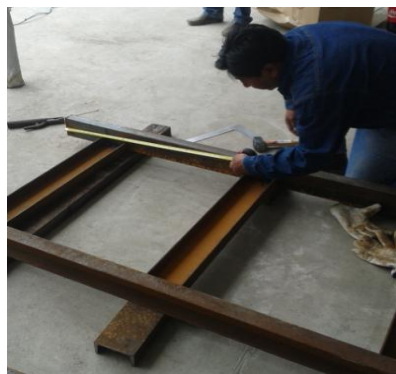


Figura No. 86: Nivelación y plomada de partes.

2. Montaje del marco principal.



Figura No. 87: Estructura principal.

3. Montaje de las columnas de la parte posterior de la máquina.



Figura No. 88: Columnas de la estructura.

4. Montaje de las placas laterales.



Figura No. 89: Placas laterales.

5. Montaje de las bisagras y pasadores.



Figura No. 90: Bisagras.

6. Montaje de la Puerta.



Figura No. 91: Conjunto de la puerta.

7. Montaje del conjunto de la placa compactadora: vigas UPN, plancha, cartelas.



Figura No. 92: Conjunto placa compactadora.

8. Montaje del soporte para el cilindro hidráulico.



Figura No. 93: Soporte cilindro hidráulico.

9. Montaje del volante y seguro de la puerta.



Figura No. 94: Volante seguro de la puerta.

10. Montaje del cilindro hidráulico.,



Figura No. 95: Cilindro hidráulico.

11. Remates finales de la estructura metalmecánica.



Figura No. 96: Remates

12. Estética y pintura de la placa compactadora



Figura No. 97: Pintura

4.4 MONTAJE DE LA PARTE HIDRAULICA

1. Montaje del cilindro y centralina hidráulica.



Figura No. 98: Cilindro hidráulico.

2. Montaje de las mangueras



Figura No. 99: Mangueras hidráulicas.

4.5 MONTAJE DE LA PARTE ELECTRICA-ELECTRÓNICA

1. Montaje y cableado de elementos eléctricos y electrónicos en el tablero



Figura No. 100: Distribución y cableado de elementos eléctricos.

4.6 TIEMPOS DE FABRICACIÓN

Tabla No. 16.

Tiempos de fabricación.

DETALLE	DESCRIPCION	TIEMPO (DÍAS)
Ingeniería	Dimensionamiento, Planos.	15
Estructura	Corte y Soldadura	2
Puerta	Corte y soldadura	2
Bisagras	Corte, fresado, torneado	2
Placa compactadora	Corte y soldadura	2
Volante	Corte, fresado, torneado, soldadura	1
Soportes	Corte, fresado, torneado.	2
Ensamblaje puerta - estructura	Soldadura	1
Ensamble placa compactadora-cilindro	Unión por pernos	1
Soporte centralita	Corte, soldado.	2
Montaje centralina	Unión por pernos	1
Montaje del tablero eléctrico	Unión por pernos	2
Pruebas hidráulicas	Funcionamiento cilindro hidráulico	2
Tablero de control	Conexión equipos	2
Pruebas eléctricas	Funcionamiento eléctrico	2
Pruebas electrónicas	Programación	4
Pruebas generales	Revisión	1
TOTAL		44

4.7 PROTOCOLO DE PRUEBAS

4.7.1 Pruebas en vacío

Una vez que se ha concluido con la fabricación de la unidad de compactación se procede a realizar las pruebas de funcionamiento sin someter a carga, a esto se lo llama prueba en vacío con el objetivo de verificar la linealidad del recorrido, la inexistencia de fugas, una correcta secuencia de funcionamiento, revisar tiempos de trabajo y cumplimiento de aplastamiento del material, etc.

En este lapso de la prueba se considera todas las fallas y anomalías presentes en la máquina para proceder a corregirlas.

4.7.2 Pruebas con carga

Una vez corregidas las fallas presentes en la prueba en vacío de la enfardadora se procede a realizar las pruebas con carga nominal y nuevamente se verifica los mismos parámetros establecidos en la prueba en vacío.

El objetivo de las pruebas con carga es verificar el correcto funcionamiento de la máquina en forma de trabajo normal con una fuerza de aplastamiento de 30 Toneladas.

Tabla No. 17.

Protocolo de pruebas.

PROTOCOLO DE RESULTADOS		
PROCEDIMIENTO	ESTADO	
	SATISFACTORIO	NO SATISFACTARIO
Diseño del Sistema Mecánico	OK	
Diseño Sistema Hidráulico	OK	
Diseño Sistema Eléctrico	OK	
Diseño Sistema de Control	OK	

Continúa 

Funcionamiento Sistema Mecánico	OK	
Funcionamiento Sistema Hidráulico	OK	
Funcionamiento Sistema Eléctrico	OK	
Funcionamiento Sistema de Control	OK	
Instrumentación	OK	
Niveles de presión	OK	
Instrumentación	OK	
Flexibilidad Seteo de variables	OK	
Flexibilidad Montaje de Cilindros	OK	
Tiempos de trabajo	OK	
Señalética de seguridad	OK	
Restricciones de acceso HMI	OK	
Compacta Cartón	OK	
Compacta Papel	OK	
Compacta PET	OK	
Protecciones eléctricas	OK	
Protecciones mecánicas	OK	
Protecciones Hidráulicas	OK	
Comprobación Planos eléctricos	OK	
Comprobación Planos mecánico	OK	
Comprobación Planos hidráulicos	OK	

4.7.3 Análisis de Resultado

Al finalizar la construcción de la enfardadora automática de capacidad de compactación 30 toneladas de fuerza, el equipo se sometió a pruebas en vacío y con carga nominal de trabajo, de ser necesario posterior a las pruebas se procede a tomar las medidas correctivas pertinentes en el caso de existirlas.

El proceso de interpretación de los resultados obtenidos se realizó en base a la teoría de los estudios analizados y en base a los valores del

dimensionamiento, además se realizó un análisis visual del comportamiento de las partes.

El monitoreo de las condiciones y parámetros de funcionamiento durante el procedimiento de pruebas en vacío oscilaron dentro del rango de operación admisible, de tal manera que se consideró que el conexionado hidráulico, adaptación de válvulas, lectura de manómetro y transductor, deslizamiento de la placa compactadora, acoplamiento de sensores, fijación de pines, etc.

Durante dichas pruebas se tuvo inconvenientes con el deslizamiento de la placa compactadora para lo cual se procedió a colocar grasa para que facilite el movimiento a lo largo de toda la carrera, de igual forma se engraso todas las partes móviles como pines, bisagras y el sistema de cierre de la puerta. Además se realizó una correcta calibración de la entrada análoga del transductor de presión debido a una diferencia de la lectura.

El tiempo del arranque estrella triangulo de disminuyo a 3 segundos debido a que el anterior seteado era demasiado largo (5s).

En la prueba de funcionamiento a carga nominal se consideró los valores límites para el trabajo de la máquina, para realizar un análisis visual de las partes críticas como funcionamiento del vástago de manera correcta, verificación de fugas de aceite a dicha presión(90Bar), comportamiento de las vigas, funcionamiento del sistema de seguridad de la puerta, etc.

Como resultado de las pruebas se obtuvo un correcto funcionamiento de todas y cada una de las partes, sin presentar alteraciones o anomalías de funcionamiento, se enfatizó el análisis en las vigas y el vástago ya que son las partes críticas en las cuales actúa la fuerza de manera directa.

Una vez concluidas las pruebas se procedió a compactar cada uno de los materiales y a setear cada uno de los parámetros de trabajo para

los materiales mediante ensayos de tal forma que alcancen un volumen estándar y un peso oscilante entre 200kg y 300kg.

De lo cual se obtuvo como resultado la siguiente tabla.

Tabla No. 18.

Parámetros de trabajo.

PARÁMETROS	MATERIAL		
	Cartón	Papel	PET
Presión (Bar)	70	50	90
Masa (kg)	235	200	300
Fuerza (tonelada)	22	16	30
Dimensión (mm)	1200X1800X750	1200X1800X750	1200X1800X750
Sujeción	Alambre	Alambre	Alambre
Ciclos de compactación	6	4	8
Tiempo aplastamiento	5	4	8
Pacas-Hora	4	5	3

Como resultado final se cumplió con los objetivos establecidos de manera satisfactoria y la máquina se encuentra disponible y en capacidad para el uso con parámetros establecidos en cada uno de los materiales a ser compactados.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE COSTOS

El proyecto realizado fue para dar una solución a la empresa Green Point que buscaba automatizar el proceso de compactación de materiales reciclados como cartón, plástico, papel y PET. El proyecto fue financiado en su totalidad por la empresa y se determinó su rentabilidad mediante el análisis que se presenta a continuación.

5.1 COSTOS DIRECTOS

Involucra los costos de materia prima, elementos electrónicos y de automatización y elementos mecanizados.

Los costos de materia primas incluye elementos tales como vigas UPN, planchas de acero, elementos que fueron construidos en base a los planos de piezas de la máquina y elementos estructurales como pernos arandelas, tuercas, y tornillos. Adicionalmente, los elementos hidráulicos, la construcción y montaje de la centralina.

Los elementos electrónicos y de control como PLC, contactores, cables de control y potencia, borneras, relés, fuente de alimentación son otro rubro que se establece a continuación.

Tabla No. 19.

Costos elementos mecánicos.

Elementos mecánicos	\$ 3500
Centralina hidráulica	\$ 3275
Elementos eléctricos y de control	\$ 2500

Para el montaje de la máquina se contó con 2 técnicos especialistas en soldadura y montaje de estructuras. Se debe tomar en cuenta que no se trabajó todos los días de la semana. El precio-hora de los operarios fue

de \$4.5. El precio-hora de diseño de ingeniería a cargo de los estudiantes desarrolladores del proyecto es de \$15.

Tabla No. 20.

Costos de diseño, fabricación y ensamblaje.

	Número de personas	Precio-hora	Horas de trabajo	Días de trabajo	
Diseño de ingeniería	2	15	8	15	\$ 3600
Mano de obra	2	4.5	8	16	\$ 1152
TOTAL					\$ 4752

No se considera el valor de diseño de ingeniería dentro del total de costos directos. De esta forma el costo total de elementos directos es:

$$\text{Costos directos} = 3500 + 3275 + 2500 + 1152$$

$$\text{Costos directos} = \$ 10427$$

5.1.1 Costos indirectos

Se denominan costos indirectos a todos los gastos que no tienen una incidencia directa en la construcción de la máquina. Son por ejemplo los servicios básicos, transporte y costos administrativos que alcanzan un valor de \$1000.

El costo total del proyecto resulta de la sumatoria de los costos directos e indirectos mencionados anteriormente más un 15% de imprevistos.

$$\text{Costo total del proyecto} = \text{costos directos} + \text{costos indirectos} + 15\% \text{ imprevistos.}$$

$$\text{Costo total del proyecto} = \$ 10427 + \$ 1000 + \$ 1715$$

$$\text{Costo total del proyecto} = \$ 13141$$

5.2 EVALUACIÓN FINANCIERA

5.2.1 Recuperación de la inversión

Se tomó en cuenta la producción de pacas cartón, PET y papel considerando que la prioridad de la empresa es el flujo de dinero inmediato por parte de los clientes que reciben las pacas enfardadas. Segundo se intenta mantener el inventario de materia prima en cero. El cartón es el material con el que más se cuenta como materia prima seguido del papel y por último el PET.

El valor de las pacas enfardadas de cartón es de \$0.15/kg, el valor de las pacas de papel es de \$0.50/kg y el valor de las pacas de PET es de \$0.70/kg. Considerando la producción descrita en la Tabla No. 18. y que la máquina trabaja un promedio de 3 horas al día se obtuvo los siguientes datos.

Tabla No. 21.

Valor de venta de las pacas de cartón, papel y PET.

Material	Masa (kg)	Precio (\$/kg)	Número de pacas / hora	Valor de venta cada paca (\$)	Valor de venta total (\$)
CARTÓN	235	0.15	4	35.25	141
PAPEL	200	0.50	5	100	500
PET	300	0.70	3	210	630
TOTAL					1271

Los \$ 1271 es el valor de ingresos por concepto de compactación y distribución de las pacas enfardadas de los diferentes materiales al día. Asumiendo que un 70% de este valor es destinado al pago de la máquina, se tiene \$ 890 por día, trabajando 4 días a la semana durante 50 semanas el valor sería de \$ 178000 al año.

Se realizó un cálculo estimado del costo de uso de la máquina teniendo en cuenta que solo opera durante 3 horas al día y que la potencia indicada en la placa del motor es de 7.46 kW.

$$E = P \times h \quad (5.1)$$

Donde:

E = Consumo eléctrico

P = Potencia eléctrica del motor

h = horas de trabajo

$$E = 7.46 \times 3$$

$$E = 22.38 \text{ kWh}$$

El costo del kWh en el país es actualmente de \$ 0.086 (Líderes, 2014). Por lo tanto el costo eléctrico de producción es:

$$\text{Costo eléctrico producción} = E \times \text{costo kWh} \quad (5.2)$$

$$\text{Costo eléctrico producción} = 22.38 \times 0.104$$

$$\text{Costo eléctrico producción} = \$ 2.33$$

El valor estimado anual de costo de consumo eléctrico se obtuvo mediante los días de trabajo de la máquina durante las 50 semanas laborables.

$$\text{Costo eléctrico producción anual} = \$ 466$$

La máquina será depreciada a 20 años, y el valor de salvamento será 30%. Por lo tanto el valor de depreciación es de:

$$\text{Depreciación} = \frac{13141 - 3942}{20} \quad (5.3)$$

$$\text{Depreciación} = \frac{\$ 460}{\text{año}}$$

Considerando que una persona debe realizar la supervisión y operación de la máquina se le asignó un salario mensual de \$340 que al año equivale a 4080. Adicionalmente se debe tomar en cuenta la inflación anual del Ecuador que para julio del 2014 se situaba en 4.11% (BCE, 2014).

De igual manera el costo de compra de cartón, papel y PET se detalla a continuación así como las masas estimadas de captación de material.

Tabla No. 22.

Valores de compra de cartón, papel y PET.

Material	Masa (kg)	Precio (\$/kg)	Valor de compra total (\$)
CARTÓN	950	0.08	76
PAPEL	1000	0.18	180
PET	900	0.60	540
TOTAL			796

Se obtuvo un valor de \$ 796 por día, trabajando 4 días a la semana durante 50 semanas el valor sería de \$159200 al año.

Con todos los datos obtenidos se realizó las tablas de ingresos y egresos estimados a 10 años.

Tabla No. 23

Egresos proyectados a 20 años.

AÑOS	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
VALOR	13141,00	12221,00	11301,00	10381,00	9461,00	8541,00	7621,00	6701,00	5781,00	4861,00	3941,00
DEPRECIACIÓN	0,00	460,00	460,00	460,00	460,00	460,00	460,00	460,00	460,00	460,00	460,00
COSTOS FIJOS	0,00	4247,69	4604,02	4990,25	5408,88	5862,63	6354,44	6887,51	7465,29	8091,55	8770,34
COSTOS VARIABLES	0,00	165743,12	179647,18	194717,64	211052,35	228757,36	247947,64	268747,77	291292,81	315729,13	342215,40
INFALCIÓN	4,11%										
EGRESOS	13141,00	170450,81	184711,20	200167,89	216921,23	235079,99	254762,07	276095,27	299218,10	324280,68	351445,74

Tabla No. 24

Ingresos proyectados a 20 años.

AÑOS	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
COSTO DE VENTA	0,00	185315,80	200861,80	217711,93	235975,62	255771,42	277227,89	300484,31	325691,71	353013,73	382627,77
INCREMENTO	4,11%										
INGRESOS		185315,80	200861,80	217711,93	235975,62	255771,42	277227,89	300484,31	325691,71	353013,73	382627,77

Se determinó el flujo neto considerado la diferencia entre ingresos y egresos.

Tabla No. 25

Flujo neto proyectado a 20 años.

AÑOS	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
FLUJO DE CAJA	-13141,00	14864,99	16150,59	17544,04	19054,39	20691,43	22465,81	24389,04	26473,61	28733,05	31182,03

Se analizó la rentabilidad del proyecto por medio del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

El VAN es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, queda alguna ganancia. Si el resultado es positivo, el proyecto es viable.

La TIR es la tasa de descuento (TD) de un proyecto de inversión que permite que el BNA sea igual a la inversión (VAN igual a 0). La TIR es la máxima TD que puede tener un proyecto para que sea rentable, pues una mayor tasa ocasionaría que el BNA sea menor que la inversión (VAN menor que 0). Donde el beneficio neto actualizado (BNA) es el valor actual del flujo de caja o beneficio neto proyectado, el cual ha sido actualizado a través de una tasa de descuento (Elias, 2014).

El cálculo de estos dos parámetros se los realizó con una tasa de descuento de 14% obteniendo:

Tabla No. 26.

Resultados VAN y TIR

VAN	\$ 19490
TIR	113 %

A partir de estos valores se determinó que el proyecto es viable ya que la VAN es superior a la inversión inicial y se recuperaría en el primer año. La TIR al ser de 113% y superar la tasa de descuento del 20% refleja la rentabilidad de la máquina.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. La construcción de la enfardadora automática para la empresa GREEN POINT ayudó a mejorar la producción y tiempos de trabajo, de esta manera se aportó al desarrollo de la empresa.
2. En base a las pruebas realizadas con la enfardadora automática, se tiene como resultado del proceso de compactación una paca de aproximadamente 200 a 300 Kg, dependiendo de la densidad del material que ha sido compactado.
3. Se desarrolló la programación necesaria tanto de la pantalla táctil como de las condiciones del control del proceso de compactación de tal forma que facilitó la manipulación mediante el seteo de las variables de control por parte del operador haciendo mucho más flexible el uso de la enfardadora automática.
4. Según ensayos realizados con la enfardadora automática; la compactación de cartón requiere una presión de 100Bar la compactación de plástico requiere una presión de 82Bar y la compactación de papel requiere una presión de 55Bar.

Recomendaciones

1. Debido a la recuperación elástica del volumen del material compactado es necesario colocar uñas de sujeción en las paredes de la enfardadora que impidan que el material compactado recupere su volumen original.
2. Se debe considerar la implementación de un sistema para cargar el material a compactar hacia la cavidad de la enfardadora, debido a que actualmente se torna un tanto difícil el proceso de alimentación de material a la cavidad de compactación.
3. En proyectos posteriores utilizar un cilindro hidráulico de mayores dimensiones para aumentar la presión del aceite hidráulico y desplazamiento lineal del vástago. Adicionalmente, se puede considerar el uso de un PLC de gama alta para controlar varias enfardadoras en serie.
4. Es recomendable realizar una adaptación de galgas extensiométricas para sensor el peso de cada fardo compactado.
5. Se recomienda la adaptación de un sistema de puerta superior para la enfardadora automática la misma que envíe una señal eléctrica al PLC y de esa manera asegurar que el operador evite introducir las manos durante el proceso de la compactación del material.

BIBLIOGRAFÍA

AB. (2014). Conectores miniatura. Recuperado 18 Marzo, 2014, de <http://www.ab.com/es/epub/catalogs/12768/229240/229254/229461/7650345/Introducci-n.html>

Aciarium. (2009). Pasador par arandela de seguridad. Recuperado Diciembre, 2013, de http://www.aciarium.com/portal/index.php?page=shop.browse&category_id=9&option=com_virtuemart&Itemid=1

AGSA. (2012). Guardamotores. Recuperado 17 Mayo, 2014, de <http://www.agsa.com/p79-guardamotores.html>

Anco, Juan. (2014). PERNOS. Recuperado 10 Marzo, 2014, de <http://www.academia.edu/6622397/PERNOS>

Arántegui, Javier. (2011). Control de Procesos. Recuperado 5 Marzo, 2014, de http://web.udl.es/usuaris/w3511782/Control_de_procesos/Unidades_files/apuntes_10-11.pdf

Ávila, Alejandro. (2010). Mantenimiento de bombas hidráulicas. Recuperado Diciembre, 2013, de <http://avilaselvera2.blogspot.com/2010/04/bombas-hidraulicaslobularde.html>

BCE. (2014). Inflación. Recuperado 5 Agosto, 2014, de <http://contenido.bce.fin.ec/indicador.php?tbl=inflacion>

Budynas, Richard, & Nisbett, Keith. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGraw Hill.

Bürkert. (2010). Símbolos. Recuperado Diciembre, 2013, de <http://www.burkert.es/ESN/405.html>

Celec. (2014). Motor Eléctrico. Recuperado 11 Marzo, 2014, de <https://www.celec.gob.ec/hidropaute/index.php/component/glossary/Diccionario-1/M/>

Ciclo secuencial de dos cilindros. (2013). Recuperado Diciembre, 2013, de http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/Assignment_I:_Ciclo_secue_ncial_de_dos_cilindros

CIFP. (2008). Arranque estrell-triángulo. Recuperado Noviembre, 2013, de http://www.cifp-mantenimiento.es/e-learning/index.php?id=15&id_sec=6

Ciri. (2011). Bomba de 2 pistones. Recuperado 17 Mayo, 2014, de <http://catiaeinventorconciri.blogspot.com/2011/10/blog-post.html>

Cofaco. (2014). Tableros de control. Recuperado 17 Marzo, 2014, de <http://www.cofaco.com.ar/detalle.php?id=33>

Cohimar. (2011). Hidráulica : Tanques y depósitos , accesorios , circuitos hidráulicos. Recuperado Junio, 2013, de http://www.cohimar.com/util/neumatica/neumatica_hidraulica4.html

Cohimar. (2012). Cálculo de empuje. Recuperado Junio, 2013, de <http://www.cohimar.com/util/neumatica/mapadelsitio.html>

Construmática. (2014). Cartela. Recuperado 10 Marzo, 2014, de <http://www.construmatica.com/construpedia/Cartela>

Covisa. (2014). Alambres y Cables THHN y THWN. Recuperado 10 Marzo, 2014, de <http://www.covisa.cl/productos/alambres-y-cables-thhn-y-thwn/>

Chevron. (2014). Rando HD. Recuperado 20 Julio, 2014, de <https://cglapps.chevron.com/MSDSPDS/PDSDETAILPAGE.ASPX?DOCDAT AID=326122&DOCFORMAT=PDF>

DirectIndustry.). Tanque hidráulico. Recuperado Diciembre, 2013, de <http://www.directindustry.es/prod/lovejoy/tanques-hidraulicos-7199-627082.html>

Electronica. (2014). Material industrial. Recuperado 18 Marzo, 2014, de http://www.raelectronica.es/material_industrial_2.php

Elias, Arturo. (2014). El VAN y el TIR. Recuperado 5 Agosto, 2014, de <http://www.crecenegocios.com/el-van-y-el-tir/>

Etincelle. (2011). Historia del reciclaje. Recuperado Noviembre, 2013, de <http://bellabrigada.wordpress.com/2011/11/22/la-historia-del-reciclaje/>

Fernández, David. (2012). Bombas hidrostáticas. Recuperado Diciembre, 2013, de <http://www.atmosferis.com/bombas-hidrostaticas/>

Festo.). Símbolos. Recuperado Diciembre, 2013, de http://www.festo-didactic.com/int-es/servicios/simbolos?sel_level=1&fbid=&sel1=1277

Filtros, Emporio de los. (2009). Filtros hidráulicos. Recuperado 17 Mayo, 2014, de http://emporiodelosfiltros.com/filtros_hidraulicos.pdf

FisicaPractica.com. (2007). Prensa hidráulica. Recuperado 15 Mayo, 2014, de <http://www.fisicapractica.com/prensa.php>

Gere, M, & Timoshenco, S. (1984). *Mecánica de materiales* (2 ed.). Estados Unidos.

Glual. (2007). Diseño y fabricación de grupos hidráulicos (pp. 13,18,113). México.

Guerrero. (2014). Our service. Recuperado 18 Marzo, 2014, de <http://gnbfasteners.com/en/registro>

Hernández, Heriberto. (2012). *ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN* (INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA), UNIVERSIDAD VERACRUZANA, México.

Recuperado de

<http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/32774/1/hernandezvalencia1d2.pdf>

Instrumentación, Manometría e. (2014). Tipos de manómetros. Recuperado 26 Febrero, 2014, de

http://campus.fca.uncu.edu.ar:8010/pluginfile.php/17939/mod_resource/content/1/Tipos%20de%20man%C3%B2metros%20Descripci%C3%B2n.pdf

Johnson, Electric. (2012). Teoría de los motores AC. Recuperado 24 Enero, 2014, de <http://www.johnsonelectric.com/es/resources-for-engineers/motors/basics-of-motors/ac-motors-theory.html>

Leiva, Alfredo. (2013). Sensores y transductores. Recuperado 14 Marzo, 2014, de <http://1612182.blogspot.com/2013/05/21-sensores-y-transductores.html>

Líderes. (2014). El aumento de la tarifa eléctrica sorprende a la industria. Recuperado 5 Agosto, 2014, de http://www.revistalideres.ec/informe-semanal/energia_electrica-informe_semanal-electricidad-tarifas-industria-Ecuador_0_1136886316.html

Lycos, Equipamentos. (2000). Cilindro hidráulico. Recuperado Diciembre, 2013, de http://www.logismarket.ind.br/lycos-equipamentos/cilindro-hidraulico/1782845324-1763594991-p.html?alt=5&utm_expid=10005783-9.Tx2KTaj3S3agkO5fAtf4BQ.1#

Maleon. (2009). Cuadro de diferencias y similitudes. Recuperado Diciembre, 2013, de <http://www.scribd.com/doc/15980567/Cuadro-de-Diferencias-y-Similitudes>

MicroCom.). Flexipanel. Recuperado Noviembre, 2013, de <http://www.microcomsolutions.com/productos/automatizacion/renuflexipanel/renuflexipanel.html>

mower.china. (2014). Cordless electric lawn mower motor / DC motor. Recuperado 25 Enero, 2014, de http://mower.china-direct-buy.com/v/4/product_detail/5002134/Cordless_electric_lawn_mower_motor_DC_motor.html

Perno, Casa del. (2014). Seguros y Pasadores. Recuperado 10 Marzo, 2014, de http://www.casadelperno.com/Productos_Seguros.html

Phoenix. (2014). 2866475 TRIO-PS/ 1AC/12DC/ 5 Recuperado 10 Agosto, 2014, de <http://eshop.phoenixcontact.com.ar/phoenix/treeViewClick.do;jsessionid=TycQwtHLpGKvMJBxdrwwHGJRHqBk5JCdbDpLWRLZh90qdpS764dW!583442759?UID=852473853&parentUID=852282298&reloadFrame=true>

Pompa, King. (2010). Bombas de Engranaje Interno - SERIE "M" – Para Funciones de Rendimiento General. Recuperado 17 Mayo, 2014, de http://www.kingpompa.com/es/urunler/m_serisi.jsp

Quiminet. (2011). Las bombas lobulares y el desplazamiento positivo. Recuperado Mayo, 2014, de <http://www.quiminet.com/articulos/las-bombas-lobulares-y-el-desplazamiento-positivo-63287.htm>

Ramonmar.mex.tl. (2014). CLASIFICACION DE MOTORES. Recuperado 17 Mayo, 2014, de http://ramonmar.mex.tl/844503_clasificacion-de-motores-electricos.html

ReallmportExport. (2014). Borneras. Recuperado 18 Marzo, 2014, de http://www.realimexperu.com/ficha_producto.php?n=6

Reciclar. (2009). Recuperado Noviembre, 2013, de http://www.biodegradable.com.mx/que_es_reciclar.html

Robledo, Carlos. (2012). Televisión digital. Recuperado 1 Marzo, 2014, de <http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/CienciaCierta/CC30/1.html>

Rodriguez. (2012). Instrumentos para tableros. Recuperado 17 Marzo, 2014, de http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/IF_DICIEMBRE_2012/IF_RODRIGUEZ%20ABURTO_FIEE/LIBRO%20INSTRUMENTOS%20PARA%20TABLEROS.pdf

Rueda, C. (2008). Fórmulas en cilindros hidráulicos. Recuperado de <http://hidraulicapractica.com/es/cilindros/blog>

Sapiensman.com.). Dispositivos de control y medida de presión. Recuperado 17 Mayo, 2014, de <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica34.htm>

Sarmiento, Martín. (2011). Aparatos de Protección. Recuperado 18 Marzo, 2014, de <http://todoclase.files.wordpress.com/2011/11/6-aparatos-de-proteccion3b3n.pdf>

Schneider-electric. (2010). Contactores tripolares. Recuperado 10 Marzo, 2014, de http://www.schneider-electric.com.ar/documents/recursos/myce/capitulo03_1907.pdf

Sercom. (2011). Productos. Recuperado Diciembre, 2013, de <http://www.sercom-ltada.cl/productos/canalizacion/moldura-dlp/canaleta-dexson-32x12mm-blanca-ctabique-interior/>

SolidWorks. (2014). Piezas soldadas - Agregar cartelas. Recuperado 7 Marzo, 2014, de http://help.solidworks.com/2010/spanish/solidworks/sldworks/legacyhelp/sldworks/Weldments/HIDD_DVE_FEAT_GUSSET.htm

Suárez. (2010). Material Apoyo Prácticas. Recuperado 1 Marzo, 2014, de http://isa.uniovi.es/~vsuarez/Download/MaterialApoyoPracticas/01_Introduccion_al_laboratorio.pdf

TecnoAccesible. (2011). Interruptores. Recuperado 18 Marzo, 2014, de <http://www.tecnoaccesible.net/content/24-09-18-interruptores-encendidoapagado-u-otras-funciones>

tecnologia.org. (2011). Revoltallo de termos. Recuperado 26 Marzo, 2014, de <http://www.tecnologia.org/revoltallo/listaxe.php?campo=id&dir=DESC&paxina=6>

UTEFA.). Riel Din. Recuperado Diciembre, 2013, de http://utefa.com.mx/product_info.php/manufacturers_id/35/products_id/290

Vallejo, María. (2010). Motores de corriente alterna. Recuperado 12 Marzo, 2014, de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/motores-corriente-alterna/motores-corriente-alterna.pdf>

Zapata, Jorge F. Ma San. (2003). Diseño de Elementos de Máquinas 1. Recuperado Enero 18, 2014, de <http://www.eumed.net/libros-gratis/ciencia/2013/14/14.pdf>

Zoloda. (2000). Catálogo general de Bornes. Recuperado 18 Marzo, 2014, de http://www.electrodos.com.ar/UserFiles/mediaManager/1//afa1323eed545d07289567570022e02b66b295c2_eb3d6a99e6e5ea3f7576014125fae59c474417c0.pdf

ANEXOS