



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

### TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

**TEMA:** REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA IMPRESORA FLEXOGRÁFICA DE DOS COLORES PARA PLÁSTICO, CON ADAPTACIÓN DE DESBOBINADO Y REBOBINADO DE MATERIA PRIMA PARA LA PRODUCCIÓN EN SERIE DE LA EMPRESA INPLASTICO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA.

#### **AUTORES:**

KATHERINE MARCELA MONTENEGRO MENA

SANTIAGO XAVIER ILLESCAS BONILLA

**DIRECTOR:** ING. OSCAR ARTEAGA

**LATACUNGA**

**2016**



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA IMPRESORA FLEXOGRÁFICA DE DOS COLORES PARA PLÁSTICO, CON ADAPTACIÓN DE DESBOBINADO Y REBOBINADO DE MATERIA PRIMA PARA LA PRODUCCIÓN EN SERIE DE LA EMPRESA INPLASTICO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA**” realizado por el señores **KATHERINE MARCELA MONTENEGRO MENA** y **SANTIAGO XAVIER ILLESCAS BONILLA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **KATHERINE MARCELA MONTENEGRO MENA** y **SANTIAGO XAVIER ILLESCAS BONILLA** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 05 de mayo del 2016

Atentamente,

Ing, Oscar Arteaga

Director



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **KATHERINE MARCELA MONTENEGRO MENA**, con cédula de identidad N° 0502906910 y **SANTIAGO XAVIER ILLESCAS BONILLA**, con cédula de identidad N° 0502812258, declaramos que este trabajo de titulación **“REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA IMPRESORA FLESOGRÁFICA DE DOS COLORES PARA PLÁSTICO, CON ADAPTACIÓN DE DESBOBINADO Y REBOBINADO DE MATERIA PRIMA PARA LA PRODUCCIÓN EN SERIE DE LA EMPRESA INPLASTICO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Latacunga, 05 de mayo del 2016**

-----  
KATHERINE MARCELA  
MONTENEGRO MENA  
C.C.: 0502906910

-----  
SANTIAGO XAVIER  
ILLESCAS BONILLA  
C.C.: 0502812258



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **KATHERINE MARCELA MONTENEGRO MENA y SANTIAGO XAVIER ILLESCAS BONILLA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución la presente trabajo de titulación “**REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA IMPRESORA FLEXOGRÁFICA DE DOS COLORES PARA PLÁSTICO, CON ADAPTACIÓN DE DESBOBINADO Y REBOBINADO DE MATERIA PRIMA PARA LA PRODUCCIÓN EN SERIE DE LA EMPRESA INPLASTICO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

**Latacunga, 05 de mayo del 2016**

-----  
KATHERINE MARCELA  
MONTENEGRO MENA  
C.C.: 0502906910

-----  
SANTIAGO XAVIER  
ILLESCAS BONILLA  
C.C.: 0502812258

## DEDICATORIA

*Este proyecto y en general toda mi carrera como profesional la dedico a Dios, a mi madre Inés, a mi abuelita América, a mi tía Mercedes y por supuesto a mi querida madrina Eulalia que desde el cielo me bendice. Durante toda mi vida estudiantil han sido pilar fundamental en este camino que no ha sido nada fácil, pero con esfuerzo hoy es una realidad, ser un profesional. Con todo mi cariño también quiero mencionar a mis primos Andrés, Juancarlos y Xavier, que han sido parte de mi formación, en ellos encontré mi ejemplo de lucha diaria. Además no puedo olvidar a mi pequeño hermano Mateo, que con su alegría y compañía fue también muy importante para cumplir este objetivo. Y en general doy gracias a toda mi familia y amigos por su apoyo, y finalmente quiero mencionar que para mí ha sido un honor grande poder graduarme en ésta institución tan prestigiosa como es nuestra querida ESPE.*

*Santiago Xavier Illescas Bonilla*

*Este proyecto va dedicado a mis abuelitos María Isabel y Ricardo por formarme como una persona correcta y responsable, por su apoyo y fortaleza en cada etapa de mi vida. A mi madre Sonia por su inmenso cariño, consejos y por siempre preocuparse de mi bienestar. A mi padre William que desde lejos ha sido mi apoyo para cumplir con cada meta propuesta. A mis tíos Ricardo, Angélica y Moncerath, mis ejemplos a seguir, que siempre con su cariño incondicional y positivismo no me han permitido desmayar en los momentos difíciles. A los pequeños de la familia, mis hermanitos Isa y Maty quienes son pilares fundamentales en mi vida y mis primitos Dany, Mau, Sofy y Andre quienes la llenan de alegría día a día.*

*Katherine Marcela Montenegro Mena*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a toda mi familia por su apoyo incondicional para alcanzar ésta meta. A la vez quiero agradecer el apoyo de Dayana y Leyla Oñate quienes durante años de estudio fueron mi compañía en los buenos y malos momentos.*

*A la Empresa INPLASTICO NARANJO HERNÁNDEZ Y COMPAÑÍA por brindarnos el apoyo necesario en el transcurso de este proyecto y concluir el mismo satisfactoriamente; a nuestro director de proyecto de titulación el ING. OSCAR ARTEAGA agradecerle por su colaboración y total desinterés, buscando únicamente ser una guía en el desarrollo del mismo; y en general a todos los docentes que tuve la oportunidad y agrado de compartir en un aula de clases.*

*Santiago Xavier Illescas Bonilla*

*Agradezco a todas las personas que de forma directa e indirecta formaron parte de este proyecto. A nuestro tutor de tesis el Ing. Oscar Arteaga por ofrecer sus conocimientos en cada etapa de desarrollo de la misma. Al Ing. Freddy Naranjo gerente de la empresa INPLASTICO NARANJO HERNÁNDEZ Y COMPAÑÍA por brindarnos la oportunidad de realizar este proyecto en dicha institución. A familiares y amigos que de una u otra forma a pesar de las adversidades me han permitido seguir adelante.*

*Katherine Marcela Montenegro Mena*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CARÁTULA</b>	
<b>CERTIFICADO</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>.iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN (PUBLICACIÓN BIBLIOTECA VIRTUAL)</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xv</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xx</b>

## CAPÍTULO I

<b>GENERALIDADES</b> .....	<b>1</b>
1.1    Introducción .....	1
1.2    Descripción de una impresora flexográfica.....	1
1.2.1    Flexografía .....	1
1.2.2    Proceso flexográfico.....	2
1.2.3    Forma impresora.....	3
a.    Definición .....	3
b.    Tipos.....	3
1.2.4    Máquinas de impresión flexográfica .....	5
a.    Máquinas en línea.....	5
b.    Máquina en torreta.....	6
c.    Máquinas de tambor central.....	6
1.2.5    Partes principales de una impresora flexográfica .....	7
1.3    Diagnóstico del estado actual de la máquina .....	8
1.3.1    Impresora flexográfica.....	8
a.    Sistema hidráulico.....	9
b.    Sistema principal.....	11
b.1    Motor de corriente continua.....	11
c.    Sistema de secado.....	12

c.1	Motor.....	12
c.2	Niquelinas .....	12
1.3.2	Rebobinado .....	13
a.	Motor.....	13
b.	Reductor .....	13
c.	Circuito de control .....	14
1.4	Marco teórico .....	14
1.4.1	Sistemas hidráulicos .....	14
1.4.2	Engranajes cilíndricos de dentado recto.....	16
1.4.3	Sistema de control, actuadores y elementos de control .....	17
a.	Sistema de control .....	17
b.	Actuadores.....	18
b.1	Actuadores eléctricos.....	18
b.1.1	Motores eléctricos .....	18
b.1.2	Motores de corriente continua vs motores de corriente alterna .....	19
b.1.3	Ventaja de usar motores de corriente alterna sobre motores de corriente continua .....	20
b.1.4	Potencia mecánica de un motor eléctrico.....	20
c.	Elementos de control .....	21
c.1	Fusibles .....	21
c.2	Disyuntor.....	22
c.3	Relé térmico.....	22
c.4	Contactador .....	23
c.5	Variador de frecuencia .....	23
c.5.1	Definición .....	23
c.5.2	Parámetros importantes en el variador de frecuencia .....	24
c.5.3	Ventajas en el uso de variadores de frecuencia .....	25
c.5.4	Desventajas .....	25
c.6	Conductores.....	26
d.	PT100 - Dispositivo Termo Resistivo (RTD).....	26
d.1	Pt100 de 3 hilos .....	27



e.	Controlador Lógico Programable - PLC.....	28
f.	Touch panel .....	28
g.	Relé .....	29
h.	Sensor inductivo .....	30
1.4.4	Diseño de sistema de transmisión.....	31
a.	Diseño de transmisión de cadenas .....	31
a.1	Potencia de diseño.....	31
b.	Engranajes.....	31
c.	Poleas.....	32
d.	Torsión.....	33
1.4.5	Diseño de estructuras - columnas .....	33
a.	Diseño de columnas con carga excéntrica .....	34
1.4.6	Esfuerzo por flexión en vigas .....	38
1.4.7	Factor de diseño .....	39
<b>CAPÍTULO II</b>		
<b>DISEÑO Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS .....</b>		<b>41</b>
2.1	Características preliminares .....	41
2.2	Rectificación de rodillo de caucho agitador de tinta.....	42
2.3	Diseño del sistema mecánico - desbobinado .....	43
2.3.1	Parámetros de diseño del desbobinado .....	44
a.	Dimensionamiento del desbobinado .....	44
b.	Características del material.....	45
2.3.2	Diseño del eje a usar para el desbobinado de material .....	45
a.	Diseño del sistema de transmisión de engranes .....	45
b.	Diseño del sistema de transmisión de poleas .....	50
2.3.3	Diseño del desbobinado como columna.....	55
a.	Carga que actúa sobre la columna.....	55
b.	Inercia y área de la sección transversal de la columna .....	56
c.	Radio de giro de la columna.....	57
d.	Longitud efectiva.....	57
e.	Cálculo de pandeo en la columna con carga excéntrica.....	57

2.3.4	Diseño del desbobinado como viga en voladizo.....	59
2.3.5	Modelado 3D del sistema mecánico del desbobinado.....	62
2.4	Diseño y selección del sistema eléctrico y de control.....	64
2.4.1	Sistema principal.....	64
2.4.2	Sistema hidráulico.....	69
2.4.3	Sistema de secado.....	73
2.4.4	Rebobinado .....	79
2.5	Diseño del sistema de control .....	82
2.5.1	Touch panel .....	82
2.5.2	Programación en el PLC .....	84
<b>CAPÍTULO III</b>		
<b>CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN.....</b>		<b>89</b>
3.1	Introducción .....	89
3.2	Mantenimiento .....	89
3.2.1	Bomba hidráulica .....	89
a.	Limpieza del tanque .....	89
3.2.2	Base para motor del sistema principal .....	91
3.2.3	Cambio de rodillos .....	93
3.2.4	Cambio de manómetros.....	95
3.2.5	Cambio de rodamientos en motor trifásico del rebobinado.....	97
3.3	Montaje del sistema mecánico .....	98
3.4	Montaje del sistema eléctrico y de control.....	102
3.5	Integración de sistemas .....	106
<b>CAPÍTULO IV</b>		
<b>PRUEBAS Y RESULTADOS .....</b>		<b>107</b>
4.1	Pruebas de funcionamiento del sistema mecánico.....	107
4.2	Pruebas de funcionamiento del sistema de control general.....	108
4.2.1	Pruebas del sistema hidráulico .....	108
4.2.2	Pruebas del sistema de secado .....	109
4.2.3	Pruebas del sistema principal .....	111
4.2.4	Rebobinado vs frecuencia de trabajo .....	113

4.3	Implementación de sistemas .....	113
4.4	Validación de la hipótesis .....	116
4.4.1	Comprobación de la hipótesis por el método Chi Cuadrado .....	116
4.5	Análisis de costos .....	121
<b>CAPÍTULO V</b>		
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>125</b>
5.1	Conclusiones .....	125
5.2	Recomendaciones .....	126
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>128</b>
<b>LINKGRAFÍA .....</b>		<b>128</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>132</b>

**ANEXO A: DIAGRAMA DE FLUJO**

**ANEXO B: FUSIBLES**

**ANEXO C: PARÁMETROS DE RIGIDEZ DE VARIOS MATERIALES**

**ANEXO D: ESFUERZOS  $S_y$  y  $S_u$  DE ACEROS ESTRUCTURALES.**

**ANEXO E: MATERIALES – REBOBINADO Catálogo DIPAC**

**ANEXO F: ESQUEMA SISTEMA FLEXOGRÁFICO**

**ANEXO G: PLANOS MECÁNICOS**

**ANEXO H: CONDUCTORES / CABLE AWG**

**ANEXO I: PLANOS ELÉCTRICOS Y DE CONTROL**

**ANEXO J: PROGRAMACIÓN DEL PLC**

**ANEXO K: MÓDULO DE SEÑALES RTD - SIEMENS**

**ANEXO L: PLANOS ELÉCTRICOS Y DE CONTROL (AUTOMATIZACIÓN)**

**ANEXO M: PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL DESBOBINADO**

**ANEXO N: CHI CUADRADO**

**ANEXO O: MANUAL DE USUARIO**

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características del motor eléctrico para la bomba hidráulica .....	10
Tabla 2 Características del motor de corriente continua .....	12
Tabla 3 Características del motor eléctrico del sistema de secado .....	12
Tabla 4 Características del motor del Rebobinado .....	13
Tabla 5 Módulos y diámetro Pitch .....	17
Tabla 6 KVA por C. P. de los motores con rotor bloqueados .....	21
Tabla 7 Poder de Cierre en la selección del disyuntor .....	22
Tabla 8 Factores de servicio para impulsores de cadena .....	31
Tabla 9 Datos de engranes 1, 2 y 3 del sistema de transmisión .....	47
Tabla 10 Datos de engranes del 4 al 7 del sistema de transmisión.....	48
Tabla 11 Datos de engranes del 8 al 11 del sistema de transmisión.....	50
Tabla 12 Datos de las poleas .....	51
Tabla 13 Descripción conexión sistema principal.....	65
Tabla 14 Descripción del diagrama de control del variador de frecuencia.....	66
Tabla 15 Características principales del nuevo motor AC del Sist. principal .....	67
Tabla 16 Características del variador de frecuencia .....	68
Tabla 17 Corrientes medidas para selección de disyuntor .....	68
Tabla 18 Características del disyuntor .....	69
Tabla 19 Descripción conexión sistema hidráulico.....	70
Tabla 20 Descripción del diagrama de control del sistema hidráulico .....	71
Tabla 21 Datos técnicos de los componentes en el sistema hidráulico .....	72
Tabla 22 Descripción del diagrama de fuerza del motor de ventilación.....	74
Tabla 23 Descripción del diagrama de fuerza de niquelinas .....	75
Tabla 24 Descripción del diagrama de control del sistema de ventilación.....	76
Tabla 25 Descripción del diagrama de control del sistema de ventilación.....	77
Tabla 26 Datos técnicos de los componentes en el sistema de secado.....	78
Tabla 27 Corriente necesaria en niquelinas .....	79
Tabla 28 Descripción del diagrama de fuerza del rebobinado.....	80

Tabla 29 Descripción del diagrama de control del rebobinado .....	81
Tabla 30 Corrientes nominales de los motores de cada sistema .....	81
Tabla 31 Entrada y Salidas del PLC .....	85
Tabla 32 PLC Seleccionado .....	86
Tabla 33 Prueba de funcionamiento del sistema mecánico .....	107
Tabla 34 Contacto de una persona con la estructura.....	108
Tabla 35 Temperatura de niquelinas .....	109
Tabla 36 Adherencia de tinta a diferentes temperaturas .....	111
Tabla 37 Pruebas de impresión a distintas frecuencias .....	111
Tabla 38 Resistencia medida en el rebobinado .....	113
Tabla 39 Comparación entre temperatura y frecuencia durante la impresión .	114
Tabla 40 Impresiones de acuerdo a la frecuencia de trabajo .....	115
Tabla 41 Tabla de contingencia .....	117
Tabla 42 Frecuencias observadas .....	118
Tabla 43 Frecuencias esperadas.....	119
Tabla 44 Cálculo de Chi Cuadrado .....	119
Tabla 45 Costos del proyecto .....	121
Tabla 46 Costos de la Propuesta.....	123

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Configuración cliché flexográfico .....	4
Figura 2: Cliché flexográfico .....	5
Figura 3: Impresora en línea .....	5
Figura 4: Impresora en torreta .....	6
Figura 5: Impresora de tambor central .....	7
Figura 6: Impresora flexográfica en estado deplorable .....	8
Figura 7: Sistema de transmisión de engranes .....	9
Figura 8: Bomba y tanque con aceite en mal estado .....	10
Figura 9: Rodillo de caucho agitador de tinta .....	11
Figura 10: Motor de corriente continua .....	11
Figura 11: Placa de características del reductor del Rebobinado.....	13
Figura 12: Tarjeta controladora del Rebobinado .....	14
Figura 13: Componentes circuito hidráulico .....	15
Figura 14: Circuito hidráulico .....	15
Figura 15: Engranaje del cilindro de caucho .....	16
Figura 16: Tipos de motores .....	18
Figura 17: Motores de corriente continua vs alterna .....	19
Figura 18: Partes principales del variador de frecuencia.....	24
Figura 19: Pt100 .....	27
Figura 20: Pt100 de 3 hilos .....	27
Figura 21: Paneles HMI .....	29
Figura 22: Simbología del relé .....	29
Figura 23: Esquema de conexión del relé .....	30
Figura 24: Sensor inductivo .....	30
Figura 25: Esquema de conexión del sensor inductivo .....	30
Figura 26: Valores de K para longitud efectiva, $L_e = K L$ .....	34
Figura 27: Columna Excéntrica.....	35
Figura 28: Inercia de la sección transversal .....	37
Figura 29: Engrane del rodillo agitador de tinta.....	42

Figura 30: Dimensionamiento desbobinado (Unidades en mm) .....	44
Figura 31: Rodillos ubicados en la parte interior de la máquina .....	45
Figura 32: Engranajes 1, 2 y 3 del sistema de transmisión .....	47
Figura 33: Engranajes del 4 al 7 del sistema de transmisión .....	48
Figura 34: Engranajes del 8 al 11 del sistema de transmisión .....	49
Figura 35: Sistema de transmisión de poleas .....	50
Figura 36: Poleas.....	51
Figura 37: Diagrama de cuerpo libre eje .....	53
Figura 38: Momento flexionante máximo del eje .....	54
Figura 39: Factor de seguridad del eje.....	55
Figura 40: Sección transversal de la columna (Unidades en mm).....	56
Figura 41: Viga en voladizo de la estructura .....	59
Figura 42: Medición de masa al halar material.....	59
Figura 43: Momento máximo flexionante .....	60
Figura 44: Modelado mecánico – material utilizado .....	62
Figura 45: Factor de Seguridad del sistema mecánico .....	63
Figura 46: Diagrama de Fuerza del Sistema Principal .....	65
Figura 47: Diagrama de control del variador de frecuencia .....	66
Figura 48: Diagrama de fuerza del sistema hidráulico .....	70
Figura 49: Diagrama de control del sistema hidráulico.....	71
Figura 50: Diagrama de fuerza del motor de ventilación .....	73
Figura 51: Diagrama de fuerza de niquelinas.....	74
Figura 52: Diagrama de control del sistema de ventilación .....	76
Figura 53: Diagrama de control de niquelinas.....	77
Figura 54: Diagrama de fuerza del rebobinado .....	79
Figura 55: Diagrama de control del rebobinado .....	80
Figura 56: Ventana principal HMI.....	82
Figura 57: Ventana para impresión automática.....	83
Figura 58: Ventana para impresión manual .....	84
Figura 59: Conexión de la salida Q0.1 a relé y bobina de contactor .....	86
Figura 60: Conexión de sensor inductivo a entrada digital del PLC .....	87



Figura 61: Conexión RTD a módulo de entrada analógica .....	87
Figura 62: Macro del variador de frecuencia .....	88
Figura 63: Separación de mangueras de la bomba hidráulica .....	90
Figura 64: Limpieza del tanque de la bomba hidráulica .....	90
Figura 65: Aluminio y tapa de motor listos para ser torneados.....	91
Figura 66: Tapa del motor y aluminio acoplados.....	92
Figura 67: Motor acoplado a una base de aluminio .....	92
Figura 68: Motor nuevo acoplado a la caja reductora .....	93
Figura 69: Separación de la parte hidráulica .....	93
Figura 70: Cilindro de caucho nuevo .....	94
Figura 71: Acoplamiento del nuevo cilindro de caucho .....	94
Figura 72: Manómetro en mal estado .....	95
Figura 73: Manómetros nuevos .....	95
Figura 74: Colocación del primer manómetro .....	96
Figura 75: Manómetros nuevos colocados en la bomba hidráulica .....	96
Figura 76: Partes del motor rebobinador.....	97
Figura 77: División del sistema mecánico .....	98
Figura 78: Dimensionamiento de abertura entre secciones de tubo cuadrado ..	99
Figura 79: Nivelación de estructura .....	99
Figura 80: Base de rodillo coincide con base de la estructura .....	100
Figura 81: Apariencia de soldadura .....	100
Figura 82: Pulido moderado.....	101
Figura 83: Eje ubicado sin dificultad .....	101
Figura 84: Tablero reutilizado .....	102
Figura 85: Esquema de ubicación de elementos del tablero .....	103
Figura 86: Ubicación de canaletas y rieles.....	103
Figura 87: Distribución de elementos de mando y luces piloto.....	104
Figura 88: Pruebas de continuidad en el tablero.....	104
Figura 89: Parte interior del tablero de control .....	105
Figura 90: Parte exterior del tablero de control .....	105
Figura 91: Integración de sistemas .....	106

Figura 92: Prueba del sistema hidráulico agitando tinta .....	108
Figura 93: Temperatura niquelina 1 .....	110
Figura 94: Temperatura niquelina 1 y 2 .....	110
Figura 95: Impresión a frecuencias menores a 36.4 Hz .....	112
Figura 96: Impresión a frecuencias mayores a 40 Hz .....	112
Figura 97: Impresión a frecuencias entre 36.4 y 40 Hz .....	112
Figura 98: Impresiones de buena calidad .....	115

## RESUMEN

El presente proyecto consiste en el rediseño e implementación de una impresora flexográfica de dos colores para plástico, con adaptación de desbobinado y rebobinado de materia prima para la producción en serie de la fábrica INPLASTICO de la ciudad de Latacunga, máquina que se encuentra fuera de funcionamiento debido a su estado deplorable. En este proyecto se proporcionará el control a cada sistema: al principal para que cumpla la función de trasladar el plástico moviendo los rodillos internos de la máquina a partir del trabajo en conjunto de un variador de frecuencia con un motor; al hidráulico para que por medio de la activación de un motor eléctrico permita el accionamiento de motores hidráulicos y con esto los rodillos mezcladores de tinta puedan cumplir su función; al de secado para que el trabajo de la ventilación proporcionada por un motor y la activación de niquelinas estén integrados. Además se realizará el mantenimiento necesario y la adaptación de un rebobinado de material y una estructura de desbobinado debidamente diseñada para que soporte el peso del rollo a ingresar a la máquina. Adjunto a esto se planteará un diseño del sistema de control alternativo, donde se contará con un control a partir de un HMI en una Touch Panel, que en su manipulación de forma automática o manual permitirá que un PLC active los dispositivos de cada sistema y se observarán datos como la temperatura de las niquelinas y el número de impresiones de la máquina a partir de la lectura de un sensor RTD pt100 y un sensor inductivo respectivamente.

### **PALABRAS CLAVE:**

- IMPRESORA FLEXOGRÁFICA
- IMPRESORAS
- PLÁSTICOS
- INDUSTRIA Y COMERCIO

## **ABSTRACT**

This project is about to redesign and implementation of a flexographic printing of two colors for plastic, adaptation of unwinding and rewinding of raw materials for production in INPLASTICO factory in Latacunga city, this machine is out of operation because of their deplorable state. In this project control will be provided to each system: the principal to fulfill the function of moving the plastic moving internal rollers of the machine from working together on a frequency with a motor; for the hydraulic activation through an electric motor allows the drive hydraulic motors and thereby the ink mixing rollers can fulfill its function; by drying, so that the work of the ventilation provided by a motor and activation of niquelinas are integrated. Besides the necessary maintenance and adaptation of a material rewinding and unwinding a structure designed to properly support the weight of the roll to enter the machine it will be done. Attached to this a design alternative control system, where there will be control from an HMI in a Touch Panel, in its handling automatically or manually allow a PLC active devices each system and will be raised will observe data such as the temperature of the niquelinas and the number of prints of the machine from reading a Pt100 RTD sensor and an inductive sensor respectively.

## **KEYWORDS**

- FLEXOGRAPHIC PRINTING MACHINE
- PRINTERS
- PLASTICS
- INDUSTRY AND COMMERCE

## **PRESENTACIÓN**

El presente proyecto describe el rediseño e implementación de una impresora flexográfica de dos colores para plástico, con adaptación de desbobinado y rebobinado de materia prima para la producción en serie de la fábrica INPLASTICO de la ciudad de Latacunga

En el capítulo I, se define al sistema flexográfico, sus partes, funcionamiento, tipos de impresora flexográfica, estado inicial de la máquina, también se describen elementos pertenecientes al sistema eléctrico y las ecuaciones necesarias para el rediseño tanto eléctrico como mecánico.

En el capítulo II, se detalla el diseño eléctrico y mecánico, el software usado en cada uno y la selección de componentes a utilizar.

En el capítulo III, se puntualiza la construcción e implementación del sistema mecánico, del sistema eléctrico y de control, se muestra la integración de sistemas y el mantenimiento realizado en cada uno.

En el capítulo IV, se describe las pruebas realizadas al proyecto, los resultados obtenidos y su respectivo análisis.

En el capítulo V, se presenta las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 Introducción**

A nivel industrial es preciso dar una imagen al producto brindado y la mejor manera de hacerlo es a través de etiquetas limpias de buena calidad.

La mayoría de empresas emplean etiquetas previamente elaboradas en centros externos, lo que ocasiona muchas veces retrasos en la entrega de productos o que estas se encuentren con ciertos fallos no favorables para dicha institución.

La flexografía a más de ser uno de los métodos que brinda buena calidad en su impresión, también es el más económico con respecto al producto final, porque permite un mayor número de reproducciones a un menor costo, es por esta razón que en la última década se ha desarrollado a gran velocidad, desplazándose a nivel mundial y siendo la mejor opción para la implementación en industrias en donde se requiera la elaboración de etiquetas en masa, como es el caso de INPLASTICO en la ciudad de Latacunga.

### **1.2 Descripción de una impresora flexográfica**

#### **1.2.1 Flexografía**

En un principio, la flexografía fue conocida como “impresión a la anilina” o impresión con goma. “Es un sistema derivado de la tipografía, en el cual la plancha utilizada es de un material flexible y gomoso” (Proceso de impresión flexográfica, 2012).

“Es un método directo de impresión en relieve que utiliza matrices o planchas flexibles elaboradas en materiales resistentes de caucho o

fotopolímeros. Generalmente estas máquinas son rotativas y el soporte es una bobina, aunque también existen máquinas para soporte plano” (Boluda Jordi, 2012).

Según los Sistemas de Impresión (2012), se adapta a varios tipos de productos, entre los que se encuentran:

Absorbentes: Compuestos por los celulósicos rígidos (cartón ondulado) o los celulósicos no rígidos (papel, cartón plegalizado).

No Absorbentes: Compuestos por plásticos (polietilenos, polipropileno, poliésteres).

### **1.2.2 Proceso flexográfico**

Según el Proceso de impresión flexográfica (2012), consiste en:

- Preparar el cliché, que es aquella plancha que posee la imagen a imprimir de forma invertida y con relieve.
- Ajustar dicha plancha al cilindro plataforma o porta cliché.
- Se engancha el sustrato al sistema.
- Un cilindro de cerámica o acero (cilindro anilox) cubierto por miles de huecos, recibe la tinta.
- Al girar el cilindro anilox entra en contacto directo con la plancha, proporcionándole tinta en las zonas de relieve, quedando las zonas bajas secas.
- La plancha ya entintada entra en contacto con el sustrato, el mismo que se mantiene en su posición gracias al cilindro de impresión.
- El sustrato recibe la imagen de tinta de la plancha para luego pasar por la zona de secado.
- El material pasa a ser enrollado por la sección de rebobinado.

### 1.2.3 Forma impresora

#### a. Definición

Es el material u objeto que contiene la imagen a reproducir, y que es debidamente adaptado para transferir la tinta al soporte a imprimir.

#### b. Tipos

De acuerdo con el C8 – Procesos en Artes Gráficas (2010), se tienen los siguientes tipos:

- **Planchas Fotopoliméricas**

Están hechas con un material plástico flexible, por lo que pueden adaptarse a las formas de los cilindros.

- **Planchas coloidales**

Son de material coloidal fotoendurecible (gelatina en conjunto con bicromatos).

El soporte y la capa líquida de plástico vienen separados y se unen por fusión en el momento del uso.

- **Sistemas de fundas**

Es un sistema de tubos de fibra de vidrio, desmontables, que se ajustan sobre los cilindros portaclichés.

La funda puede estar recubierta con caucho, para el grabado láser, o con fotopolímero.



- **Planchas Láser**

Son generadas mediante un haz láser. El grabado con láser se utiliza para la producción de distintos tipos de material: fotopolímeros o rodillos de caucho en continuo.

- **El Cliché Flexográfico**

El cliché flexográfico se obtiene al procesar la plancha flexográfica, para lograr la configuración que se muestra en la Figura 1:

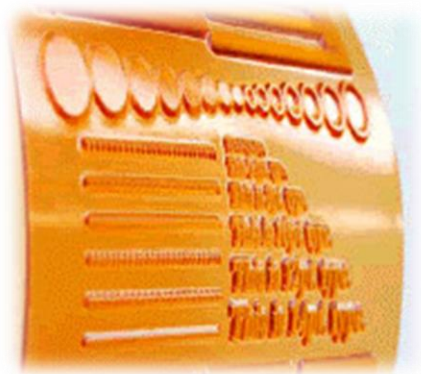


**Figura 1:** Configuración cliché flexográfico

**Fuente:** (C8 – Procesos en Artes Gráficas, 2010)

- Base endurecida denominada talón
- Relieve
- Fotopolímero
- Soporte

Un ejemplo de cliché flexográfico se muestra en la Figura 2.



**Figura 2:** Cliché flexográfico

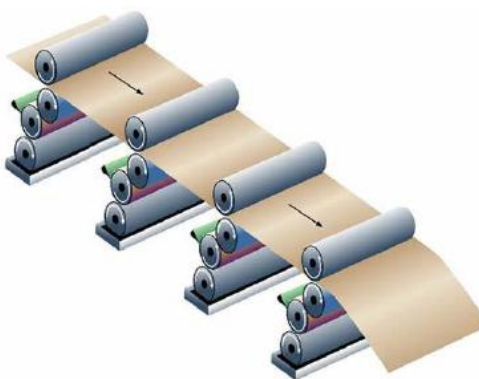
**Fuente:** (C8 – Procesos en Artes Gráficas, 2010)

#### 1.2.4 Máquinas de impresión flexográfica

Boluda Jordi en 2012, menciona que hay distintos tipos de máquina de impresión flexográfica, las cuales son las siguientes:

##### a. Máquinas en línea

En este tipo de máquinas los grupos impresores son unidades completas situados horizontalmente uno a continuación del otro como se muestra en la Figura 3, y están impulsados por un eje de transmisión común. En las prensas en línea no hay limitación en el número de grupos impresores.

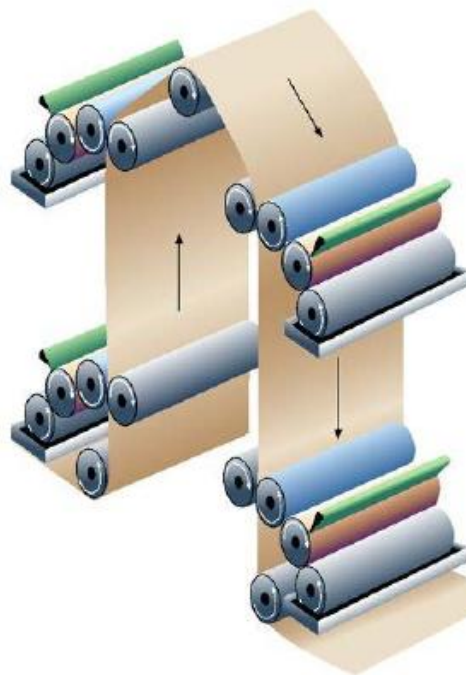


**Figura 3:** Impresora en línea

**Fuente:** (Boluda, J., 2012)

### b. Máquina en torreta

Como se observa en la Figura 4, en estas máquinas los grupos impresores están situados uno encima del otro y en uno o ambos lados de la estructura principal de la máquina. Son de gran aceptación ya que puede imprimir sobre una gran variedad de soportes, pero está limitada en la impresión de soportes muy flexibles y delgados, ya que presenta problemas para mantener un buen registro.

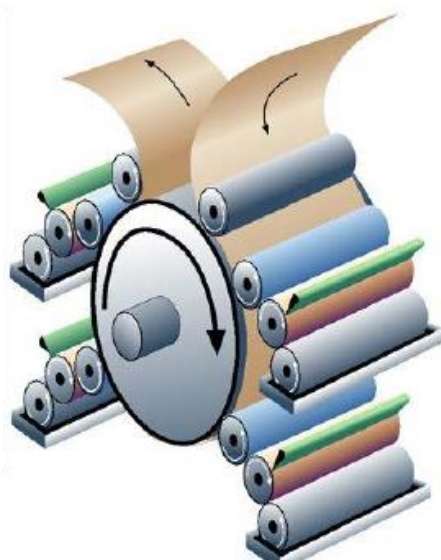


**Figura 4:** Impresora en torreta

Fuente: (Boluda, J., 2012)

### c. Máquinas de tambor central

Esta máquina se caracteriza por tener todos los grupos impresores situados alrededor de un mismo cilindro de contrapresión o tambor central montado en la estructura principal de la máquina, como en la Figura 1.5. Su configuración le permite mantener un registro perfecto de todos los colores, incluso en materiales finos y flexibles.



**Figura 5:** Impresora de tambor central

**Fuente:** (Boluda, J., 2012)

### 1.2.5 Partes principales de una impresora flexográfica

Según el C8 - PROCESOS EN ARTES GRAFICAS (2010) las máquinas flexográficas son rotativas compuestas principalmente por cinco secciones:

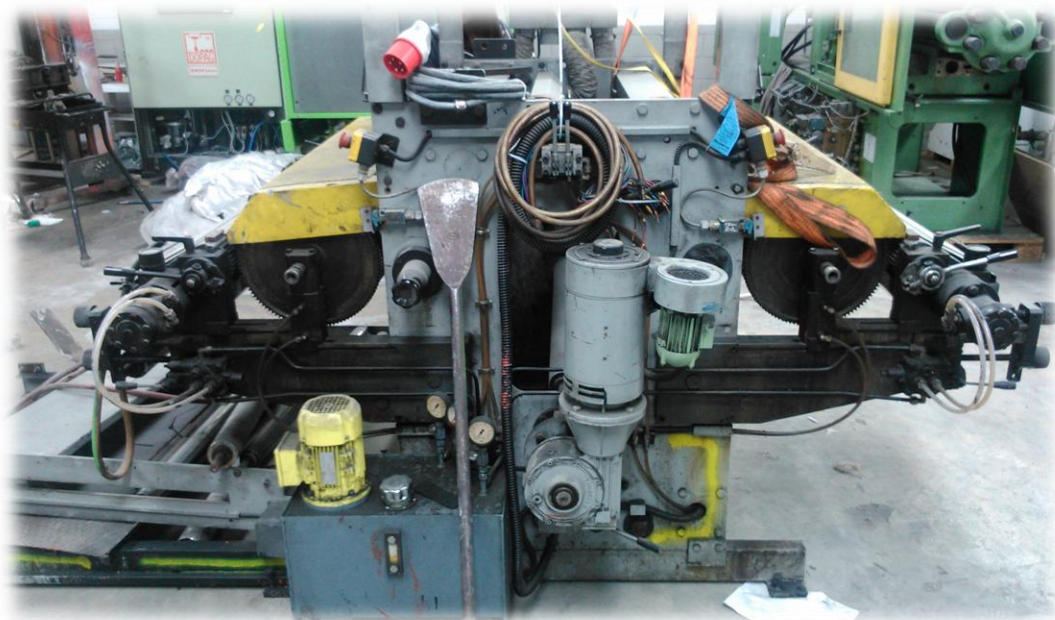
- **Desbobinado:** Está situado al principio de la máquina. Sirve para colocar la bobina a imprimir.
- **Tintero:** El tintero de flexografía convencional es sencillo, consta de un recipiente de tinta, un rodillo inmerso y un rodillo entintador tipo Anilox. El anilox es el elemento fundamental de entintado: determina el volumen de tinta transferida al soporte. La batería de entintado actual está formada por: cubeta, cuchilla y anilox.
- **Cuerpos impresores:** Es la parte fundamental de la máquina, donde se transfiere la tinta al soporte.
- **Hornos de secado:** El horno de secado tiene la misión de facilitar el secado de la tinta sobre el soporte.
- **Dispositivos de acabado:** Los dispositivos de acabado sirven para realizar una serie de manipulados sobre el soporte impreso.

### 1.3 Diagnóstico del estado actual de la máquina

El proceso de impresión de la máquina empieza por la colocación de materia prima y termina con el enrollado del material impreso. Inicialmente solo cuenta con el sistema de impresión, y un rebobinado que no es originalmente de la máquina pero que requiere mantenimiento. Dicho esto hay que realizar mantenimientos y adaptar una unidad de desbobinado con el respectivo eje que sea capaz de soportar las condiciones de peso del material y a la torsión ejercida al ser halado por la máquina. Dicho esto hay que realizar mantenimientos y adaptar una unidad de desbobinado para material. A continuación se detalla el estado actual de la maquinaria.

#### 1.3.1 Impresora flexográfica

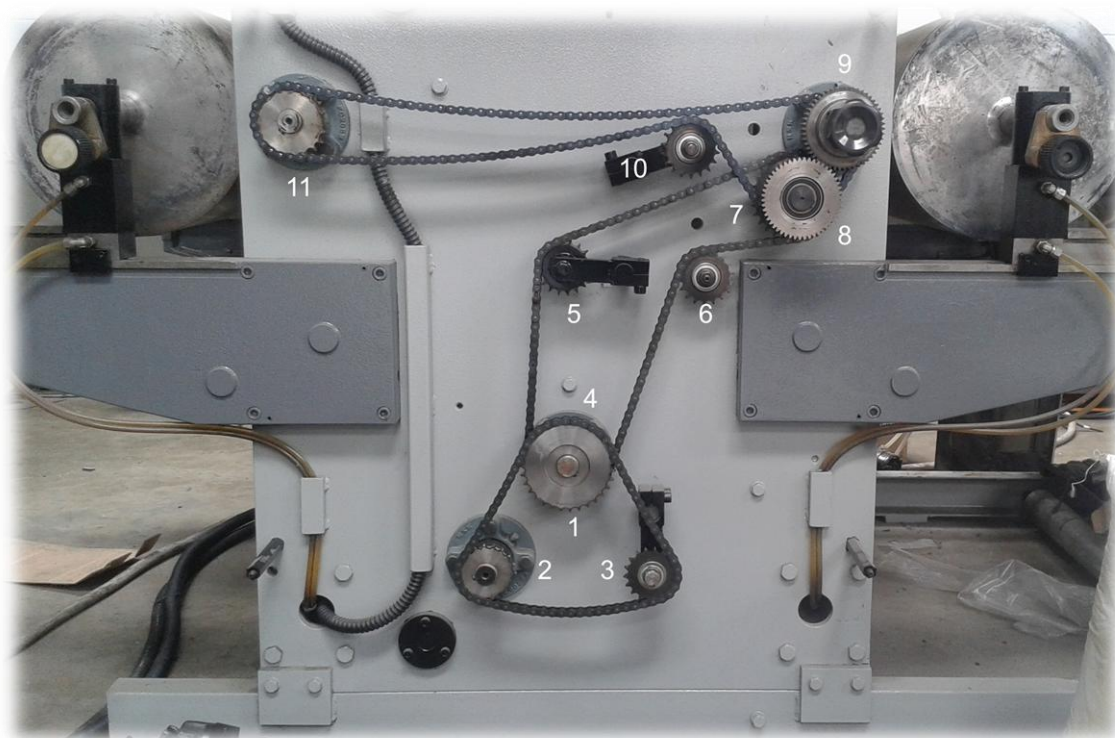
La impresora de la figura 6 se encuentra en un estado deplorable, dicha máquina cuenta con varios sistemas, descritos posteriormente. Además la impresora no posee ningún control, razón por la cual es de suma importancia acoplar todo a un tablero para su accionamiento y fácil operación.



**Figura 6:** Impresora flexográfica en estado deplorable



Además, la máquina cuenta con un sistema de transmisión de engranes como se muestra en la figura 7, donde se brinda el movimiento a los rodillos ubicados al interior de la impresora, por lo tanto, es necesario conocer las revoluciones por minuto de cada engrane, y de los rodillos como sistema de poleas, que intervienen en el movimiento del material al pasar por la máquina, para posteriormente analizar el eje que sostiene el rollo de material abastecido.



**Figura 7:** Sistema de transmisión de engranes

#### **a. Sistema hidráulico**

El sistema hidráulico tiene un motor eléctrico que pone en marcha sus tres bombas hidráulicas de engranajes externos, las mismas que permiten el accionamiento de los motores hidráulicos para el movimiento del rodillo agitador de tinta y también posicionar al rodillo porta cliché. Los datos de la placa están especificadas en la tabla 1.

**Tabla 1**

Características del motor eléctrico para la bomba hidráulica

<b>Voltaje</b>	$\Delta$ 220V / 380V Y
<b>Corriente</b>	1.84 / 1.6 A
<b>RPM</b>	1680 1/min
<b>Potencia</b>	0.37 / 0.44 KW – 0.5 / 0.6 Hp
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b>Código</b>	F = 0.53
<b>Factor de potencia</b>	0.75

Además en dicho sistema, el tanque hidráulico necesita un mantenimiento adecuado, ya que se encuentra en un estado deficiente como se muestra en la figura 8.



**Figura 8:** Bomba y tanque con aceite en mal estado

### a.1 Rodillos de caucho agitador de tinta

El rodillo de la figura 9 es uno de los dos agitadores de tinta que tiene la impresora, y se encuentran con varias hendiduras a lo largo de su eje, razón por la cual necesita ser rectificado o sustituido por un rodillo nuevo.



**Figura 9:** Rodillo de caucho agitador de tinta

## **b. Sistema principal**

### **b.1 Motor de corriente continua**

El sistema principal consta de un motor de corriente continua como se muestra en la figura 10, el mismo que está deteriorado, donde principalmente el bobinado del rotor está quemado. Adicionalmente este motor no tiene ninguna tarjeta o controlador para variar sus RPM. Los datos importantes del motor están ubicados en la tabla 2. Por lo tanto, se va a cambiar dicho motor por uno de corriente alterna, que adicionalmente necesitará un variador de frecuencia para variar su velocidad.



**Figura 10:** Motor de corriente continua



**Tabla 2**  
Características del motor de corriente continua

<b>Voltaje armadura</b>	170 V
<b>Corriente armadura</b>	16 A
<b>Voltaje excitación</b>	190 V
<b>Corriente excitación</b>	0.47 A
<b>RPM</b>	2500 1/min
<b>Potencia</b>	2.75 Hp – 2.05 KW

### c. Sistema de secado

#### c.1 Motor

Este motor está montado sobre la máquina para enviar aire, para el proceso de secado. Las características técnicas del motor se mencionan en la tabla 3.

**Tabla 3**  
Características del motor eléctrico del sistema de secado

<b>Voltaje</b>	$\Delta$ 220V / 380V Y
<b>Corriente</b>	10.9 / 6.3 A
<b>RPM</b>	2870 1/min
<b>Potencia</b>	3KW / 4Hp
<b>Frecuencia</b>	60Hz
<b>Código</b>	B = 0.33
<b>Factor de potencia</b>	0.86

#### c.2 Niquelinas

Las niquelinas sirven para calentar el aire frío enviado por el motor, y de esta manera tener un proceso de secado rápido una vez impreso sobre el plástico. Actualmente se encuentran en buen estado.

### 1.3.2 Rebobinado

El rebobinado de material para la máquina flexográfica consta de un motor acoplado a una caja reductora y un circuito de control. Los mismos que se describen a continuación.

#### a. Motor

El motor es de corriente alterna y tiene las siguientes características que se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4**  
Características del motor del Rebobinado

<b>Voltaje</b>	380 V
<b>Corriente</b>	1,45 A
<b>RPM</b>	1350 1/min
<b>Potencia</b>	0,55 KW / 0.74 Hp
<b>Frecuencia</b>	60 Hz

Del motor antes descrito cabe mencionar que se encuentra su eje atrancado, razón por la cual necesita mantenimiento.

#### b. Reductor

La caja reductora acoplada al motor tiene por característica principal una reducción de 24,4 según su placa de características específicas como se muestra en la figura 11. Dicha caja está en óptimas condiciones.



**Figura 11:** Placa de características del reductor del Rebobinado

### c. Circuito de control



**Figura 12:** Tarjeta controladora del Rebobinado

El circuito de control consta de una tarjeta controladora como se muestra en la figura 1.12, la cual se energiza con un voltaje de 380 V en corriente alterna, la misma que permite variar el torque del motor antes mencionado y tener un control del mismo.

## 1.4 Marco teórico

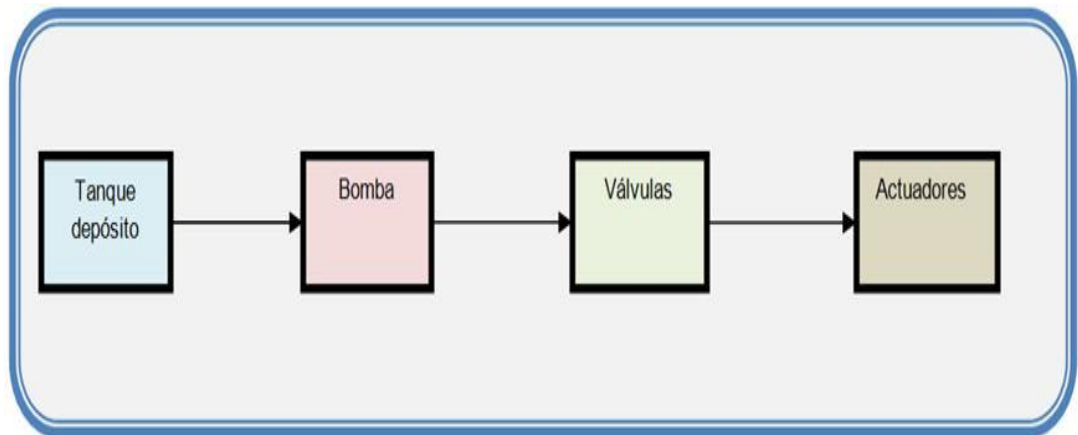
### 1.4.1 Sistemas hidráulicos

Normalmente en los sistemas hidráulicos, fluidos, ya sean de tipo líquidos o gases, se usan para transmitir señales y/o potencias. En estos sistemas donde se utiliza un fluido líquido se denominan sistemas hidráulicos.

De acuerdo con Castiñeria (2013):

Los circuitos hidráulicos básicos están formados por los cuatro componentes que se muestran en la Figura 13 y físicamente en la figura

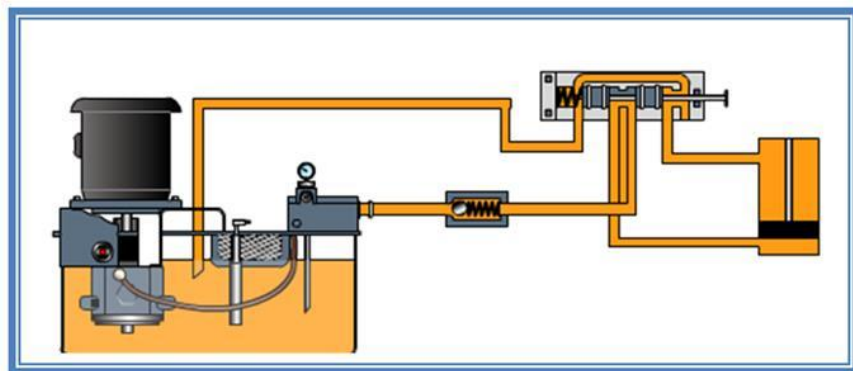
13: un depósito para guardar el fluido hidráulico, una bomba para forzar el fluido a través del circuito, válvulas para controlar la presión del fluido y su flujo, y uno o más actuadores que convierten la energía hidráulica en mecánica. Los actuadores realizan la función opuesta a la de las bombas. El depósito, la bomba, las válvulas de control y los actuadores son dispositivos mecánicos.



**Figura 13:** Componentes circuito hidráulico

**Fuente:** (Castiñeira, 2013)

En los circuitos hidráulicos como de la figura 14, el fluido es un líquido, que es capaz de transmitir presión a lo largo de un circuito cerrado (En los circuitos hidráulicos el líquido retorna al depósito después de realizar un trabajo).

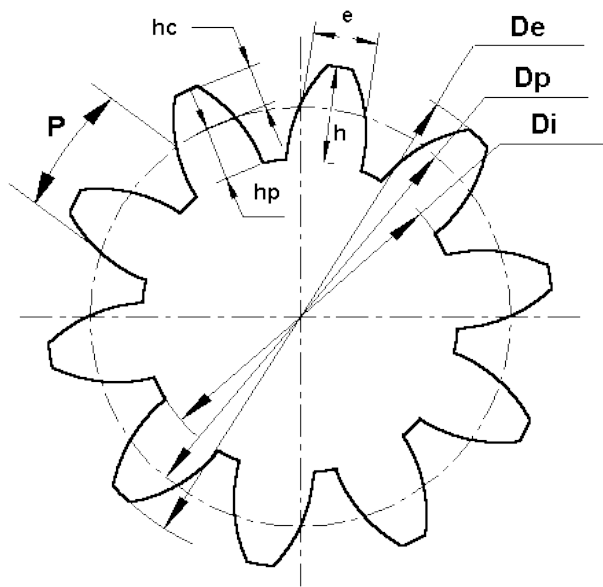


**Figura 14:** Circuito hidráulico

**Fuente:** (Castiñeira, 2013)

### 1.4.2 Engranajes cilíndricos de dentado recto

En la figura 15 se observa el diámetro exterior ( $D_e$ ) y diámetro primitivo ( $d_p$ ), parámetros importantes en los cálculos posteriores.



**Figura 15:** Engranaje del cilindro de caucho

**Fuente:** (Polamalu, S. A.)

Según (Larburu, 1990, pág. 322), las ecuaciones para encontrar el diámetro primitivo y diámetro exterior son las siguientes.

$$d_e = m (z + 2)$$

**Ec. 1.1.**

$$d_p = m * z$$

**Ec. 1.2.**

Donde,

$d_e =$  Diámetro exterior

$d_p = \text{Diámetro primitivo}$

$m = \text{Módulo}$

$z = \text{Número de dientes}$

**Tabla 5**  
Módulos y diametral Pitch

<b>MÓDULOS Y DIAMETRAL PITCH</b>										
<i>Módulos establecidos</i>										
Módulo	Preferente I	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5	6
		8	10	12	16	20	25	32	40	50
	Normal II	1,125	1,375	1,75	2,25	2,75	3,5	4,5	5,5	(6,5)
		7	9	11	14	18	22	28	36	45
Diametral Pitch	Preferente I	20	16	12	10	8	6	5	4	3
		2,50	2	1,50	1,25	1	0,75	0,625	0,50	
	Normal II	18	14	11	9	7	5,50	4,50	3,50	2,75
		2,25	1,75	0,875						

Fuente: (Larburu, 1990)

### 1.4.3 Sistema de control, actuadores y elementos de control

#### a. Sistema de control

Un sistema de control es un conjunto de componentes que se usa con el fin de lograr un funcionamiento determinado, permitiendo que no exista errores y que los resultados sean excelentes de acuerdo a su aplicación.

Normalmente los sistemas de control sustituyen un trabajo pasivo puede ser eléctrico, mecánico, etc., con un porcentaje de error igual 0%.

“Los sistemas de control deben conseguir los siguientes objetivos. Ser estables y robustos frente a perturbaciones y errores en los modelos, ser eficiente según un criterio preestablecido evitando comportamientos bruscos e irreales” (Rocha, 2011).

## b. Actuadores

“Los actuadores son dispositivos encargados de efectuar acciones físicas ordenadas por algún sistema de control. Los elementos de control son aquellos que permiten realizar la conexión y desconexión de los circuitos eléctricos. Los elementos de protección son dispositivos que evitan daños a una máquina herramienta” (Aguirre, 2008).

### b.1 Actuadores eléctricos

#### b.1.1 Motores eléctricos

“Los motores eléctricos son máquinas eléctricas que transforman energía eléctrica en energía mecánica por medio de campos electromagnéticos variables” (Bolaños, 2013). Algunos de los motores eléctricos son reversibles, esto quiere decir que pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica, y a esto se lo denomina como generadores. Su utilidad es diversa en el campo de la industria, la Figura 16 muestra los diferentes tipos de motores.



**Figura 16:** Tipos de motores

**Fuente:** (Dani, R., 2008).

## Tipos de Motores eléctricos

En los Motores Eléctricos – Tipos y fundamentos (2012), menciona los siguientes tipos:

- Motores de corriente alterna, se usan mucho en la industria, sobretodo, el motor trifásico asíncrono de jaula de ardilla.
- Motores de corriente continua, suelen utilizarse cuando se necesita precisión en la velocidad, montacargas, locomoción, etc.
- Motores universales. Son los que pueden funcionar con corriente alterna o continua, se usan mucho en electrodomésticos. Son los motores con colector.

### b.1.2 Motores de corriente continua vs motores de corriente alterna

Motores de CC/CD	Motores de CA
Es necesario aplicar corriente continua en el inducido y en el inductor (De ahí proviene su nombre).	Opera mediante la aplicación de corriente alterna (De ahí proviene su nombre).
Formado por dos circuitos eléctricos diferentes: Circuito magnético. Circuito de la armadura.	El rotor recibe una corriente inducida alterna.  El estator es un campo magnético inducido.
La velocidad aumenta con la tensión aplicada.	Para regular su velocidad de giro, se realiza a través de variadores electrónicos de frecuencia.
Par motor: proporcional a la corriente del inducido y al flujo del campo magnético del inductor.	Par motor: depende del campo giratorio.
Partes básicas: Inductor, inducido, colector.	Partes básicas: Estator y rotor.
Pierden velocidad de giro con la carga.	Pierden velocidad de giro con la carga.
Tiene velocidad variable.	Funcionan a velocidades fijas. No pueden operar a bajas velocidades.
Se pueden utilizar tanto para aplicaciones de baja potencia y de alta potencia.	<b>Son más baratos de fabricar.</b>
Se utilizan para alimentar dispositivos que requieren una entrada de potencia variable.	Son compatibles con la mayoría de los aparatos modernos, que cuentan con una fuente de energía de CA.
Son motores monofásicos.	Pueden ser monofásicos o trifásicos.
Se ven generalmente en aplicaciones en las que la velocidad del motor debe ser controlada externamente.	Funcionan mejor en aplicaciones que requieren el rendimiento de la potencia durante largos periodos de tiempo.
Tipos: De excitación Independiente. Autoexcitación.	Tipos: Motor de Inducción (Motor Asíncrono). Motor Síncrono.
Par de Arranque: Muy fuerte.	Par de Arranque: escaso.
Aplicaciones: Elevadores, Ferrocarriles...	Aplicaciones: Industria.
Para trabajo pesado.	Para trabajo con precisión.

**Figura 17:** Motores de corriente continua vs alterna

Fuente: Castillo, O. (2014)



En la figura 17 muestran un cuadro comparativo de características generales que tienen los motores de corriente alterna sobre los de corriente continua.

### **b.1.3 Ventaja de usar motores de corriente alterna sobre motores de corriente continua**

La publicación de Florea Adrián del 2015, las ventajas de uso de motores AC en lugar de DC son las siguientes:

- No requiere mantención de las escobillas y colector.
- Menor costo.
- No requiere compensación de reactivos en la red.
- Pueden ser monofásicos o trifásicos
- Junto con un variador de frecuencia son una solución más económica.

Por estas razones se ha considerado conveniente el cambio del motor DC en el sistema principal actual, por un motor AC para trabajo en conjunto con un variador de frecuencia.

### **b.1.4 Potencia mecánica de un motor eléctrico**

Según la publicación de la Empresa WEG (2007):

Un motor eléctrico es una máquina que transforma potencia eléctrica tomada de la red en potencia energía mecánica en el eje.

$$Potencia (P) = \frac{Torque(T) \times Velocidad(n)}{9550}$$

Despejando el torque se tiene,

$$\text{Torque}(T) = \frac{9550 \text{ Potencia } (P)}{\text{Velocidad}(n)}$$

**Ec. 1.3.**

Donde,

*P*, es la potencia motor, en KW;

*T*, es el par motor, en N · m;

*n*, son las revoluciones por minuto de giro del motor (r.p.m.)

### c. Elementos de control

Hay una gran variedad de elementos de control como los principales que se presentan a continuación.

#### c.1 Fusibles

**Tabla 6**

KVA por C. P. de los motores con rotor bloqueados

LETRA DE CLAVE	KVA POR CP CON ROTOR BLOQUEADO		LETRA DE CLAVE	KVA POR CP CON ROTOR BLOQUEADO	
A	0	3.14	L	9.0	9.99
B	3.15	3.54	M	10.0	11.19
C	3.55	3.99	N	11.2	12.49
D	4.0	4.49	P	12.5	13.99
E	4.5	4.99	R	14.0	15.99
F	5.0	5.59	S	16.0	17.99
G	5.6	6.29	T	18.0	19.99
H	6.3	7.09	U	20.0	22.39
J	7.1	7.99	V	22.4	Y MAS
K	8.0	8.99			

**Fuente:** (Enríquez Harper, Protección de Instalaciones Eléctricas Industriales y Comerciales, 2003)

“Las protecciones se deben dimensionar lo suficiente para soportar la corriente de arranque del motor, la misma que en su mayoría es de 4 y hasta 10 veces la corriente nominal o de operación del motor” (Enríquez Harper,

Protección de Instalaciones Eléctricas Industriales y Comerciales, 2003, pág. 254) basada en la letra de código de acuerdo a la tabla 6.

Los fusibles protegen a dispositivos contra cortocircuitos. Su selección depende de la corriente nominal del motor, según el Anexo B.

## c.2 Disyuntor

Según (Gerín, 2008) encontró lo siguiente:

El umbral de disparo magnético se situará entre 3 y 15 veces la corriente térmica  $I_{th}$  o corriente nominal  $I_n$ . Dicho valor será colocado como poder de corte, este poder de corte es el valor máximo estimado de corriente de cortocircuito que puede interrumpir un disyuntor con una tensión y en unas condiciones determinadas. Se expresa en kiloamperios eficaces simétricos. El poder de cierre es igual a  $k$  veces el poder de corte, según se indica en la tabla 7. (p. 13)

**Tabla 7**

Poder de Cierre en la selección del disyuntor

PdCo	$\cos \varphi$	PdCi
$4,5 \text{ kA} < \text{PdCo} \leq 6 \text{ kA}$	0,7	1,5 PdCo
$6 \text{ kA} < \text{PdCo} \leq 10 \text{ kA}$	0,5	1,7 PdCo
$10 \text{ kA} < \text{PdCo} \leq 20 \text{ kA}$	0,3	2 PdCo
$20 \text{ kA} < \text{PdCo} \leq 50 \text{ kA}$	0,25	2,1 PdCo
$50 \text{ kA} < \text{PdCo}$	0,2	2,2 PdCo

Fuente: (Gerín, 2008)

## c.3 Relé térmico

Como menciona (Enríquez Harper, Protección de Instalaciones Eléctricas Industriales y Comerciales, 2003, pág. 359) “en el ajuste de los relevadores es conveniente que el motor pueda soportar sobrecargas de tal magnitud y

duración que no lo dañen, para lo cual se recomienda una corriente de disparo entre el 115% y el 125% de la corriente nominal del motor”, así:

$$I_{min} = 1.15I_N$$

**Ec. 1.4.**

$$I_{máx} = 1.25I_N$$

**Ec. 1.5.**

Donde:

$I_{min}$  = corriente mínima de disparo del relé térmico

$I_{máx}$  = corriente máxima de disparo del relé térmico

$I_N$  = corriente nominal del motor

#### **c.4 Contactor**

Según Molina (2012) la definición de un Contactor sostiene tiene que:

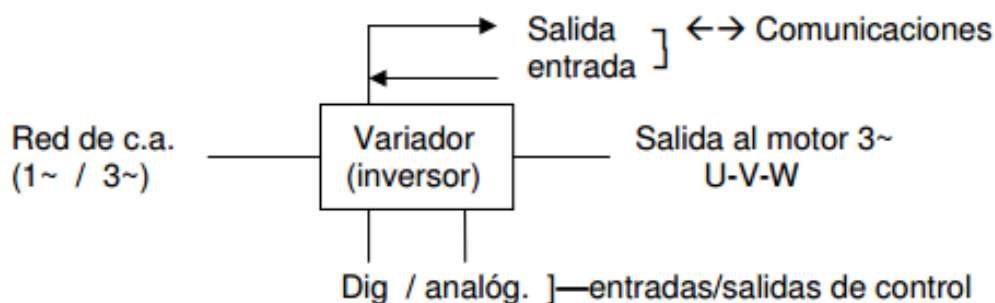
Es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación con la posibilidad de ser accionado a distancia, que tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable, cuando actúa dicha acción. Este tipo de funcionamiento se llama de "todo o nada".

#### **c.5 Variador de frecuencia**

##### **c.5.1 Definición**

“También llamados inversores o variadores de velocidad, son dispositivos electrónicos que permiten el control completo de motores eléctricos de inducción. Los hay de C.C. para variación de tensión, y de C.A. para variación de frecuencia” (Sevillano, 2010).

Constan de ciertos puertos principales que se muestran en la figura 18.



**Figura 18:** Partes principales del variador de frecuencia

**Fuente:** (Sevillano, 2010)

### c.5.2 Parámetros importantes en el variador de frecuencia

También en la investigación de Fernando Sevillano (2010), menciona puntos importantes para utilizar un variador de frecuencia:

- Red de suministro de alimentación
- Señales de salida: tensión e intensidad adecuada al motor
- Frecuencias de salida mínima y máxima
- Tiempo de aceleración y de parada
- Control del par inicial
- Protección térmica. Intensidad nominal, sobrecarga y rearme
- Visualización: indicaciones de la pantalla
- Señales de alarma y monitoreo
- Entradas/Salidas de control
- Elementos de control
- Ajuste de características del motor (auto tune)
- Calibración
- Borrado y reinicio de funciones y parámetros
- Comunicaciones

- Control mediante bucle PI, PID, etc.
- Operación sobre varios motores

### **c.5.3 Ventajas en el uso de variadores de frecuencia**

El autor Fernando Sevillano (2010), menciona que las ventajas son las siguientes:

- Evita picos o puntas de intensidad en los arranques del motor.
- El par se controla totalmente a cualquier velocidad, lo que evita saltos o bloqueos del motor ante la carga.
- No tiene factor de potencia (cos  $\phi = 1$ ), evitando así el uso de baterías de condensadores y el consumo de energía reactiva, lo que genera ahorro económico.
- Comunicación mediante bus industrial, lo que permite conocer en tiempo real el estado del variador y el motor, así como el historial de fallos para facilitar el mantenimiento.
- Los arranques y paradas son controlados, y suaves, sin movimientos bruscos.
- Protege completamente el motor, el variador y la línea.
- El consumo energético se adapta a la exigencia del motor.
- Mediante contactores externos de puente se puede utilizar un solo variador para el control secuencial de varios motores, tanto en arranque como en parada.

### **c.5.4 Desventajas**

- La instalación, programación y mantenimiento, debe ser realizada por personal cualificado.
- Si no está bien aislado con filtros o instalado, puede derivar ruidos e interferencias en la red eléctrica, que podrían afectar a otros elementos

electrónicos cercanos.

- Para aplicaciones sencillas puede suponer mayor inversión, que un sistema simple de contactor-Guardamotor.
- Las averías del variador, no se pueden reparar, a menos que sea enviado a servicio técnico de fábrica. Mientras tanto debe disponerse de otro variador equivalente, o dejar la instalación sin funcionamiento.

### c.6 Conductores

De acuerdo a (Enríquez Harper, Guía Práctica para el Cálculo de Instalaciones Eléctricas, 2002, pág. 237) menciona lo siguiente:

Para la alimentación de un solo motor los conductores se dimensionan tomando el 125% de la corriente nominal. Cuando se trata de alimentar más de un motor las NTI (Normas Técnicas de Interoperabilidad) establecen que el calibre del conductor alimentador para dos o más motores, se calculen para el siguiente valor de corriente:

$$I = 1.25 \times I_N(\text{Motor Mayor}) + \text{Suma } (I_N \text{ de otros motores})$$

**Ec. 1.6.**

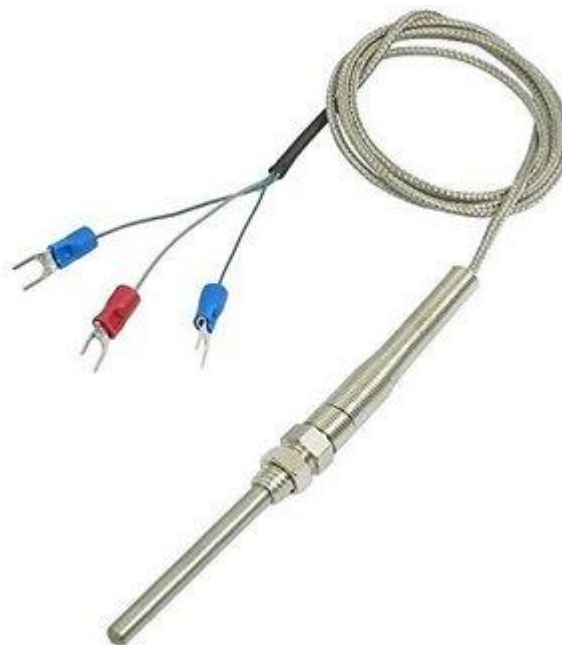
Donde:

$I$  = corriente del conductor

$I_N$  = corriente nominal del motor

### d. PT100 - Dispositivo Termo Resistivo (RTD)

“Un Pt100 es un tipo particular de RTD. Un Pt100 es un sensor de temperatura. Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica” (ARIAN, 2011).



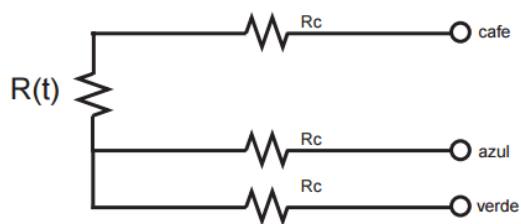
**Figura 19: Pt100**

**Fuente:** (ARIAN, 2011)

Las termocuplas J y K son económicas, físicamente muy rígidas y cubren un amplio rango de temperaturas (-180 a 1370 °C).

#### **d.1 Pt100 de 3 hilos**

“El único requisito es que los tres cables tengan la misma resistencia eléctrica pues el sistema de medición se basa (casi siempre) en el "puente de Wheatstone" (ARIAN, 2011).



**Figura 20: Pt100 de 3 hilos**

**Fuente:** (ARIAN, 2011).



### **e. Controlador Lógico Programable - PLC**

Según la publicación de la autora Prieto, (2007):

El PLC es un dispositivo de estado sólido, diseñado para controlar procesos secuenciales (una etapa después de la otra) que se ejecutan en un ambiente industrial. Es decir, que van asociados a la maquinaria que desarrolla procesos de producción y controlan su trabajo.

Un PLC realiza, entre otras, las siguientes funciones:

- Recoger datos de las fuentes de entrada a través de las fuentes digitales y analógicas.
- Tomar decisiones en base a criterios preprogramados.
- Almacenar datos en la memoria.
- Generar ciclos de tiempo.
- Realizar cálculos matemáticos.
- Actuar sobre los dispositivos externos mediante las salidas analógicas y digitales.
- Comunicarse con otros sistemas externos.

### **f. Touch panel**

Según la Empresa SIEMENS (2015), menciona lo siguiente:

La funcionalidad del hardware es idéntica en una misma familia de aparatos. Gracias a la visualización, la calidad del proceso mejora considerablemente en instalaciones compactas y pequeñas aplicaciones. Así, los SIMATIC HMI Basic Panels 2nd Generation

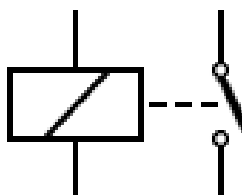
con todas las funciones básicas de HMI abren nuevos caminos para el manejo y visualización en el sector de la maquinaria industrial y a un precio muy atractivo.



**Figura 21:** Paneles HMI

**Fuente:** (SIEMENS, 2015)

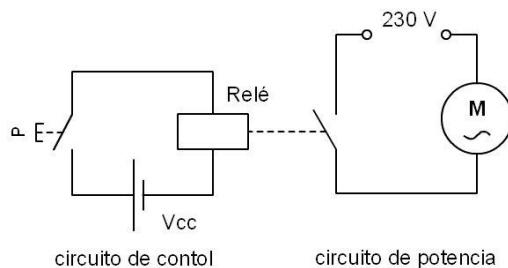
#### g. Relé



**Figura 22:** Simbología del relé

**Fuente:** (SEE, S. A.)

Es un elemento cuya su simbología se muestra en la figura 22 y que está compuesto por dos partes, una bobina que crea un campo electromagnético y contactos que son accionados por este gracias a un mecanismo de palancas. Permite gobernar circuitos a distintas tensiones y de distintos tipos de corriente, y su esquema de conexión es el mostrado en la figura 23.



**Figura 23:** Esquema de conexión del relé

**Fuente:** (TEKNOLANAK, S. A.)

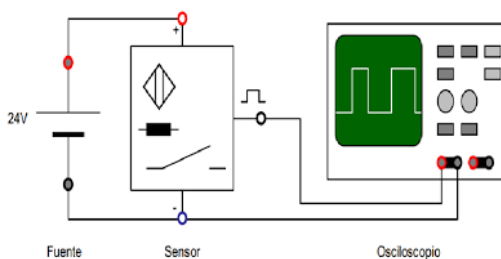
#### h. Sensor inductivo



**Figura 24:** Sensor inductivo

**Fuente:** (Zenso, S. A.)

Son dispositivos electrónicos que transmiten información cuando se acerca un objeto metálico a su cara sensible. El sensor genera una señal de salida, equivalente a un contacto abierto o cerrado como lo indica su esquema de conexión de la figura 25.



**Figura 25:** Esquema de conexión del sensor inductivo

**Fuente:** (Rojas, J., 2011)

#### 1.4.4 Diseño de sistema de transmisión

##### a. Diseño de transmisión de cadenas

##### a.1 Potencia de diseño

La potencia de diseño  $P_d$  se la determina con la ecuación 1.4

$$P_d = P_{motor} * Factor\ de\ servicio$$

**Ec. 1.7.**

Donde el factor de servicio es seleccionado según la tabla 1.8 dependiendo del tipo de carga y el tipo de impulsor.

**Tabla 8**

Factores de servicio para impulsores de cadena

Tipo de carga	Tipo de impulsor		
	Impulsor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión integral con impulsor mecánico
Ligera (agitadores, ventiladores, transportadores que se someten a la acción uniforme de cargas ligeras)	1.0	1.0	1.2
Choque moderado (herramientas mecánicas, grúas, transportadores pesados, mezcladoras y molidoras de alimentos)	1.2	1.3	1.4
Choque pesado (prensas de punzón, molinos de martillo, transportadores recíprocos, impulsor de molino giratorio)	1.4	1.5	1.7

Fuente: (Mott, 2006)

##### b. Engranajes

Según (Shigley & Mischke, 2012, pág. 623) sostiene lo siguiente:

Considerando un piñón 1 como impulsor de un engrane 2, la velocidad

del impulsado es:

$$n_2 = \frac{N_1 n_1}{N_2}$$

**Ec. 1.8.**

$$N_1 n_1 = n_2 N_2$$

Donde:

$N_1$ : Número de dientes del engrane impulsor

$n_1$ : Número de vueltas o rpm del engrane impulsor

$N_2$ : Número de dientes del engrane impulsado

$n_2$ : Número de vueltas o rpm del engrane impulsado

### c. Poleas

Como menciona (Mott, 2006, pág. 269):

La relación de velocidades de las poleas motriz y conducida es inversamente proporcional a la relación de los diámetros, por lo tanto la relación de velocidades angulares es:

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

**Ec. 1.9.**

$$D_1 w_1 = D_2 w_2$$

Donde:

$D_1$ : Diámetro de la polea motriz

$w_1$ : Número de vueltas o rpm de la polea motriz

$D_2$ : Diámetro de la polea conducida

$w_2$ : Número de vueltas o rpm de la polea conducida

#### d. Torsión

Según el libro del autor (Shigley & Mischke, 2012, pág. 97) toma en cuenta lo siguiente:

Cualquier vector momento que sea colineal con un eje de un elemento se llama vector par de torsión, ya que dicho momento provoca que el elemento tienda a torcerse con respecto a ese eje. El par de torsión  $T$  correspondiente a la potencia en watts se obtiene con la siguiente ecuación:

$$T = 9.55 \frac{H}{n}$$

**Ec. 1.10.**

Donde:

$T$ : Par de torsión

$H$ : Potencia en Watts

$n$ : Revoluciones por minuto

#### 1.4.5 Diseño de estructuras - columnas

Hay ciertos parámetros en diseño de columnas que necesitan ser tomados en cuenta como el pandeo. Según (Mott, 2006) “una columna se pandea dependiente la forma y las dimensiones de su sección transversal, junto con su longitud y la manera en que se une a piezas o soportes adyacente”.

$$L_e = K L$$

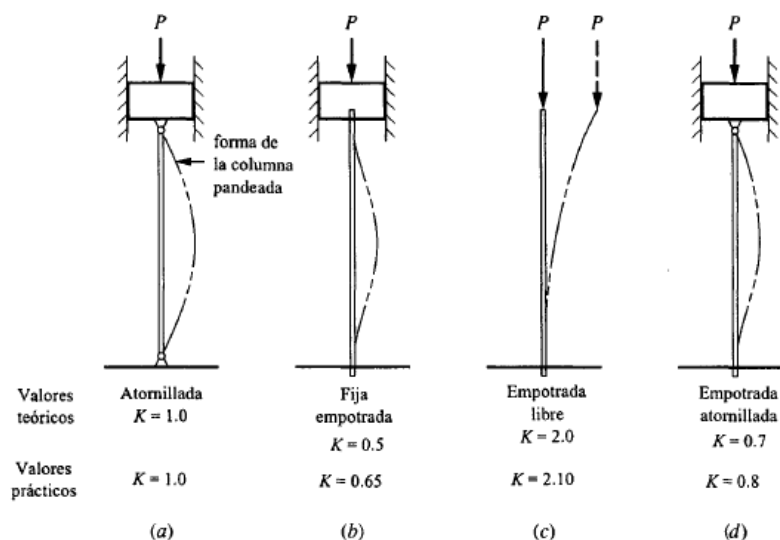
**Ec. 1.11.**

Donde:

$L_e$ : Longitud efectiva

$K$ : Constante para diferentes conexiones de extremos

$L$ : Longitud de la columna



**Figura 26:** Valores de  $K$  para longitud efectiva,  $L_e = K L$  para diferentes conexiones en los extremos

Fuente: (Mott, 2006)

### a. Diseño de columnas con carga excéntrica

Según el autor (Mott, 2006):

Una carga excéntrica es aquella que se aplica lejos del eje centroidal de la sección transversal de la columna como muestra la figura 27. La tensión o esfuerzo máximo en la columna deflexionada se presenta en las fibras que están más hacia fuera de la sección transversal en el punto medio de la columna en el que se genera la deflexión máxima  $Y_{máx}$ . La flexión en este punto es  $\sigma$ . Para cualquier carga aplicada  $P$ .

$$\sigma = \frac{P}{A} \left[ 1 + \frac{e c}{r^2} \sec \left( \frac{L e}{2r} \sqrt{\frac{P}{A E}} \right) \right]$$

**Ec. 1.12.**

Donde:

$\sigma$  = Flexión

$P$  = Carga

$A$  = Área

$e$  = Excentricidad

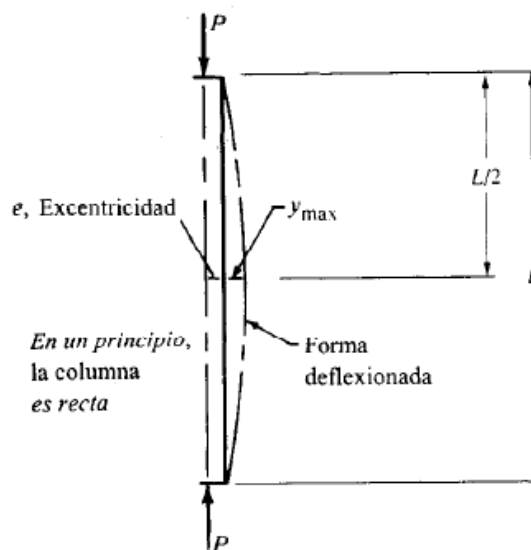
$c$  = Distancia al centro de gravedad

$r$  = Radio de giro

$L_e$  = Longitud efectiva

$E$  = Módulo de elasticidad

Para el parámetro  $c$ , tomar en cuenta la figura 28.



**Figura 27:** Columna Excéntrica

Fuente: (Mott, 2006)



Otro factor crítico puede ser la cantidad de deflexión del eje de la columna debida a la carga excéntrica.

$$y_{max} = e \left[ \sec \left( \frac{Le}{2r} \sqrt{\frac{P}{AE}} \right) - 1 \right]$$

**Ec. 1.13.**

Donde,

$y_{max}$  = Deflexión máxima

$e$  = Excentricidad

$Le$  = Longitud efectiva

$P$  = Carga

$A$  = Área

$E$  = Módulo de elasticidad

$r$  = Radio de giro

En el radio de giro únicamente interviene la inercia y el área de la sección transversal.

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

**Ec. 1.14.**

Donde:

$k$  = Radio de giro

$A$  = Área

$I = \text{Inercia}$

La inercia en una sección transversal cuadrada es la siguiente:

$$I = \frac{b^4}{12}$$

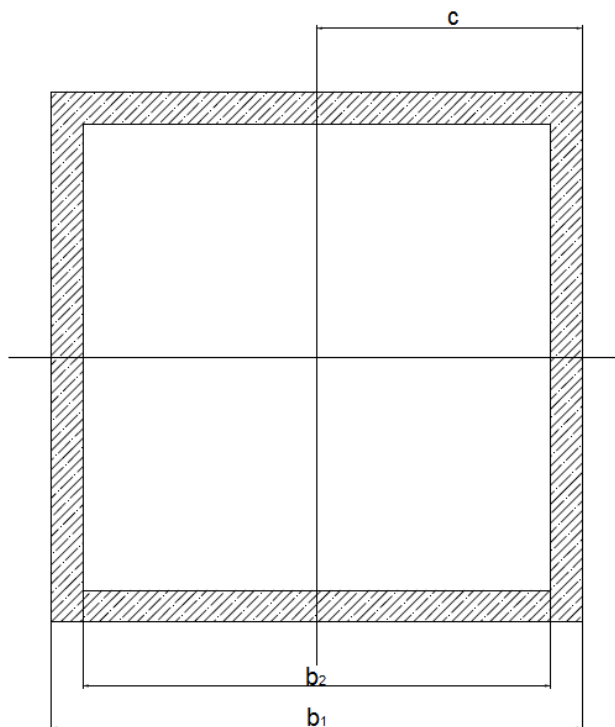
Pero por ser una sección cuadrada hueca (figura 28), se muestra de la siguiente manera:

$$I = \frac{b_1^4}{12} - \frac{b_2^4}{12}$$

**Ec. 1.15.**

Donde:

$I = \text{Inercia}$



**Figura 28:** Inercia de la sección transversal

### 1.4.6 Esfuerzo por flexión en vigas

El autor (Mott, 2006, pág. 105) menciona lo siguiente:

Una viga es un elemento que soporta cargas transversales a su eje, las mismas que le producen momentos de flexión y causan el desarrollo de esfuerzos de flexión normales de tensión o compresión. La fórmula de flexión viene dada como:

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo

$M$ : Magnitud del momento de flexión en la sección

$c$ : Distancia del eje neutro a la fibra más alejada, en la sección transversal de la viga.

$I$ : Momento de inercia del área transversal con respecto a su eje neutro.

Para el diseño es conveniente definir el término de módulo de sección  $S$ , como:

$$S = \frac{I}{c}$$

Entonces, la fórmula de flexión se transforma en:

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

**Ec. 1.16.**

$S$  es propiedad geométrica del área transversal de la viga debido a que  $I$  y  $c$  también lo son. Entonces en el diseño se acostumbra a definir un esfuerzo de diseño  $\sigma_d$ , y si se conoce el momento de flexión se despeja  $S$  para mostrar el valor requerido del módulo de sección, a partir del cual se pueden determinar las dimensiones necesarias de la viga:

$$S = \frac{M}{\sigma_d}$$

### 1.4.7 Factor de diseño

Según el libro (Mott, 2006, pág. 185) dice que:

El factor de diseño es una medida de la seguridad relativa de un componente bajo la acción de una carga, cuyo valor cuando no se cuenta con códigos o normas deberá ser seleccionado razonablemente para un determinado caso de acuerdo a los siguientes lineamientos:

#### Materiales Dúctiles

1.  $N=1.25$  a  $2.0$ . El diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos de diseño.
2.  $N=2.0$  a  $2.5$ . Diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño.
3.  $N=2.5$  a  $4.0$ . Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.
4.  $N=4.0$  o más. Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a

alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente.

### **Materiales Frágiles:**

1.  $N= 3.0$  a  $4.0$ . Diseño de estructuras bajo cargas estáticas donde haya un alto grado de confianza en todos los datos de diseño.
2.  $N=4.0$  a  $8.0$ . Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de cargas, propiedades de materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.

### **Método de resistencia de fluencia para esfuerzos uniaxiales normales estáticos**

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

**Ec. 1.17.**

Donde:

$\sigma$ : *esfuerzo normal aplicado*

$\sigma_d$  = *esfuerzo de diseño*

$N$  = *factor de diseño*

## CAPÍTULO II

### DISEÑO Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS

#### 2.1 Características preliminares

Uno de los aspectos principales a considerar en este capítulo es la implementación de dispositivos en el control, que permitan la variación de velocidad en el sistema principal, para que así al trabajar conjuntamente con el resto de sistemas de la máquina, la impresora pueda cumplir con su función correctamente. Además se tiene en cuenta que ésta impresora flexográfica es una máquina de impresión en línea.

Otros parámetros a considerar son los voltajes y corrientes de trabajo de cada elemento a utilizar, con el fin de no afectar su funcionamiento, y evitar daños en los mismos.

El sistema mecánico es analizado, considerando la estructura como columna y como viga en voladizo, tomando en cuenta el peso del material a ser impreso en su máxima carga y del eje a utilizar para evitar daños en la misma, realizando los cálculos mecánicos correspondientes y haciendo uso de herramientas computacionales como son el software MDSolids y SolidWorks para tener mayor exactitud en su estudio.

Además se toma en cuenta el sistema mecánico que posee la máquina, considerando el trabajo en conjunto del material con los rodillos como un sistema de poleas, con el fin de verificar si son óptimos para el trabajo asignado, y para su posterior implementación en la industria.

Adicionalmente se muestra el nuevo diagrama de flujo en el Anexo A para su mayor comprensión en toda la etapa de diseño.

## 2.2 Rectificación de rodillo de caucho agitador de tinta

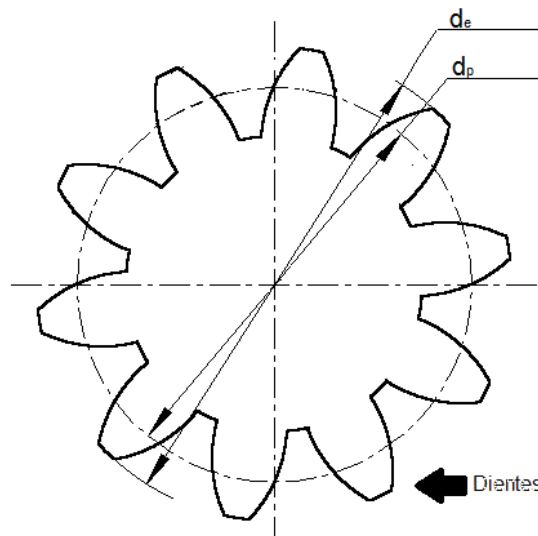
En los cilindros de caucho se observa varias hendiduras entre  $2mm$  y  $5mm$  en el primer cilindro, y en el segundo cilindro existen hendiduras entre  $4mm$  y  $7mm$ , las cuales necesitan ser rectificadas pero todo depende si la medida del diámetro del cilindro es mayor que el diámetro primitivo del engranaje.

Como dato se tiene el diámetro actual del rodillo de caucho ( $d$ ), medido con un calibrador. En segundo lugar se toman en cuenta los datos del engranaje que son el número de dientes ( $z$ ) y se mide el diámetro exterior ( $d_e$ ). Ver figura 29.

$$d = 111 \text{ mm}$$

$$z = 35$$

$$d_e = 117 \text{ mm}$$



**Figura 29:** Engrane del rodillo agitador de tinta

Una vez encontrado determinado lo anteriormente mencionado, se procede a calcular y escoger el módulo  $m$ , de la tabla 5. Es importante decir y tomar en cuenta que las unidades deben estar en  $mm$ .

Despejando el módulo de la Ecuación 1.1 se tiene:

$$m = \frac{d_e}{z + 2}$$

$$m = \frac{117 \text{ mm}}{35 + 2} = \frac{117 \text{ mm}}{37}$$

$$m = 3.16$$

Según la tabla 2.1, el valor cercano al módulo calculado es  $m = 3$ . Con el dato del módulo se calcula el diámetro primitivo a través de la Ecuación 1.2.

$$d_p = 3(35)$$

$$d_p = 105 \text{ mm}$$

Finalmente, para poder rectificar el diámetro del rodillo de caucho ( $d$ ), tiene que ser mayor que el diámetro primitivo calculado ( $d_p$ ).

$$d > d_p \quad OK$$

$$111 \text{ mm} > 105 \text{ mm}$$

Por lo tanto, si se cumple la condición y es factible rectificar uno de los rodillos de caucho. El otro, debido a que posee hendiduras mayores a  $6 \text{ mm}$  debe ser sustituido por uno nuevo, puesto que afectarán el proceso de impresión,

### 2.3 Diseño del sistema mecánico - desbobinado

El diseño mecánico se lo realiza mediante cálculos y análisis, haciendo que el mismo sea seguro para ser implementado.



### 2.3.1 Parámetros de diseño del desbobinado

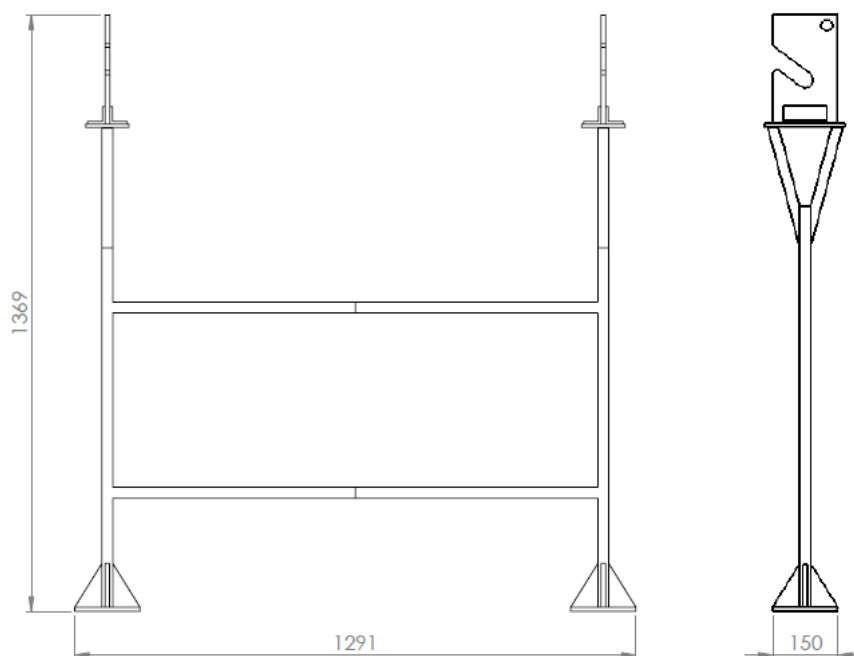
El desbobinado es una parte esencial de la máquina, ya que de ella parte todo el proceso en la impresión.

#### a. Dimensionamiento del desbobinado

El dimensionamiento del desbobinado (figura 30) viene dado por la siguiente justificación:

- Altura: 1369 mm. Dicha altura se toma en cuenta donde el plástico pase libremente hacia la impresora.
- Ancho: 1291 mm. Ésta medida se registra de acuerdo al mismo ancho de la máquina.

Además cabe indicar que el desbobinado es colocado a una distancia prudente con respecto a la impresora.



**Figura 30:** Dimensionamiento desbobinado (Unidades en mm)

## b. Características del material

Del libro de (Shigley & Mischke, 2012, pág. 412) se toma el valor del Módulo de elasticidad para el acero estructural A500 del Anexo C y del Manual de diseño para la Construcción (Anexo D) se toma el esfuerzo a la fluencia.

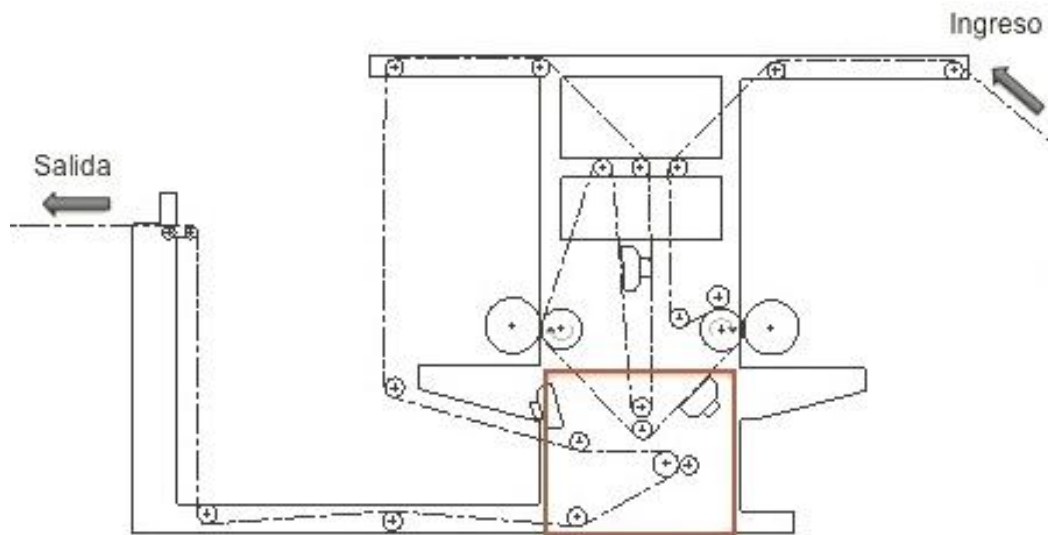
$$E = 207 \text{ GPa} = 30 \text{ Mpsi}$$

$$S_y = 315 \text{ MPa} = 46 \text{ Ksi}$$

### 2.3.2 Diseño del eje a usar para el desbobinado de material

El análisis estructural se lo ejecutará a través del uso de software CAE en lo que respecta a cálculos de momento flexionante y esfuerzo cortante; además mediante el uso de dichos software, para establecer si el factor de seguridad calculado en el eje cumple las expectativas para soporte del rollo de plástico.

#### a. Diseño del sistema de transmisión de engranes



**Figura 31:** Rodillos ubicados en la parte interior de la máquina

En la figura 31 se muestra el ingreso y la salida del material en la máquina, sección marcada es la ubicación del sistema de transmisión de engranes de la

figura 7 sobre el que realizará el análisis, empezando desde el ubicado en el eje de la salida reductor del sistema principal.

Para ello se requiere de ciertos datos como son las revoluciones por minuto y la potencia del motor en el sistema principal, ya que éste es el encargado de halar el material desde el desbobinado, además la relación de transmisión del reductor y las revoluciones por minuto que este brinda, siendo calculadas a continuación:

*revoluciones por minuto del motor:*  $n_{motor} = 1735 \text{ rpm}$

*relacion de transmision del reductor:*  $r = 1: 20$

$$n_r = \frac{1735 \text{ rpm}}{20}$$

$$n_r = 86.75 \text{ rpm}$$

En lo que respecta a la potencia del motor en el sistema principal se conoce que es de 4 hp por lo que su valor en KW sería:

$$P_{motor} = 4 \text{ hp}$$

$$P_{motor} = 4 \text{ hp} * \frac{746 \text{ W}}{1 \text{ hp}}$$

$$P_{motor} = 2.984 \text{ KW}$$

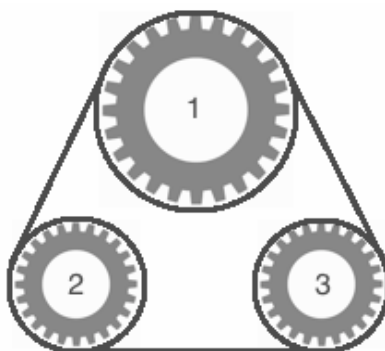
A partir de este dato se puede establecer la potencia para la que fue diseñada la máquina por medio de la tabla 8, que muestra el factor de servicio para impulsores de cadena según el tipo de carga y el tipo de impulsor. En este caso se selecciona para carga ligera y motor eléctrico como impulsor, siendo 1.0 el factor de servicio.

Por lo tanto la potencia de diseño  $P_d$  se la determina con la ecuación 1.7.

$$P_d = 2.984 \text{ KW} * 1.0$$

$$P_d = 2.984 \text{ KW}$$

El sistema de transmisión de engranes cuenta con varios segmentos de cadena, por lo tanto, el análisis es realizado por separado para obtener las revoluciones por minuto de cada engrane. Es así, que la figura 32 muestra el primer segmento, en donde el engrane 1 corresponde al situado en el eje de la salida del reductor, y los engranes 2 y 3 corresponden a dos rodillos situados al interior de la máquina. Por lo tanto, se consideran los 86.75 *rpm* del reductor como las revoluciones por minuto del engrane 1.



**Figura 32:** Engranajes 1, 2 y 3 del sistema de transmisión

**Tabla 9**

Datos de engranes 1, 2 y 3 del sistema de transmisión

Engrane	Número de dientes	Velocidad de giro [rpm]
1	31	86.75
2	19	-
3	19	-

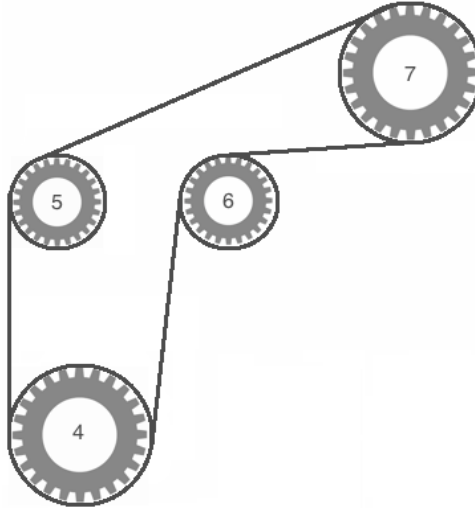
Una vez establecidos los datos iniciales de la tabla 9, se procede a realizar el cálculo con la ecuación 1.8, donde reemplazando los datos se obtiene la cifra de revoluciones por minuto del engrane 2 y 3 debido a que poseen la misma cantidad de número de dientes  $Z$ .

$$N_1 n_1 = N_2 n_2$$

$$(31)(86.75 \text{ rpm}) = (19) n_2$$

$$n_2 = 141.54 \text{ [rpm]}$$

$$n_2 = n_3$$



**Figura 33:** Engranajes del 4 al 7 del sistema de transmisión

En la figura 33 se tiene el siguiente segmento a analizar, donde el engrane 4 corresponde al ubicado en el eje de la salida del reductor, por lo tanto se considera su velocidad de giro de  $86.75 \text{ rpm}$ .

**Tabla 10**

Datos de engranes del 4 al 7 del sistema de transmisión

Engrane	Número de dientes	Velocidad de giro rpm
4	31	86.75
5	18	-
6	18	-
7	28	-

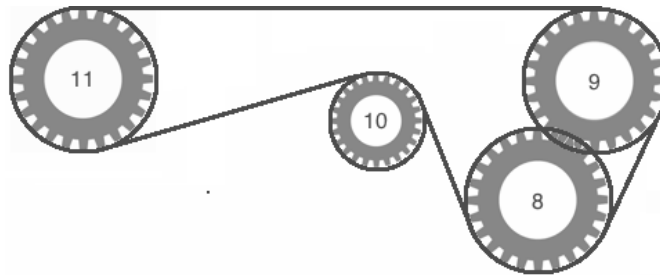
Según la tabla 10 se tiene que los engranes 5 y 6 poseen la misma cantidad de número de dientes, por lo que las revoluciones por minuto en ambos serán

del mismo valor. El mismo que se muestra a continuación al aplicar la ecuación 1.8 y reemplazar los datos correspondientes.

$$\begin{aligned}
 N_4 n_4 &= N_5 n_5 \\
 (31)(86.75 \text{ rpm}) &= (18)n_5 \\
 n_5 &= 149.40 \text{ rpm} \\
 n_5 &= n_6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_6 n_6 &= N_7 n_7 \\
 (18)(149.40 \text{ rpm}) &= (28)n_7 \\
 n_7 &= 96.04 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

El segmento consecutivo a analizar se observa en la figura 34, en donde el engrane 8 está ubicado en el mismo eje del engrane 7, por lo que se considera su velocidad de giro de 96.04 rpm.



**Figura 34:** Engranajes del 8 al 11 del sistema de transmisión

Para el diseño del sistema de transmisión de poleas se necesita el valor de las revoluciones por minuto del engrane 9, que como indica la tabla 12 de datos los engranes 8, 9 y 11 poseen la misma cantidad de número de dientes, por lo tanto revoluciones por minuto en estos engranes serán del mismo valor, y se obtienen aplicando la ecuación 1.8.

$$\begin{aligned}
 N_8 n_8 &= N_9 n_9 \\
 (22)(96.04 \text{ rpm}) &= (22)n_9
 \end{aligned}$$

$$n_9 = 96.04 \text{ rpm}$$

$$n_8 = n_9 = n_{11}$$

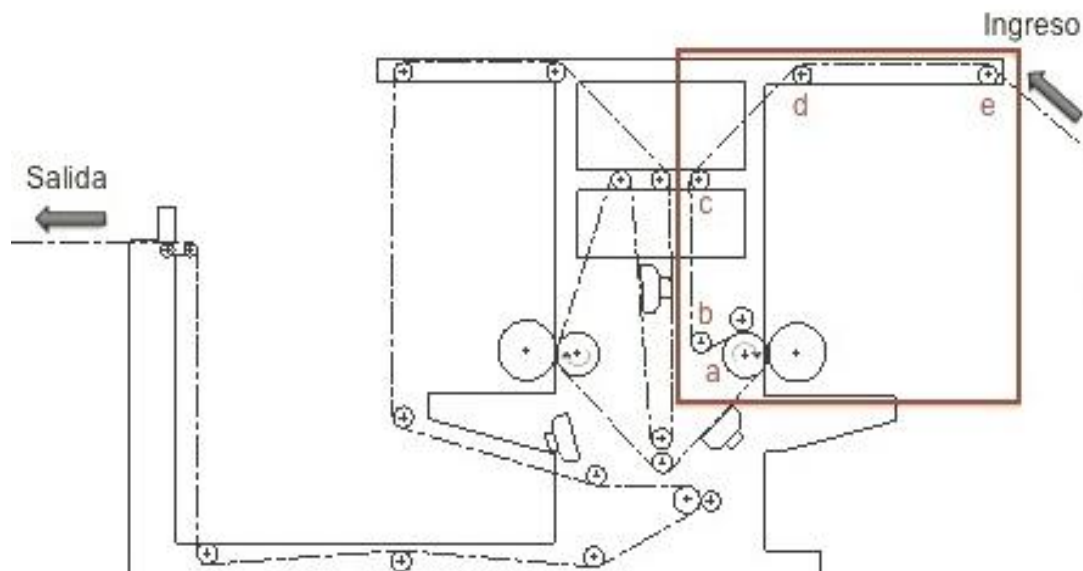
**Tabla 11**

Datos de engranes del 8 al 11 del sistema de transmisión

Engrane	Número de dientes	Velocidad de giro rpm
8	22	96.04
9	22	-
10	18	-
11	22	-

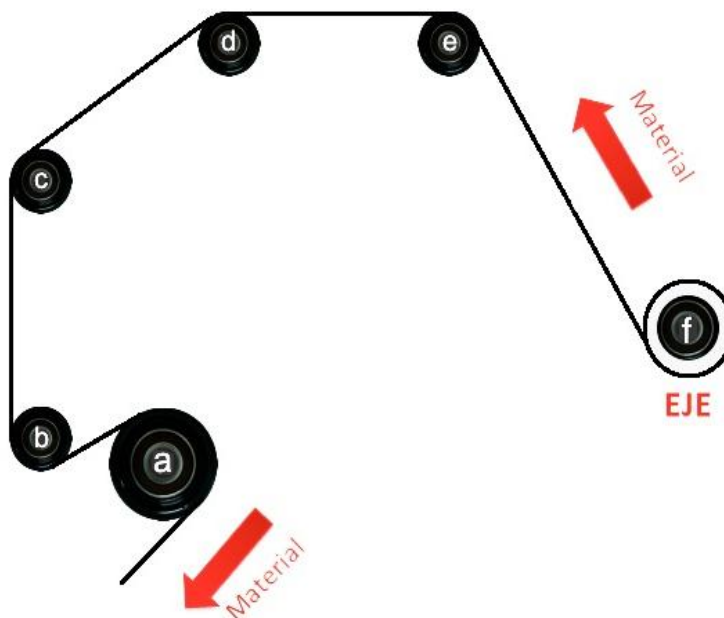
**b. Diseño del sistema de transmisión de poleas**

La sección marcada en la figura 35 corresponde a la parte a analizar como sistema de transmisión de poleas y su respectivo orden, que en este caso son los rodillos ubicados en la máquina, con el fin de poder determinar la velocidad de giro de los mismos al transportar el material desde el desbobinado.



**Figura 35:** Sistema de transmisión de poleas

La figura 36 muestra esta secuencia, en donde de la “a” a la “e” representan los rodillos ubicados en la máquina y la “f” al eje a ser ubicado en el desbobinado.



**Figura 36: Poleas**

**Tabla 12**

Datos de las poleas

Rodillo	Perímetro [cm]	Velocidad de giro [rpm]
a	58	96.04
b	25.2	-
c	25.2	-
d	25.2	-
e	25.2	-

De acuerdo a la tabla 12 se tienen los datos de cada rodillo. Debido a que la polea “a” corresponde al rodillo ubicado en el mismo eje del engrane 9, su



velocidad de giro será la misma, es decir, el  $n_g$  calculado en la sección de análisis de engranajes, cuyo valor es 96.04 [rpm]. Además, para el análisis respectivo es preciso obtener los valores de diámetros a partir de los perímetros.

$$D_a = \frac{58 [cm]}{\pi} = 18.46 [cm]$$

$$D_b; D_c; D_d; D_e = \frac{25.2 [cm]}{\pi} = 8.02 [cm]$$

Por lo que reemplazando los datos se obtiene que el diámetro de la que viene siendo la polea “a” es de 18.46 [cm] y de las restantes “b”, “c”, “d”, “e” es 8.02 [cm]. Cifras necesarias para determinar la velocidad de giro con la ecuación..., donde como se indica a continuación, al reemplazar los datos se obtienen las revoluciones por minuto de las poleas “b”, “c”, “d” y “e” debido a que su diámetro es el mismo.

$$D_a w_a = D_b w_b$$

$$(18.46)(96.04 [rpm]) = (8.02)w_b$$

$$w_b = 221.06 [rpm]$$

$$w_b = w_c = w_d = w_e$$

Según lo mencionado anteriormente, se analiza el eje a usar en el desbobinado.

## EJE

Se realizará el análisis de factor de diseño con el fin de conocer su utilidad en el sistema. También cabe mencionar, que como se muestra en la figura 2.8 este eje pasa a ser la polea “f”.

Como dato del eje se tiene el perímetro cuyo valor es de 19.1 cm, que al hallar el diámetro sería:

$$Pe_f = 19.1 [cm]$$

$$D_f = \frac{Pe_6}{\pi}$$

$$D_f = \frac{19.1 [cm]}{\pi} = 6.08 [cm]$$

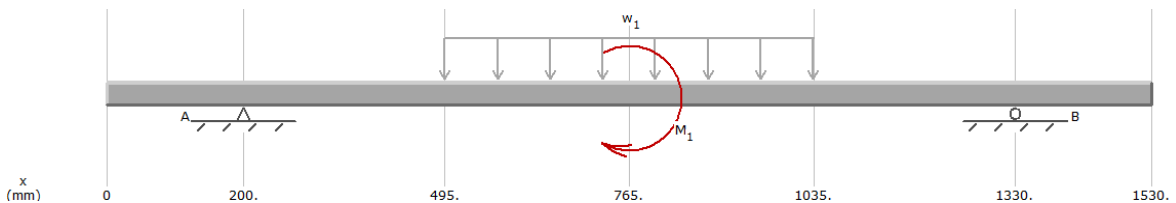
Dato necesario al aplicar la ecuación 2.12 para determinar su velocidad de giro.

$$N_e n_e = N_f n_f$$

$$(8.02)(221.06 [rpm]) = (6.08)n_f$$

$$n_f = 291.6 [rpm]$$

Una vez obtenido este dato se establece el diagrama de cuerpo libre mostrado en la figura 37, donde se observa la carga distribuida aplicada, los apoyos y el par de torsión.



**Figura 37:** Diagrama de cuerpo libre eje

Se procede a calcular el par de torsión provocado en el eje del desbobinado debido al movimiento del material, con la ecuación 1.10.

$$T = 9.55 \frac{2.984 \text{ KW}}{291.6 \text{ rpm}}$$

$$T = 9.55 \frac{2984 \text{ W}}{291.6 \text{ rpm}}$$

$$T = 97.73 \text{ N m}$$

Para calcular el valor de la carga distribuida uniforme se cuenta con los siguientes datos:

Largo del material:  $L_{material} = 0.54 \text{ m}$

Masa del material:  $m_{material} = 60 \text{ kg}$

Por lo tanto el peso del material es:

$$P_{material} = 60 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}$$

$$P_{material} = 588 \text{ N}$$

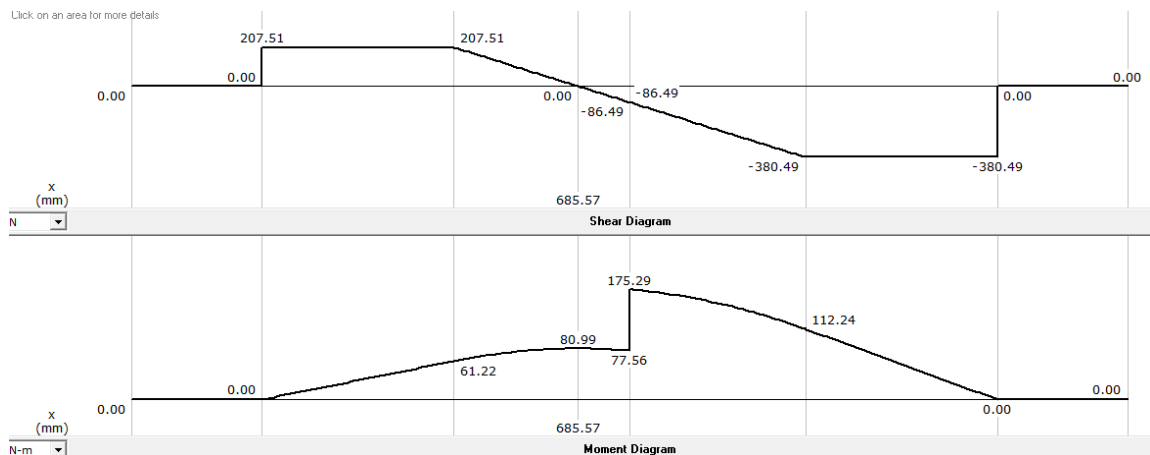
Por lo que, al reemplazarlos en la ecuación 2.14 se tiene que la carga  $W_1$  es:

$$W_1 = \frac{P_{material}}{L_{material}}$$

$$W_1 = \frac{588 \text{ N}}{0.54 \text{ m}}$$

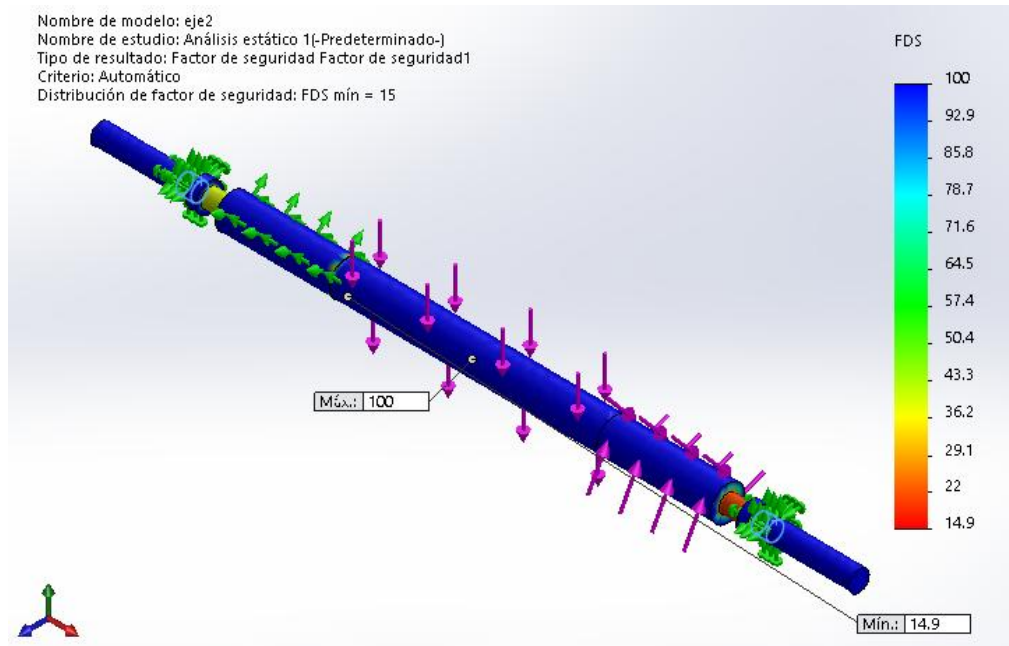
$$W_1 = 1088.89 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Con estos datos ingresados el cálculo realizado por el software MDSolids da como resultado un esfuerzo cortante de 207.51 [N], y un momento flexionante máximo de 175.29 [N m] como indica la figura 38.



**Figura 38:** Momento flexionante máximo del eje

Además se realiza el análisis estático correspondiente en un software CAD/CAE, en el que se obtiene un valor de 15 en el factor de seguridad (figura 39), por lo que se confirma que el eje es apto para la carga del material y su uso es adecuado en la estructura del desbobinado.



**Figura 39:** Factor de seguridad del eje

### 2.3.3 Diseño del desbobinado como columna

La estructura es analizada como una columna, por tener su mayor carga crítica en forma vertical. Dicha columna viene a ser un tubo estructural A-500 que será encargado de soportar diversas cargas que tienden a pandear el material.

#### a. Carga que actúa sobre la columna

Las únicas cargas que actúan sobre la columna son: la bobina de plástico a imprimir y el eje que la sostiene.

$$m_{eje} = 19 \text{ kg}$$

$$m_{bobina\ plástico} = 60\ kg$$

$$P = (m_{eje} + m_{bobina\ plástico}) * g = (19kg + 60kg) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)$$

$$P = 79kg \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) = 774.99\ [N]$$

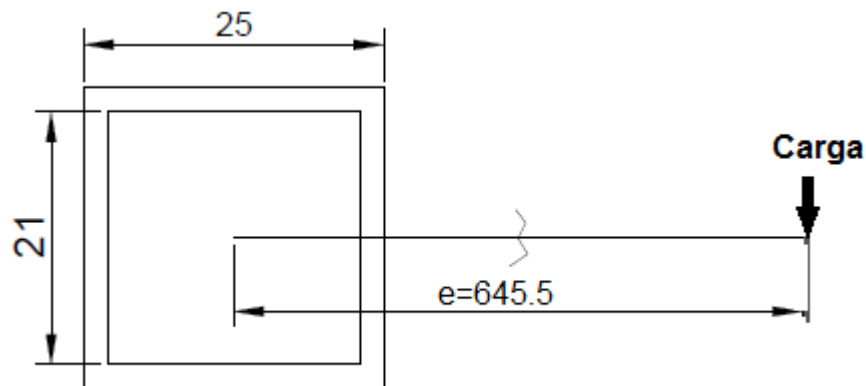
La carga se divide para dos por ser simétrica la estructura.

$$P = \frac{774.99\ N}{2}$$

$$P = 387.5\ N = 87\ lbf$$

### b. Inercia y área de la sección transversal de la columna

La inercia de la columna por tener una sección transversal cuadrado hueca (figura 40), se calcula con la Ecuación 1.15.



**Figura 40:** Sección transversal de la columna (Unidades en mm)

$$I = \frac{1}{12} (b_1^4 - b_2^4)$$

$$I = \frac{1}{12} (25^4 - 21^4) mm^4$$

$$I = 16345.33\ mm^4 = 1.6345\ cm^4$$

El área de la misma forma se calcula tomando en cuenta que es una sección transversal hueca.

$$A = b_1^2 - b_2^2$$

$$A = 25^2 - 21^2 \text{ mm}^2 = 184 \text{ mm}^2$$

$$A = 1.84 \text{ cm}^2$$

### c. Radio de giro de la columna

Sustituyendo los datos antes calculados en la ecuación 1.14, se tiene:

$$r = \sqrt{\frac{1.6345 \text{ cm}^4}{1.84 \text{ cm}^2}}$$

$$r = 0.9425 \text{ cm}$$

$$r = 0.371 \text{ in}$$

### d. Longitud efectiva

En la figura 1.26 se toma el valor de la constante  $k$ , la cual es un extremo empotrado y el otro libre. Por lo tanto el valor de  $k$  es 2. Reemplazando dicha constante y la longitud de la columna que es  $1,102m$  en la ecuación 1.11.

$$Le = 2 (1.102m) = 2.202m$$

$$Le = 86.69 \text{ in}$$

### e. Cálculo de pandeo en la columna con carga excéntrica

Una vez conocido los datos anteriormente calculados, únicamente hace falta los datos de excentricidad ( $e = 645.5mm = 25.41in$ ), y del valor de  $c =$

$\frac{25mm}{2} = 12.5mm = 0,492in$ , tomados de la figura 2.12 y sustituidos en la ecuación 1.12.

$$\sigma_d = \frac{87 \text{ lbf}}{0.285 \text{ in}^2} \left[ 1 + \frac{25.41 \text{ in} * 0.492 \text{ in}}{(0.371 \text{ in})^2} \sec \left( \frac{86.69 \text{ in}}{2(0.371 \text{ in})} \sqrt{\frac{87 \text{ lbf}}{(0.285 \text{ in}^2) \left( 30 \times 10^6 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} \right)}} \right) \right]$$

$$\sigma_d = \frac{87 \text{ lbf}}{0.285 \text{ in}^2} \left[ 1 + \frac{(25.41 \text{ in}) (0.492 \text{ in})}{(0.371 \text{ in})^2} * 1.0737 \right]$$

$$\sigma_d = \frac{87 \text{ lbf}}{0.285 \text{ in}^2} [37.18]$$

$$\sigma_d = 11.3 \text{ KPsi}$$

Ahora se calcula el esfuerzo del material, teniendo en cuenta la resistencia a la fluencia  $S_y = 320MPa = 46Ksi$  y un factor de diseño  $N = 3$  para estructuras estáticas sugerido en la sección 1.4.7., y sustituyendo dichos valores en la ecuación 1.17.

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

$$\sigma = \frac{46 \text{ Ksi}}{3} = \frac{46 \times 10^3 \text{ Psi}}{3}$$

$$\sigma = 15.3 \text{ Ksi}$$

El resultado es satisfactorio porque es un valor menor al que teóricamente es resistente.

$$\sigma > \sigma_d$$

$$15.3 \text{ KPsi} > 11.3 \text{ KPsi} \text{ OK}$$

### 2.3.4 Diseño del desbobinado como viga en voladizo

El diseño estructural a partir de la resistencia a la fluencia será aplicado con respecto a la fuerza horizontal ejercida al momento que el material es llevado desde el desbobinado por la máquina, se lo realiza suponiendo que se trata de una viga en voladizo, como se muestra en el diagrama de cuerpo libre de la figura 41.



**Figura 41:** Viga en voladizo de la estructura

En donde la fuerza  $P_1$  se la encuentra a partir de la masa requerida para halar el material desde su posición inicial en el rollo. Dicha masa se obtuvo mediante el uso de una báscula de gancho obteniendo un valor de  $5.5 \text{ kg}$ , como muestra la figura 42.



**Figura 42:** Medición de masa al halar material

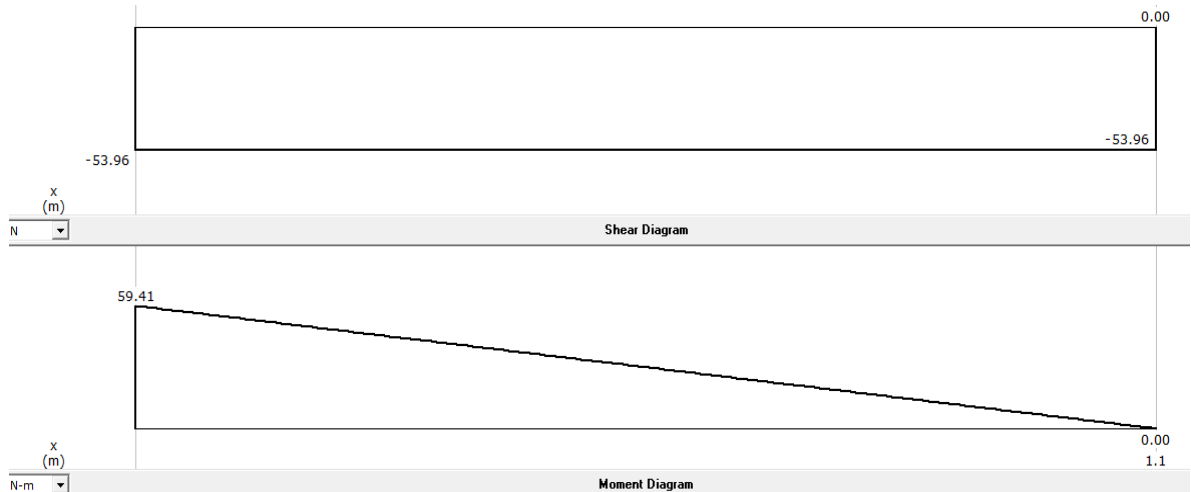


A partir de esto se tiene, que la carga en la viga es:

$$P_1 = m \times \text{gravedad}$$

$$P_1 = 5.5 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}$$

$$P_1 = 53.96 \text{ N}$$



**Figura 43:** Momento máximo flexionante

Una vez calculados estos datos e ingresados en el software, y se obtienen como resultado el momento máximo flexionante desarrollado por la carga puntual. Siendo este valor: 59.41 [N m] como se muestra en la figura 43.

El material a utilizar es el acero ASTM A500 grado "B", cuyo dato técnico necesario para el análisis es el esfuerzo a la fluencia, siendo este: 320 MPa.

Entonces, aplicando la ecuación 1.17, método de resistencia de fluencia para esfuerzo de tensión se tiene:

$$\sigma_d = \frac{320 \text{ MPa}}{3}$$

$$\sigma_d = 106.6 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, despejando el módulo de la sección transversal de la ecuación 1.16 y reemplazando los valores correspondientes se tiene:

$$S = \frac{M}{\sigma_d}$$

$$S = \frac{59410 [N \text{ mm}]}{106.6 [MPa]}$$

$$S = 557.31 [mm^3]$$

$$S = 0.55 [cm^3]$$

Por disponibilidad en el mercado y debido a que en este análisis solo se toma en cuenta la fuerza horizontal, se selecciona el tubo estructural cuadrado cuya sección transversal es de  $S = 1.18 \text{ cm}^3$  que en milímetros equivale a  $1180 \text{ mm}^3$ , con dimensiones de  $25 \times 25 \times 2.0 \text{ mm}$  como se muestra en el Anexo E.

Para analizar la factibilidad del uso del tubo cuadrado seleccionado, se plantea nuevamente la fórmula de flexión para hallar el esfuerzo de diseño, a través de la ecuación 1.16.

$$\sigma_d = \frac{59410 [N \text{ mm}]}{1180 [mm^3]}$$

$$\sigma_d = 50.34 \text{ MPa}$$

Con este valor se aplica nuevamente la ecuación 1.17 de resistencia a la fluencia para hallar el factor de seguridad.

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

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

$$N = \frac{320 [MPa]}{50.34 [MPa]}$$

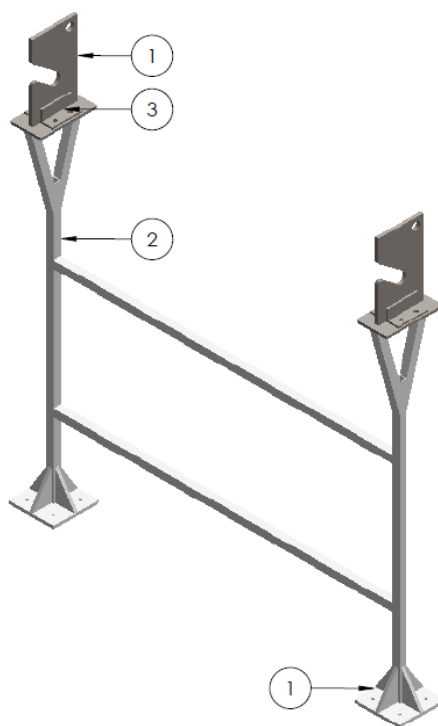
$$N = 6.35$$

Por lo tanto, se tiene que el factor de seguridad es un valor elevado, por tal motivo si resulta factible el uso del tubo estructural cuadrado planteado según la disponibilidad en el mercado.

### 2.3.5 Modelado 3D del sistema mecánico del desbobinado

Para modelar la estructura del desbobinado, se seleccionaron materiales como se muestra en la figura 44, las mismas que fueron tomadas del catálogo DIPAC para su fácil construcción y adquisición. Las características de cada material se pueden apreciar en el Anexo E.

Una vez diseñada la estructura del desbobinado se establece en el Anexo F el esquema del sistema flexográfico, es decir: desbobinado de material, impresora flexográfica y rebobinado de material.



1	Platina ASTM A-36
2	Tubo cuadrado estructural ASTM A-500
3	Perfil de ángulo ASTM A-36

**Figura 44:** Modelado mecánico – material utilizado

### Factor de seguridad del desbobinado

El sistema mecánico se considera la estructura del desbobinado de la impresora flexográfica, cuyo análisis estático final se realizó a través del software SolidWorks que permite el modelamiento de elementos. Se obtuvo como resultado un valor aceptable de factor de seguridad siendo este 3.37 como indica la figura 45, que muestra que la estructura se encuentra dimensionada correctamente soportando las cargas especificadas anteriormente.

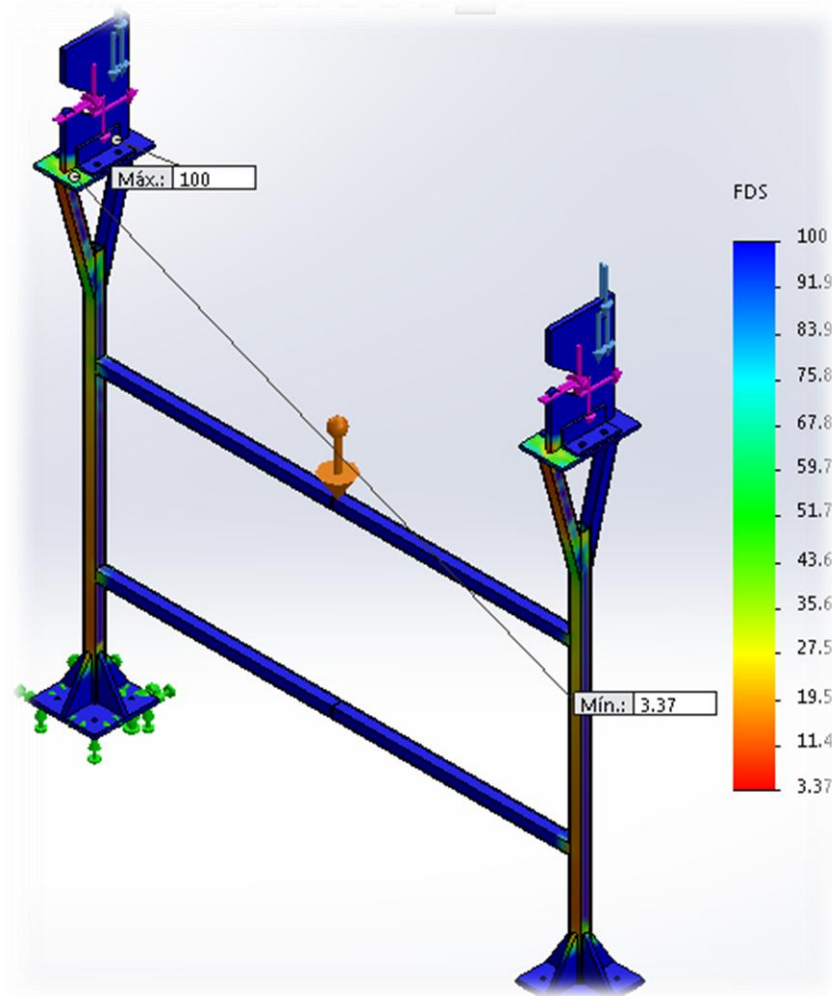


Figura 45: Factor de Seguridad del sistema mecánico

## **2.4 Diseño y selección del sistema eléctrico y de control**

El uso del software Automation Studio facilitó el diseño del sistema eléctrico y de control; y sus planos eléctricos y de control se encuentran en el Anexo I.

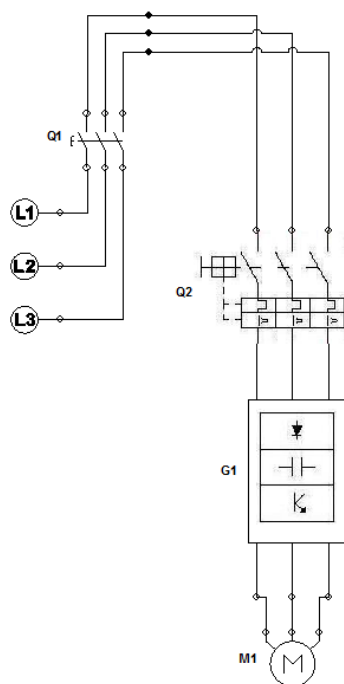
Para el diseño de los circuitos de fuerza y de control se considera la tarea que debe cumplir cada sistema de la máquina, permitiendo así el análisis de uso tanto de los equipos que se dispone como de la implementación de nuevos dispositivos.

### **2.4.1 Sistema principal**

El sistema principal consta de un motor ubicado en una caja reductora, que a su vez proporciona el movimiento a los rodillos que permiten el paso del material, por lo que es necesario un control de velocidad para que la impresión sea efectuada de forma correcta.

#### **Circuito de fuerza**

Para el circuito de fuerza debido a que el motor funciona con 380 VAC y se requiere un control de velocidad, se dispone de un variador de frecuencia también adecuado para el mismo voltaje, cuya conexión estará establecida como se observa en la figura 46 y su descripción se encuentra en la tabla 2.5, donde también se establece el uso de un disyuntor para la debida protección contra corto circuitos y sobrecargas. El sistema entra en funcionamiento una vez energizado el variador en el circuito de control.



**Figura 46:** Diagrama de Fuerza del Sistema Principal

**Tabla 13**

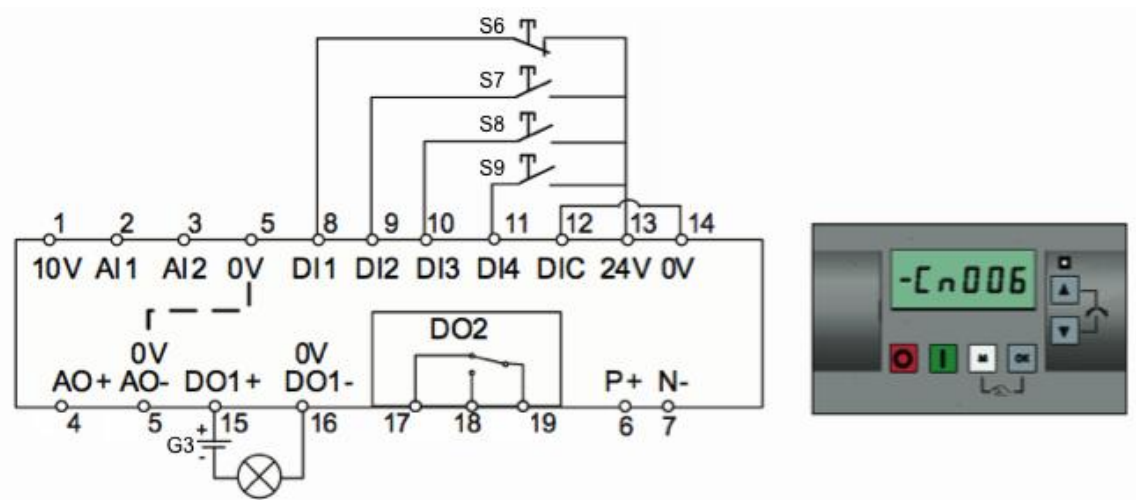
Descripción conexión sistema principal

Denominación	Descripción
Q1	Breaker trifásico principal
Q2	Disyuntor
G1	Variador de frecuencia
M1	Motor sistema principal

### Circuito de Control

En el sistema principal, el circuito de control se basa principalmente en pulsadores para manipulación externa del variador de frecuencia. Dicha conexión se muestra en la figura 47 y su descripción está en la tabla 14. Y se la denomina Macro de conexión con la identificación Cn006 según el manual de

usuario de dicho variador, donde también se cuenta con luz piloto que indica su funcionamiento.



**Figura 47:** Diagrama de control del variador de frecuencia

**Tabla 14**

Descripción del diagrama de control del variador de frecuencia

Denominación	Descripción
S6	Pulsador NC OFF
S7	Pulsador NA ON
S8	Pulsador NA subir velocidad
S9	Pulsador NA bajar velocidad
G3	Fuente de alimentación 24 VDC

### Selección de componentes

En el sistema principal se toman en cuenta la selección de un motor de corriente alterna para sustituir el motor de corriente continua que ya no sirve. Adicionalmente se selecciona un variador de frecuencia para el nuevo motor en AC.

## Motor

Como un motor DC tiene un torque mayor que los motores AC, por tal motivo es que se calcula el torque que genera el motor DC con los datos de la tabla 2, sustituyendo en la ecuación 1.3.

$$\text{Torque}(T) = \frac{9550 * 2.05 \text{ KW}}{2500 \text{ rpm}}$$

$$\text{Torque}(T) = 7.83 \text{ N m}$$

Conociendo el torque que genera el motor DC, y la disponibilidad de motores en el mercado, las nuevas características principales del motor seleccionado se muestran en la tabla 15. Se selecciona este motor, ya que ofrecen un torque superior al calculado anteriormente, y lo que se busca es mejor su torque, obteniendo el siguiente resultado.

$$\text{Torque}(T) = \frac{9550 * 2.98 \text{ KW}}{1735 \text{ rpm}}$$

$$\text{Torque}(T) = 15.96 \text{ N m}$$

**Tabla 15**

Características principales del nuevo motor AC del Sist. principal

<b>Voltaje</b>	440 V
<b>Potencia</b>	4 Hp – 2.98 KW
<b>RPM</b>	1735 1/min
<b>Frecuencia</b>	60 Hz

## Variador de frecuencia

Debido a que el variador de frecuencia debe brindar las mismas características del motor, se selecciona un variador con las características que muestra la tabla 16.



**Tabla 16**

Características del variador de frecuencia

<b>Marca</b>	SIEMENS
<b>Voltaje de entrada</b>	220 / 440 V
<b>Frecuencia de entrada</b>	50 / 60 Hz
<b>Potencia de motor</b>	4 Hp – 2.98 KW
<b>Frecuencia de salida</b>	0 – 550 Hz
<b>Corriente de salida</b>	7.3 A

**Disyuntor**

En la selección del disyuntor para el variador de frecuencia, se toma en cuenta la corriente máxima medida cuando el motor está puesto en marcha a diferentes frecuencias. Ver tabla 17.

Para el umbral de disparo magnético en este caso se utiliza 7 veces la corriente nominal como sugiere en la sección 1.4.3, siendo de esta manera

$$umbral = 7 I_N = 7 (0.6A) = 4.2A$$

**Tabla 17**

Corrientes medidas para selección de disyuntor

<b>Frecuencia</b>	<b>Corriente en cada línea</b>		
30Hz	0.1 A	0.4 A	0.2 A
50Hz	0.3 A	0.5 A	0.4 A
60Hz	0.5 A	0.6 A	0.5 A

Dicho valor es colocado como poder de corte ( $PdCo$ ), expresado en kiloamperios eficaces simétricos, por lo tanto  $PdCo = 4.2KA$ .

Con el dato anterior cabe mencionar que según la tabla 7, el poder de cierre ( $PdCi$ ) es 1.5 veces el poder de corte, por tal motivo dicho valor es:

$$PdCi = 1.5 PdCo$$

$$PdCi = 1.5 (4.2KA)$$

$$PdCi = 6.3KA$$

**Tabla 18**

Características del disyuntor

<b>Voltaje de entrada</b>	400 [V]
<b>Frecuencia de entrada</b>	50 / 60 Hz
<b>Corriente</b>	4.5 KA

Según los resultados obtenidos y la disponibilidad en el mercado, el disyuntor seleccionado tiene las características de la tabla 18.

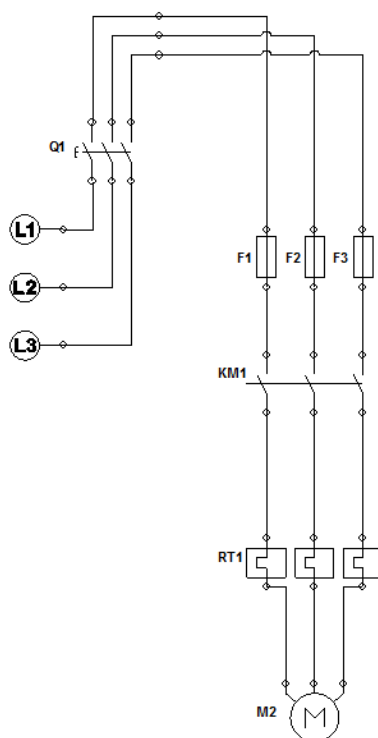
#### **2.4.2 Sistema hidráulico**

El sistema hidráulico consta de un motor eléctrico cuya función es girar en sentido tanto horario como anti horario. Trabajando conjuntamente con las tres bombas ubicadas dentro del tanque, para proporcionar lubricación a la máquina y permitir la transmisión de aceite hacia los motores hidráulicos, por lo que, dicho motor eléctrico, debe permanecer en constante funcionamiento.

#### **Circuito de fuerza**

En el circuito de fuerza, debido a que el motor eléctrico funciona a 380 VAC la conexión se la realiza como se muestra en la figura 2.20 y su descripción se

encuentra en la tabla 19, en donde se indica también la implementación de los respectivos fusibles para protección contra corto circuitos. Además, dicho motor comienza su funcionamiento una vez energizado el contactor trifásico en el circuito de control.



**Figura 48:** Diagrama de fuerza del sistema hidráulico

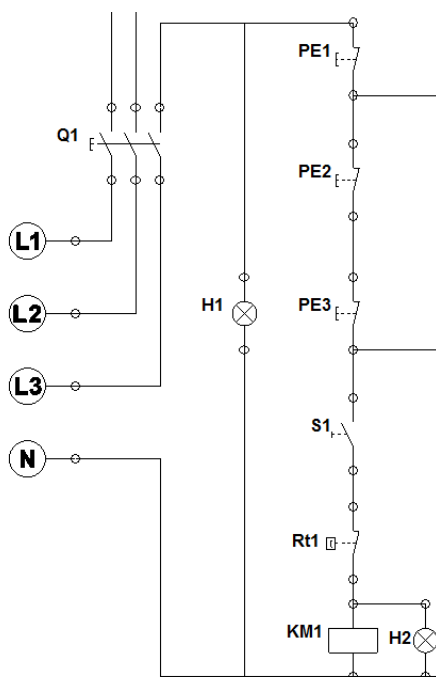
**Tabla 19**

Descripción conexión sistema hidráulico

Denominación	Descripción
F1 – F2 – F3	Fusibles
KM1	Contactador trifásico
RT1	Relé térmico
M2	Motor sistema hidráulico

## Circuito de control

En la figura 49 se observa que la bobina del contactor correspondiente al sistema hidráulico es energizada al accionarse el interruptor S1 en el tablero de control a 220 VAC, así como también una lámpara que indica su estado.



**Figura 49:** Diagrama de control del sistema hidráulico

**Tabla 20**

Descripción del diagrama de control del sistema hidráulico

Denominación	Descripción
H1	Luz piloto general
PE1	Paro de emergencia en tablero
PE2 – PE3	Paros de emergencia en máquina
S1	Interruptor On/Off
Rt1	Contacto auxiliar térmico NC
KM1	Bobina contactor trifásico
H2	Luz piloto sistema hidráulico

Cabe recalcar la presencia de los paros de emergencia al inicio del circuito de control, de tal manera que PE1 corresponde al paro de emergencia presente en el tablero, y PE2 y PE3 están ubicados en la maquina al alcance y vista del usuario. La descripción de dicha figura se encuentra en la tabla 20.

### Selección de componentes

Los datos del motor eléctrico del sistema hidráulico se muestran en la tabla 1.

Como se observa la corriente nominal es de 1.6 A, con este valor de acuerdo a la tabla del Anexo B para motores con arranque directo el tamaño de fusible a ocupar es de 6 A, valor también útil para la selección correcta del contactor.

Para la selección del relé térmico, se calcula el rango de disparo entre el 115% y 125% de la corriente a plena carga utilizando las ecuaciones 1.4 y 1.5.

$$I_{min} = 1.15(1.6 A)$$

$$I_{min} = 1.84 A$$

$$I_{m\acute{a}x} = 1.25(1.6 A)$$

$$I_{m\acute{a}x} = 2 A$$

Según los resultados obtenidos y la disponibilidad de dispositivos en el mercado, los componentes a usar se muestran en la tabla 21.

**Tabla 21**

Datos técnicos de los componentes en el sistema hidráulico

	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (A)</b>
<b>Fusibles</b>	-----	6
<b>Contactor</b>	220	6
<b>Relé térmico</b>	220	Rango de disparo 1.6 – 2.5

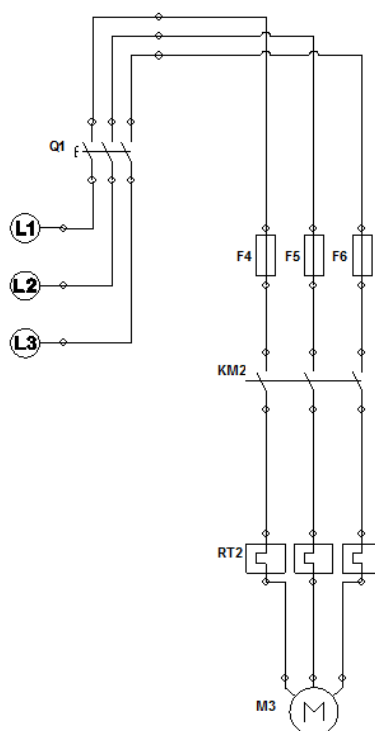
### 2.4.3 Sistema de secado

El sistema de secado es el encargado de proporcionar aire para el secado de la lámina tinturada, para lo cual trabajan conjuntamente un motor eléctrico y dos niquelinas. El proceso consiste en que el aire transmitido por las hélices accionadas por el motor suba levemente su temperatura al pasar a través de las niquelinas.

#### Circuito de fuerza

##### Motor

Como muestra la Figura 50, el motor del sistema de secado funciona con 380 VAC, para lo cual se incorporan los respectivos fusibles de protección. Además, su funcionamiento comienza una vez sea energizado el contactor trifásico en el circuito de control. La descripción de la figura se encuentra en la tabla 22.



**Figura 50:** Diagrama de fuerza del motor de ventilación

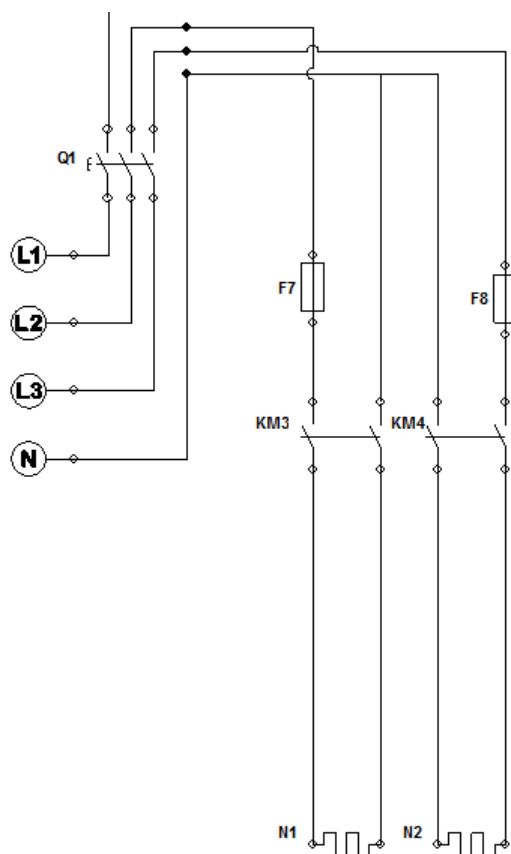
**Tabla 22**

Descripción del diagrama de fuerza del motor de ventilación

Denominación	Descripción
F4 – F5 – F6	Fusibles
KM2	Contactador trifásico
RT2	Relé térmico
M3	Motor sistema de ventilación

**Niquelinas**

Las dos niquelinas funcionan a 220VAC por lo que, en su conexión, para cada una es preciso tomar una línea y neutro de la red de 380VAC como se observa en la Figura 51.

**Figura 51:** Diagrama de fuerza de niquelinas

Además se muestra la ubicación de las protecciones necesarias como son los fusibles, y la entrada de alimentación mediante la previa activación de los contactores en el circuito de control. La descripción de la figura se encuentra en la tabla 23.

**Tabla 23**

Descripción del diagrama de fuerza de niquelinas

Denominación	Descripción
F7 – F8	Fusibles
KM3	Contactador niquelina 1
KM4	Contactador niquelina 2
N1	Niquelina 1
N2	Niquelina 2

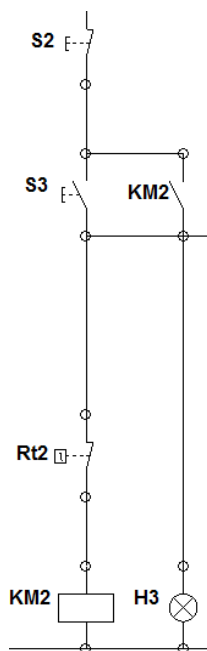
### Circuito de control

#### Motor

El circuito de control correspondiente al motor del sistema de ventilación se lo implementa como la figura 52, el mismo que consta de dos pulsadores, un normalmente abierto NA que mediante su ejecución activa la bobina del contactor, la luz piloto indicando el encendido del motor, y a su vez proporciona el paso de corriente para la parte del circuito de control correspondiente al funcionamiento de las niquelinas.

La activación del pulsador normalmente cerrado impide el paso de corriente, apagando así la bobina del contactor y permitiendo el reseteo del sistema. La descripción de la figura se encuentra en la tabla 24.





**Figura 52:** Diagrama de control del sistema de ventilación

**Tabla 24**

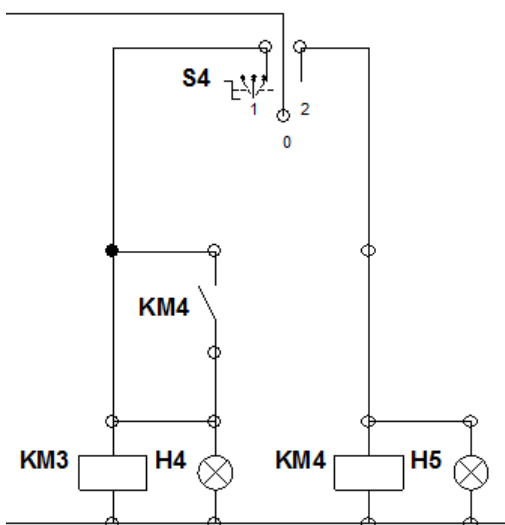
Descripción del diagrama de control del sistema de ventilación

Denominación	Descripción
S2	Pulsador NC Reset
S3	Pulsador NA On
KM2	Contacto auxiliar NA
Rt2	Contacto auxiliar térmico NC
KM2	Bobina contactor trifásico
H3	Luz piloto sistema de ventilación

### Niquelinas

El circuito de control está conformado por un interruptor giratorio de tres posiciones, de tal manera que la posición 0 mantiene apagadas las niquelinas; la posición 1 permite la activación de una niquelina al energizar la bobina del contactor, con su respectiva luz piloto; la posición 2 permite la activación de la

primera niquelina al energizar la bobina del contactor, y también la segunda niquelina al energizar su respectivo contacto auxiliar, esto con su respectiva luz piloto. Ver figura 53 y tabla 25.



**Figura 53:** Diagrama de control de niquelinas

**Tabla 25**

Descripción del diagrama de control del sistema de ventilación

Denominación	Descripción
S4	Interruptor 3 posiciones
KM4	Contacto auxiliar NA
KM3	Bobina contactor
H4	Luz piloto niquelina 1
KM4	Bobina contactor
H5	Luz piloto niquelina 2

### Selección de componentes

#### Motor

Los datos del motor eléctrico del sistema de ventilación se muestran en la tabla 3.

Como se observa la corriente nominal es de 6.3 A, con este valor de acuerdo a la tabla del Anexo B para motores con arranque directo el tamaño de fusible a ocupar es de 20 A, valor también útil para la selección del contactor.

Para la selección del relé térmico como se mencionó antes, se calcula el rango de disparo entre el 115% y 125% de la corriente a plena carga utilizando las ecuaciones 1.4 y 1.5.

$$I_{mín} = 1.15(6.3 A)$$

$$I_{mín} = 7.25 A$$

$$I_{máx} = 1.25(6.3 A)$$

$$I_{máx} = 7.88 A$$

Según los resultados obtenidos y la disponibilidad de dispositivos en el mercado, los componentes a usar se muestran en la tabla 26.

**Tabla 26**

Datos técnicos de los componentes en el sistema de secado

	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (A)</b>
<b>Fusibles</b>	-----	20
<b>Contactor</b>	220	20
<b>Relé térmico</b>	220	Rango de disparo 6 – 9

### **Niquelinas**

Debido a que no se cuenta con los datos de las niquelinas, se procede a seleccionar las protecciones contra cortocircuitos (fusibles) de acuerdo a la medición de corriente realizada en cada una, obteniendo los datos de la tabla 27.

**Tabla 27**

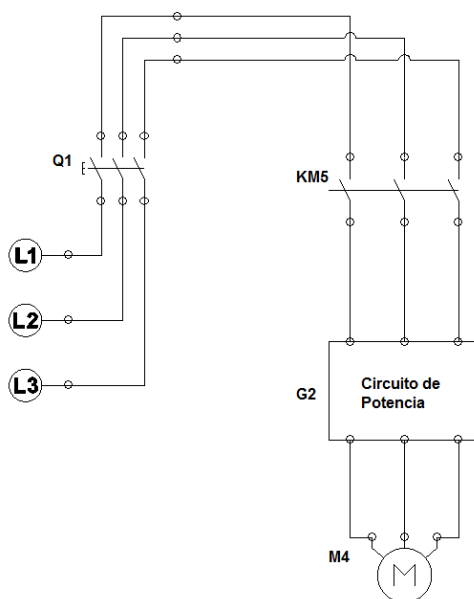
Corriente necesaria en niquelinas

Niquelina	Corriente
1	13.6 [A]
2	11.8 [A]

A partir de lo cual y debido a la disponibilidad en el mercado, se seleccionan fusibles de 20 A.

#### 2.4.4 Rebobinado

##### Circuito de fuerza

**Figura 54:** Diagrama de fuerza del rebobinado

Debido a que el rebobinado de material dispone de un circuito de potencia que la controla, con el fin de proporcionar el accionamiento para su energización desde el tablero de control general, se incorpora un contactor

como se muestra en la figura 54. La descripción de la figura se encuentra en la tabla 2.20.

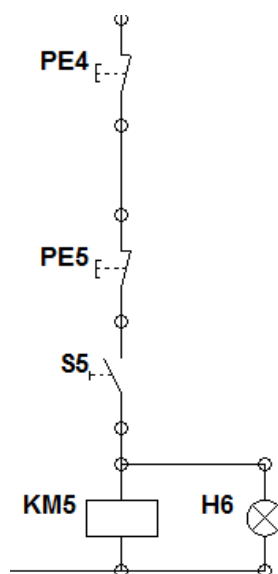
**Tabla 28**

Descripción del diagrama de fuerza del rebobinado

Denominación	Descripción
KM5	Contactador trifásico
G2	Circuito de potencia
M4	Motor rebobinado

### Circuito de control

Para seguridad se dispone de dos paros de emergencia ubicados uno a cada lado del rebobinado, y conectados en serie al paro de emergencia general ubicado en el tablero de control. El encendido del rebobinado se lleva a cabo a través del accionamiento de un pulsador, que alimenta a la bobina del contactor y a una luz piloto, como se observa en la figura 55 y tabla 29.



**Figura 55:** Diagrama de control del rebobinado

**Tabla 29**

Descripción del diagrama de control del rebobinado

<b>Denominación</b>	<b>Descripción</b>
PE4 – PE5	Paros de emergencia en rebobinado
S5	Interruptor On/Off
KM5	Bobina contactor trifásico
H6	Luz piloto rebobinado

### Selección del conductor

En la tabla 30 se muestran las corrientes nominales de los motores correspondientes a cada sistema de la máquina.

**Tabla 30**

Corrientes nominales de los motores de cada sistema

<b>Motor</b>	<b>Corriente Nominal (A)</b>
Motor Sist. Principal	6.5
Motor Sist. Hidráulico	1.6
Motor Sist. Ventilación	6.3

Para seleccionar el conductor se aplica la ecuación 1.6.

$$I = 1.25 \times (6.5) + (1.6 + 6.3)$$

$$I = 8.125 + 7.9$$

$$I = 16.025$$

Corriente con la cual se procede a seleccionar el cable AWG, que según la tabla del ANEXO H corresponde al número 11.

## 2.5 Diseño del sistema de control

El diseño del sistema de control que se menciona a continuación, corresponde a un procedimiento donde se observarán parámetros de la máquina como la temperatura en el sistema de secado y el número de impresiones de la máquina en una touch panel, y a su vez permitirá el control de los dispositivos de cada sistema de la impresora para su funcionamiento, a partir de la programación en un PLC. Este diseño no será implementado debido a que los requerimientos de la empresa en la que se ejecuta el proyecto son los anteriormente mencionados en la sección 2.4.

### 2.5.1 Touch panel

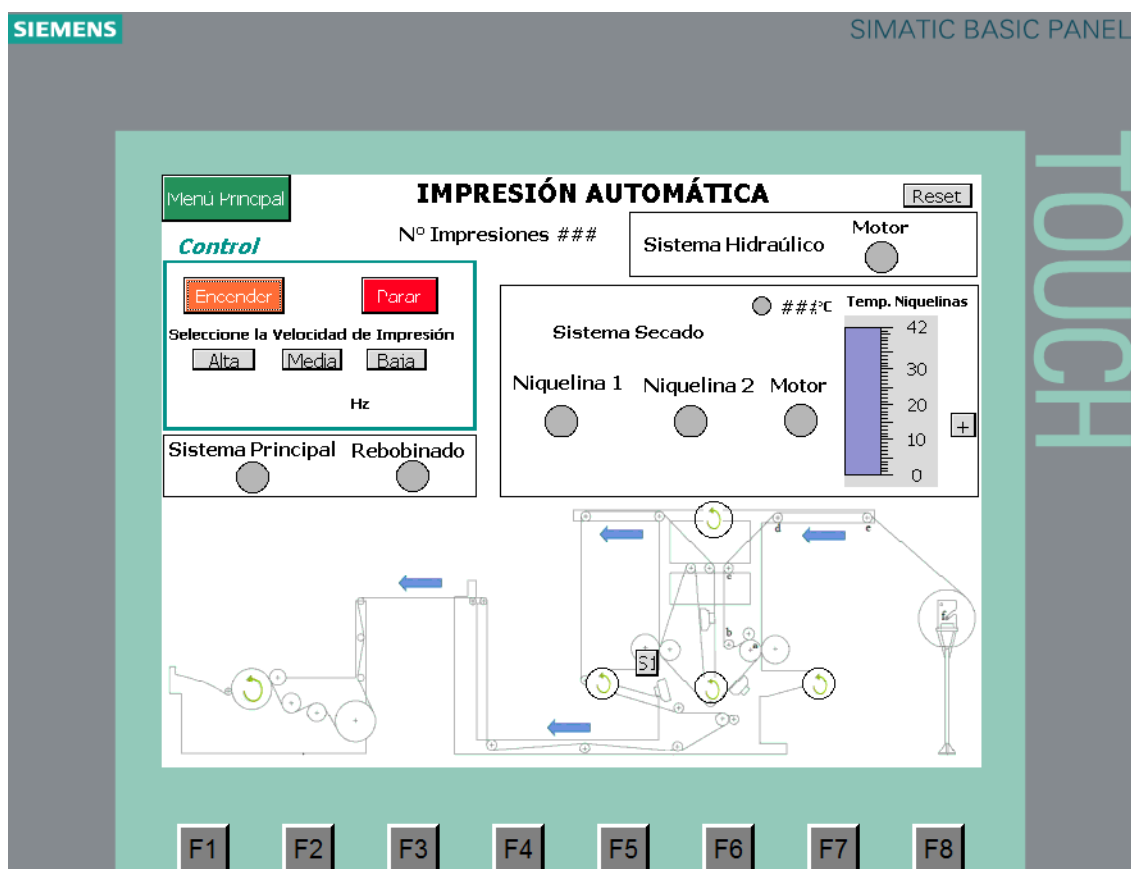
Para el control de las salidas y la observación de parámetros referentes al funcionamiento de la impresora se propone el uso de una touch panel, la misma que consta de tres ventanas enlazadas entre sí:

Ventana principal: Como se observa en la Figura 56 permitirá la selección entre dos opciones, el uso de la máquina para impresión automática o para impresión manual.



**Figura 56:** Ventana principal HMI

Ventana para impresión automática: La Figura 57 muestra que consta de una botonera para empezar con el proceso encendiendo el motor eléctrico del sistema hidráulico, el motor del sistema de secado y las niquelinas, cuya temperatura será observable y una vez que se establezca dará paso al encendido del sistema principal, donde la velocidad del variador sube automáticamente según la programación en el PLC y un contador de pulsos muestra el número de impresiones realizadas. Se dispone de una botonera para finalizar con la impresión y de luces piloto para observar el proceso.

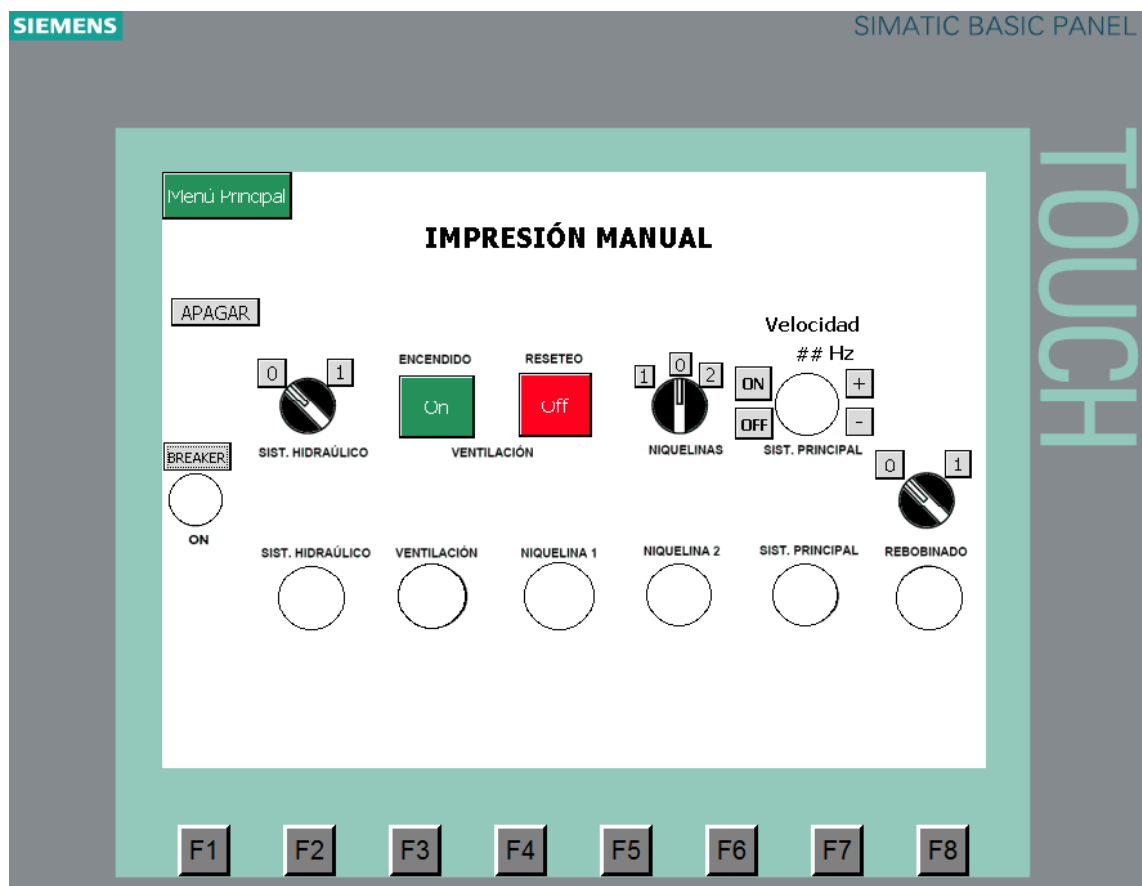


**Figura 57:** Ventana para impresión automática

Ventana para impresión manual: Esta ventana permite el encendido de cada sistema a partir de su respectiva botonera, también permite observar la temperatura en el sistema de secado, el número de impresiones de la máquina y el proceso como tal a través de luces piloto, como lo muestra la Figura 58.



Además, en ésta el operador puede encender el sistema principal, el rebobinado, e ingresar la frecuencia del variador que sea necesaria siempre y cuando la temperatura del sistema de secado al encender las niquelinas se haya estabilizado.



**Figura 58:** Ventana para impresión manual

## 2.5.2 Programación en el PLC

De acuerdo a lo planteado para el diseño de las ventanas en la touch panel se tendrán las siguientes entradas y salidas ubicadas en la tabla 31. Además la programación del PLC tanto de la parte automática como la manual, se encuentra en el Anexo J.

**Tabla 31**  
Entrada y Salidas del PLC

	<b>NOMENCLATURA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
ENTRADA	I0.1	SENSOR DE TEMPERATURA
SALIDAS	Q0.1	NIQUELINA 1
	Q0.2	NIQUELINA 2
	Q0.3	MOTOR VENTILACIÓN
	Q0.4	MOTOR HIDRÁULICO
	Q0.5	MOTOR PRINCIPAL
	Q0.6	REBOBINADO
	Q0.7	VELOCIDAD ALTA
	Q1.2	VELOCIDAD MEDIA
	Q1.3	VELOCIDAD BAJA
	Q1.4	ON/OFF VARIADOR DE FRECUENCIA

### **Circuito de fuerza**

Como se observa en el Anexo L el circuito de fuerza propuesto para el tablero de control es el mismo que el del Anexo I correspondiente al que se va a implementar, con la diferencia que se ha añadido el contactor KM2 en el sistema principal para el accionamiento del variador de frecuencia y el motor a partir de la activación de la bobina del contactor en el circuito de control.

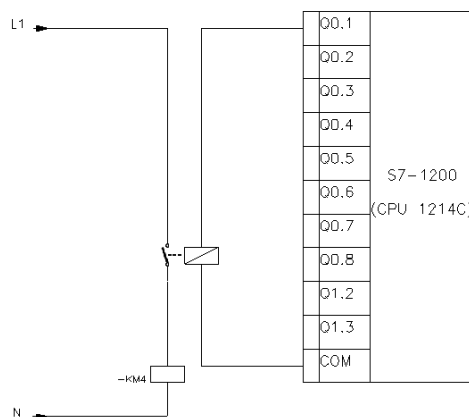
### **Circuito de control**

De acuerdo a lo mencionado en la programación en el circuito de control se dispone de un PLC cuyas características necesarias están en la tabla 32.

**Tabla 32**  
PLC Seleccionado

<b>Marca</b>	SIEMENS
<b>Tipo</b>	S7-1200
<b>CPU</b>	CPU 1214C
<b>Entradas digitales integradas</b>	14
<b>Salidas digitales integradas</b>	10

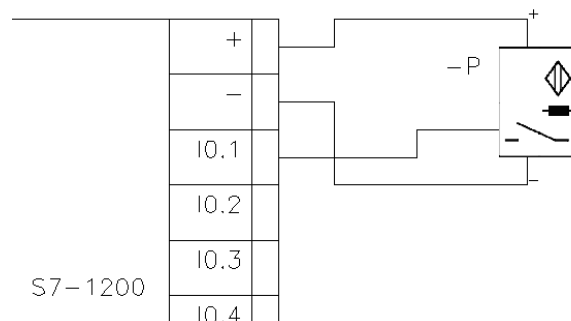
Las salidas digitales de 24 VDC del PLC deben activar los elementos del circuito de fuerza, para ello se diseña el esquema de la Figura 59, donde se muestra que la bobina del contactor se activa con 220 VAC una vez que se cierre el contacto normalmente abierto de un relé con bobina accionada a 24 VDC por el PLC. Esta figura tiene como ejemplo la conexión en la salida Q0.1 y se repite para cada sistema de la máquina como se observa en el Anexo L.



**Figura 59:** Conexión de la salida Q0.1 a relé y bobina de contactor

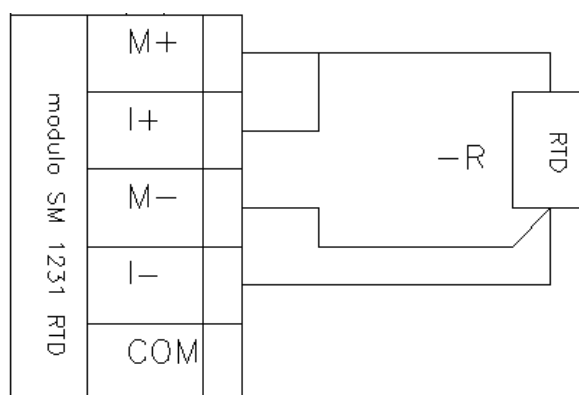
El número de impresiones de la máquina es proporcional al número de revoluciones del rodillo porta cliché, por esta razón se propone la adaptación de un elemento metálico para que al pasar por un sensor inductivo active una

entrada digital del PLC como se indica en la Figura 60, y de esta forma se cuentan el número de vueltas y se observen en la pantalla.



**Figura 60:** Conexión de sensor inductivo a entrada digital del PLC

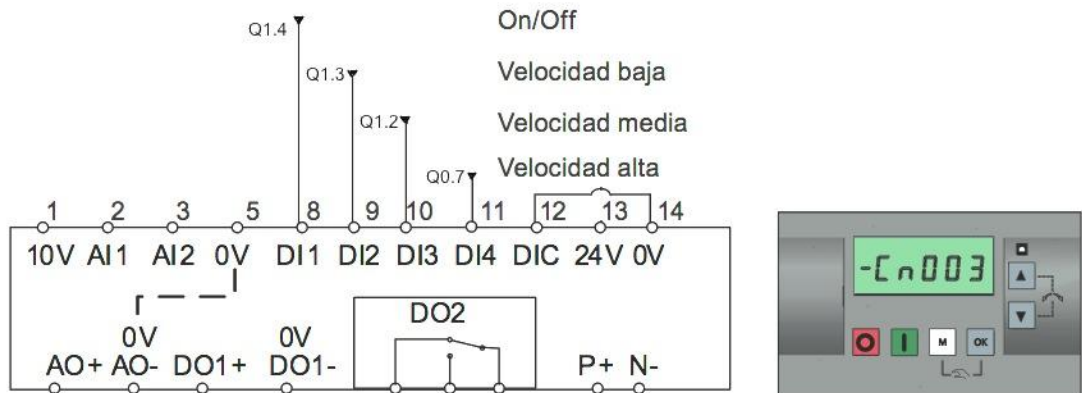
Para la lectura de la temperatura en el sistema de secado se propone la conexión de la figura 61, donde es conveniente la utilización de un módulo propiamente diseñado para el uso de una RTD Pt100 conectada a 3 hilos, descrito en el Anexo K.



**Figura 61:** Conexión RTD a módulo de entrada analógica

Para el control de frecuencias del variador en el sistema principal para operación manual, se plantea una configuración tal que permite la selección de

velocidad baja, media y alta a partir de la activación de las salidas en el PLC. Dicha conexión se muestra en la figura 62 y se la denomina Macro de conexión con la identificación Cn003 según el manual de usuario de dicho variador.



**Figura 62:** Macro del variador de frecuencia

## CAPÍTULO III

### CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

#### 3.1 Introducción

Una vez realizado el análisis y obteniendo resultados favorables en el capítulo 2, se procede a realizar la construcción de la estructura del rebobinado a partir del diseño efectuado en un software CAD/CAE, considerando que el dimensionamiento de cada parte que lo conforma sea el correcto. Además, se procede a realizar el montaje del tablero de control de acuerdo al diseño efectuado con la ayuda del software Automation Studio; en este caso considerando las características de cada elemento a ser aplicado. Cabe mencionar que debido al estado inicial de la máquina, es necesario un mantenimiento para que esta pueda trabajar eficazmente.

#### 3.2 Mantenimiento

El mantenimiento de algunas partes de la máquina se menciona en primer lugar, ya que se necesita que todo esté en perfectas condiciones para su implementación, y posterior puesta en marcha.

##### 3.2.1 Bomba hidráulica

El mantenimiento de la bomba consta de una limpieza del tanque, cambio de aceite y limpieza de filtros.

##### a. Limpieza del tanque

Para limpiar el tanque en primer lugar se retiraron las mangueras que estaban conectadas al tanque y manómetros como se muestra en la figura 63.



**Figura 63:** Separación de mangueras de la bomba hidráulica

Una vez destapado el tanque, se procede a limpiar todo el aceite encontrado en el mismo y dejarlo como se muestra en la figura 64.



**Figura 64:** Limpieza del tanque de la bomba hidráulica

### 3.2.2 Base para motor del sistema principal

Debido al cambio de motor de corriente continua por uno de corriente alterna, se necesita construir una base para poder acoplar el motor nuevo a la caja reductora de la máquina.

Según lo antes mencionado, se necesita un molde de aluminio para poder dar la forma a la base del motor. Una vez conseguido esto, se procede a torneado el aluminio, teniendo como referencia la tapa del motor nuevo, que de igual manera necesita ser torneado una parte para su acoplamiento, como muestra la figura 65.



**Figura 65:** Aluminio y tapa de motor listos para ser torneados

Posteriormente lo que se busca es montar la tapa del motor contra el aluminio, para que de esta manera se acoplen como se visualiza en la figura 66.





**Figura 66:** Tapa del motor y aluminio acoplados

Finalmente se taladra y se rosca en el aluminio, para de esta manera tener una sujeción confiable del aluminio hacia el motor y también hacia la caja reductora, como muestra la figura 67.



**Figura 67:** Motor acoplado a una base de aluminio

En la figura 68 se muestra ya acoplado en su totalidad, el motor nuevo de corriente alterna junto a la caja reductora, para ser colocada en la máquina.



**Figura 68:** Motor nuevo acoplado a la caja reductora

### 3.2.3 Cambio de rodillos

Una vez mencionado que uno de los cilindros de caucho se tenía que cambiar por uno nuevo y otro se tiene que rectificar, se procede a extraer los cilindros. Para extraerlos es necesario desacoplar varias partes del sistema hidráulico como se muestra en la figura 69.



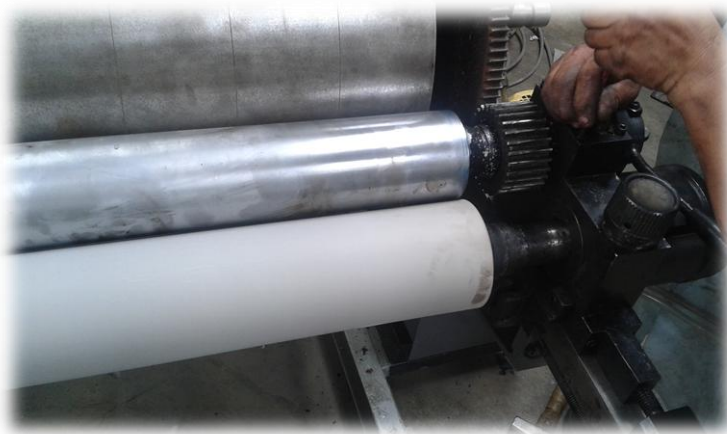
**Figura 69:** Separación de la parte hidráulica

Realizado lo anteriormente, se coloca el nuevo rodillo (figura 70) y de la misma manera el rodillo rectificado.



**Figura 70:** Cilindro de caucho nuevo

Finalmente nuevamente acoplado todas las partes del sistema hidráulico, se tiene lo que se muestra en la figura 71.



**Figura 71:** Acoplamiento del nuevo cilindro de caucho

### 3.2.4 Cambio de manómetros

Como se mencionó en la sección de diagnóstico de la máquina, el tanque hidráulico de la máquina cuenta con tres manómetros en mal estado, como se indica en la Figura 72.



**Figura 72:** Manómetro en mal estado

Es por esto, y en base a su característica de rango de operatividad se procede al cambio de los mismos, por los mostrados en la figura 73



**Figura 73:** Manómetros nuevos

La figura 74 indica la ubicación y el ajuste del primer manómetro en la salida de la primera bomba en el tanque hidráulico.



**Figura 74:** Colocación del primer manómetro

De la misma manera se procede a ubicar y ajustar el segundo y tercer manómetro en las salidas de la segunda y tercera bomba en el tanque hidráulico. Obteniendo el resultado que se muestra en la figura 75 a continuación.



**Figura 75:** Manómetros nuevos colocados en la bomba hidráulica



### 3.2.5 Cambio de rodamientos en motor trifásico del rebobinado

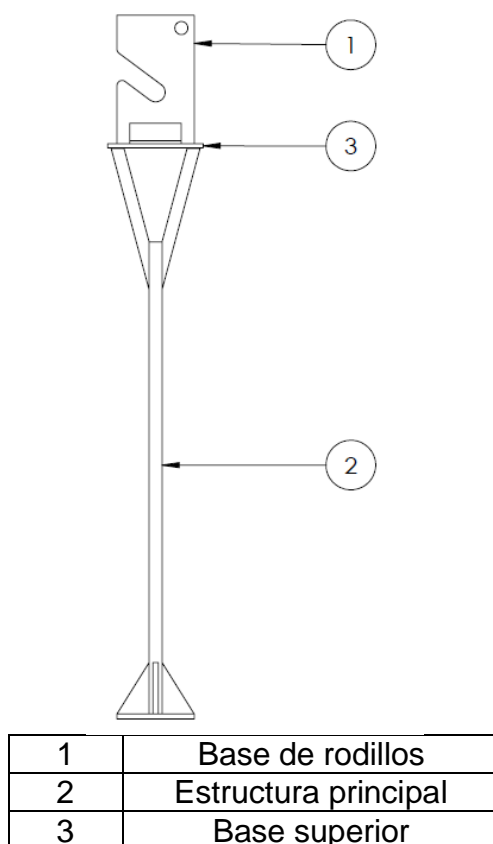
Para poder realizar el cambio de rodamientos en dicho motor, lo que primero se realiza como muestra la figura 76 es la separación del rotor y estator. Esto se lo hace para la fácil extracción de los rodamientos en mal estado.

El paso a continuación es colocar los nuevos rodamientos y unir todas las partes del motor rebobinador, y ponerlo en funcionamiento para comprobar su operatividad.



**Figura 76:** Partes del motor rebobinador

### 3.3 Montaje del sistema mecánico



**Figura 77:** División del sistema mecánico

El montaje del sistema mecánico contiene la fabricación de cada elemento del desbobinado; su dimensionamiento está detallado en el Anexo G. La fabricación de la estructura fue dividida en tres partes como muestra la figura 77, y el proceso de construcción se encuentra detallado en el Anexo M.

Antes de empotrar la estructura del sistema mecánico es preciso verificar que las dimensiones coincidan con el diseño planteado en el capítulo II. En la figura 78 se muestra que la abertura entre ambas secciones de tubo cuadrado es de 17.2 por lo que si cumplen con lo especificado.



**Figura 78:** Dimensionamiento de abertura entre secciones de tubo cuadrado

También es necesario constatar con la ayuda de un nivelador, que la columna en posición vertical esta recta como se observa en la figura 79.



**Figura 79:** Nivelación de estructura



En la Figura 80 se verifica que la base del rodillo coincide correctamente con la base de la estructura.



**Figura 80:** Base de rodillo coincide con base de la estructura

Una vez ensamblada toda la estructura se aprueba la apariencia de la soldadura, se comprueba también que no hay pulido excesivo y no existen daños en la estructura por mal manejo de maquinaria, esto se muestra en las secciones marcadas en las figuras 81 y 82 respectivamente.



**Figura 81:** Apariencia de soldadura



**Figura 82:** Pulido moderado

Además, se confirma que el rodillo que soporta el material ingresa sin dificultad alguna como lo indica la figura 83, por lo que el dimensionamiento en la construcción coincide correctamente con lo planteado en el diseño.



**Figura 83:** Eje ubicado sin dificultad

### 3.4 Montaje del sistema eléctrico y de control

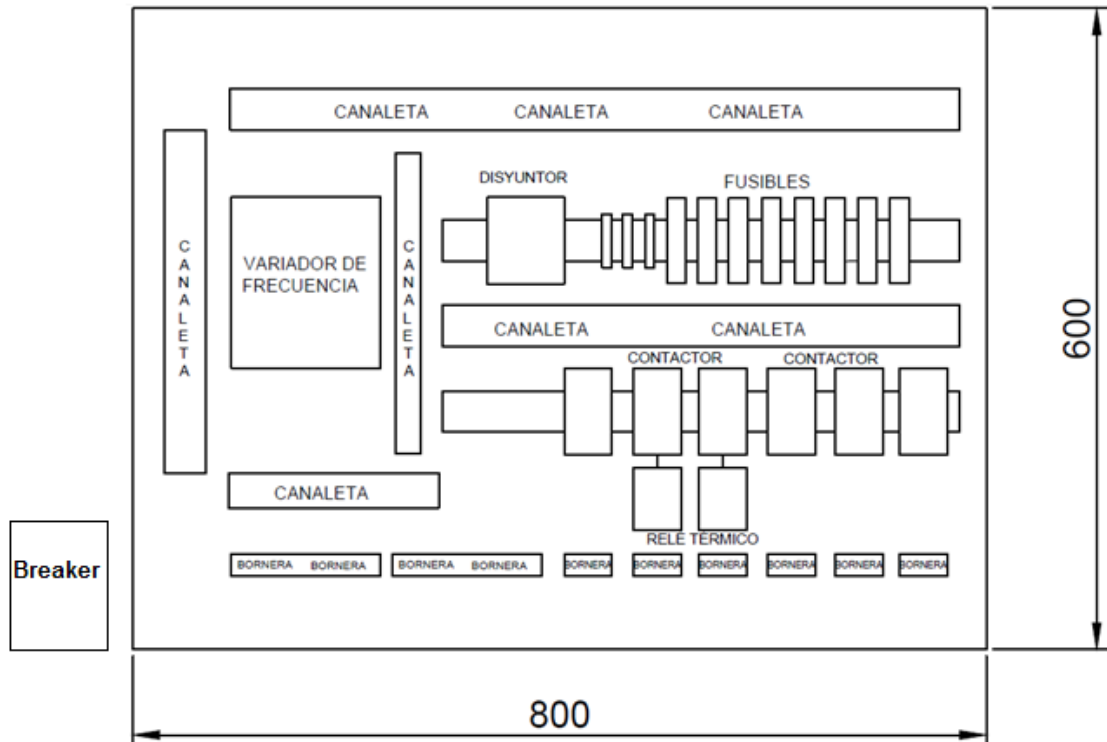
Debido a la disposición de la fábrica, se cuenta con el tablero de control en desuso que se muestra en la figura 84, el mismo que estará ubicado en un sitio seguro y operable.



**Figura 84:** Tablero reutilizado

Para la ubicación de los elementos seleccionados en el capítulo 2, se realiza un esquema mostrado en la figura 85, en cual dichos elementos son colocados adecuadamente, permitiendo de esta manera un correcto uso del espacio disponible en el tablero de control reutilizado.

En la figura 86 se observa la ubicación de canaletas y rieles metálicas en el doble fondo, para facilitar el montaje de cada elemento dentro del tablero y dejando el espacio necesario para ubicar el variador de frecuencia.



**Figura 85:** Esquema de ubicación de elementos del tablero



**Figura 86:** Ubicación de canaletas y rieles

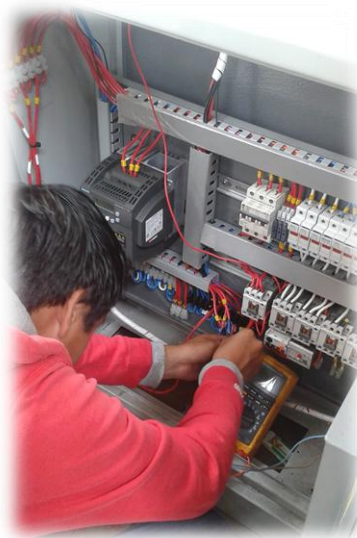
Con lo anteriormente mencionado, se permite tener una correcta y ordenada distribución de los elementos.

Para la manipulación de dichos elementos, se realiza un esquema como se indica en la figura 87 y su finalidad es facilitar el manejo de la máquina.



**Figura 87:** Distribución de elementos de mando y luces piloto

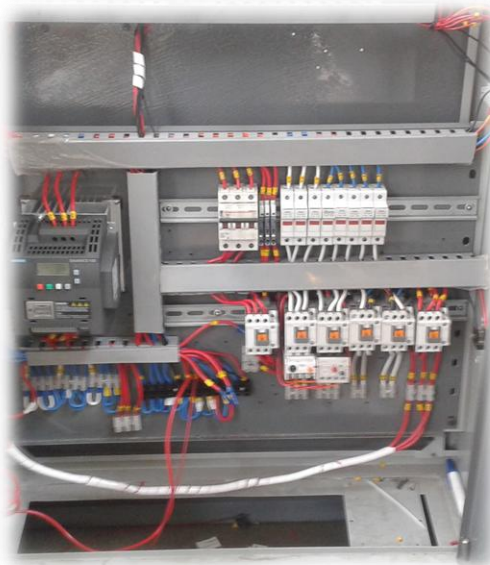
Una vez ubicados todos los elementos en el tablero, es preciso verificar la continuidad en su conexión, tal como lo indica la figura 88, para así lograr el funcionamiento deseado y no tener contratiempos al momento de energizar.



**Figura 88:** Pruebas de continuidad en el tablero



De esta manera se obtiene el tablero de control que se muestra en la figura 89.



**Figura 89:** Parte interior del tablero de control

Y la parte superior de acceso al operador se muestra en la figura 90.



**Figura 90:** Parte exterior del tablero de control

### 3.5 Integración de sistemas

La figura 91 muestra como cada uno de los sistemas como principal, hidráulico, secado, desbobinado y rebobinado, son acoplados para posteriormente hacer pruebas de impresión.



**Figura 91:** Integración de sistemas

## CAPÍTULO IV

### PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 4.1 Pruebas de funcionamiento del sistema mecánico

Para las pruebas, la estructura del desbobinado fue sometida a varias cargas generadas por diferentes pesos de material que se muestran en la tabla 33, y corresponden al rollo de plástico que se imprimirá en la impresora flexográfica. En la misma tabla también se puede apreciar que en la estructura se puede colocar rollos de plástico de hasta 60 Kg sin generar deformación alguna.

**Tabla 33**

Prueba de funcionamiento del sistema mecánico

PESO [Kg]	DEFORMACIÓN
20	Nula
45	Nula
60	Nula

La adaptación de la estructura del desbobinado se llevó a cabo a una distancia de 1,5 metros con respecto a la máquina, con el fin de que si una persona requiere ingresar en este espacio no tenga contacto con el material, si la maquina está en funcionamiento. La tabla 34 indica las pruebas realizadas con personas de estatura mínima, media y máxima, con lo que se puede determinar que en el espacio de 1.5 metros entre la impresora y la estructura del desbobinado puede ingresar una persona de hasta 1.70 metros de altura sin tener contacto alguno con el material durante el funcionamiento.



**Tabla 34**

Contacto de una persona con la estructura

ESTATURA [m]	CONTACTO
1.50	Nulo
1.63	Nulo
1.70	Nulo

## 4.2 Pruebas de funcionamiento del sistema de control general

En el sistema de control se prueba el sistema hidráulico, secado y principal; adicionalmente se comprueba el funcionamiento del rebobinado.

### 4.2.1 Pruebas del sistema hidráulico

Como se explicó en la sección 1.3.1 a partir del accionamiento del motor eléctrico del sistema las bombas hidráulicas permiten la activación de los motores hidráulicos y estos a su vez transmiten movimiento al rodillo agitador de tinta. La figura 92 muestra al rodillo agitador de tinta cumplir su función a partir del accionamiento del motor eléctrico.



**Figura 92:** Prueba del sistema hidráulico agitando tinta

#### 4.2.2 Pruebas del sistema de secado

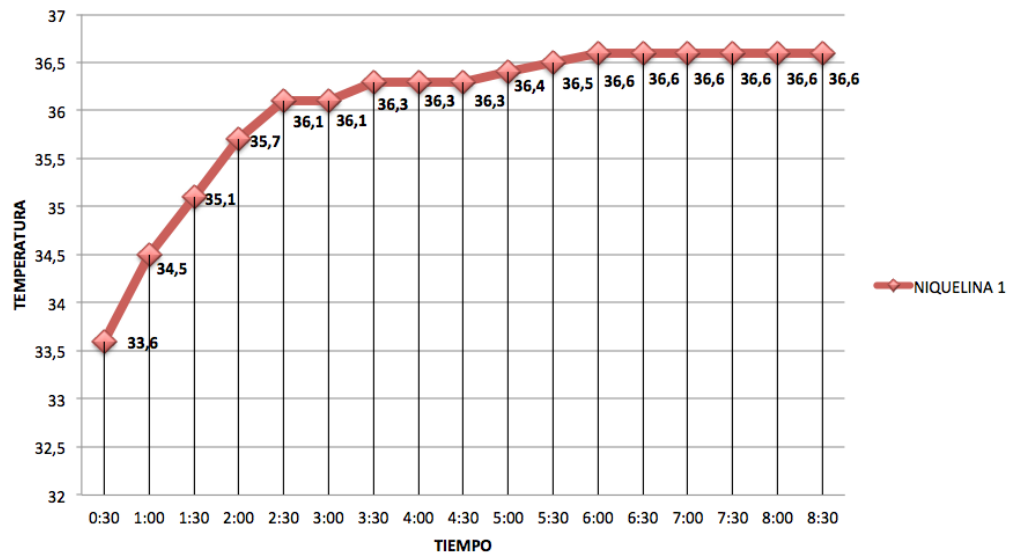
La primera prueba realizada en este sistema consiste en la medición de temperaturas en el sistema de secado a través del encendido del ventilador y el accionamiento de niquelinas en el circuito de control. En la tabla 35 se muestra las temperaturas hasta el tiempo en que se estabilizan con la activación de una y dos niquelinas desde el tablero de control.

**Tabla 35**

Temperatura de niquelinas

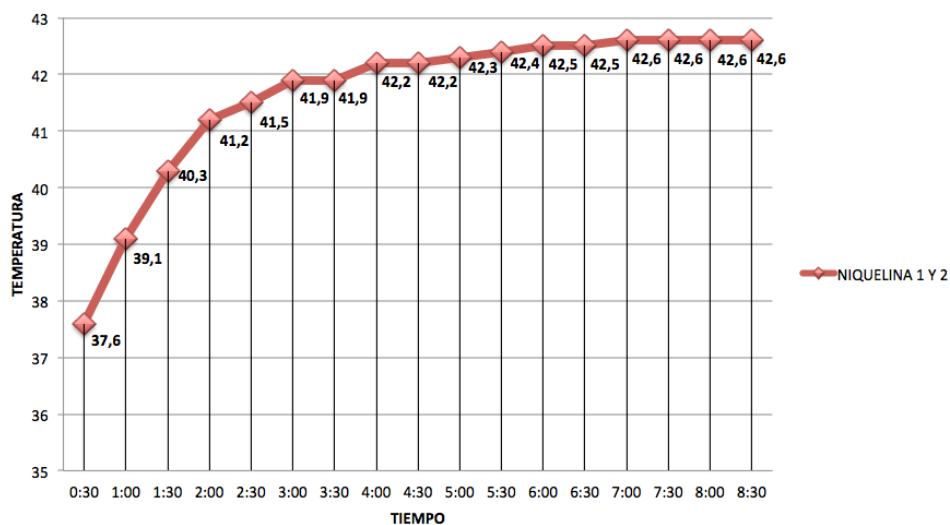
TIEMPOS (min:seg)	TEMPERATURAS	
	NIQUELINA 1 (°C)	NIQUELINA 1 Y 2 (°C)
0:30	33.6	37.6
1:00	34.5	39.1
1:30	35.1	40.3
2:00	35.7	41.2
2:30	36.1	41.5
3:00	36.3	41.9
3:30	36.3	41.9
4:00	36.3	42.2
4:30	36.3	42.2
5:00	36.4	42.3
5:30	36.5	42.4
6:00	36.6	42.4
6:30	36.5	42.4
7:00	36.5	42.5
7:30	36.6	42.6
8:00	36.6	42.6
8:30	36.6	42.6

La figura 93 indica la gráfica de cambio de temperatura del sistema de secado en el tiempo, al accionar una niquelina. Su estabilización es a los 6 minutos desde el accionamiento llegando hasta 36,6 °C.



**Figura 93:** Temperatura niquelina 1

La figura 94 indica la gráfica de cambio de temperatura del sistema de secado en el tiempo, al accionar las dos niquelinas. Su estabilización es a los 7 minutos desde el accionamiento llegando hasta 42,6 °C.



**Figura 94:** Temperatura niquelina 1 y 2

La segunda prueba se llevó cabo durante la impresión. En la tabla 36 se muestra la adherencia o no de tinta sobre la superficie de plástico al imprimir accionando una o dos niquelinas, según las temperaturas obtenidas en la tabla 35.

**Tabla 36**

Adherencia de tinta a diferentes temperaturas

<b>NIQUELINAS</b>	<b>TEMPERATURAS (°C)</b>	<b>RESULTADO</b>
1	36.6	No adherida
1 y 2	42.6	Adherida

Como indica la tabla 36 a una temperatura de 42.6 °C la tinta se adhiere al plástico al momento de imprimir, por lo que se la determina como óptima para la impresión.

#### 4.2.3 Pruebas del sistema principal

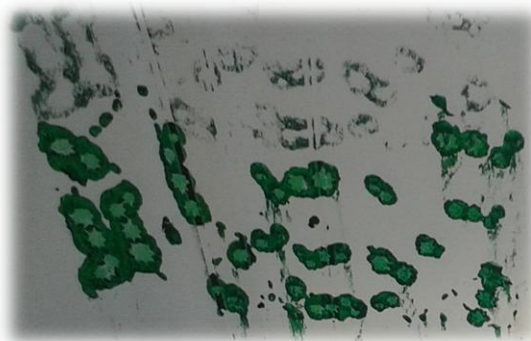
La tabla 37 muestra las pruebas realizadas a distintas velocidades en el sistema principal, es decir, a diferentes frecuencias de trabajo y su resultado en la calidad de impresión.

**Tabla 37**

Pruebas de impresión a distintas frecuencias

<b>FRECUENCIA (Hz)</b>	<b>IMPRESIÓN</b>
8.8	Mala
27.7	Mala
36.4	Buena
40	Buena
47	Mala

Con valores menores a 36.4 Hz la impresión es mala debido a que existe mucha adherencia de tinta en el cliché y por lo tanto en el plástico también como se observa en la figura 95. En la figura 96 se muestra la impresión a frecuencias mayores a 40 Hz también es mala pero por la poca adherencia de tinta en el cliché, siendo así entre 36.4 y 40 Hz el rango óptimo para impresiones de buena calidad como en la figura 97.



**Figura 95:** Impresión a frecuencias menores a 36.4 Hz



**Figura 96:** Impresión a frecuencias mayores a 40 Hz



**Figura 97:** Impresión a frecuencias entre 36.4 y 40 Hz

#### 4.2.4 Rebobinado vs frecuencia de trabajo

La prueba efectuada en el rebobinado corresponde a su accionamiento y regulación acorde a las frecuencias de trabajo del sistema principal de la impresora con las que se obtuvo impresiones de buena calidad, que según la tabla 38 son de 36.4 Hz y 40 Hz. La regulación se llevó a cabo a partir del cambio de resistencia del potenciómetro en el tablero de control del rebobinado, por lo que, se tomaron valores mínimo, medio y máximo de resistencia para saber si el rebobinado de material se sincronizó o no con la frecuencia de trabajo del sistema principal de la máquina.

**Tabla 38**

Resistencia medida en el rebobinado

<b>VALORES</b>	<b>RESISTENCIA (OHM)</b>	<b>FRECUENCIA (Hz)</b>	<b>RESULTADO</b>
Mínimo	2k	36.4	No Sincronizado
Medio	5k	36.4	Sincronizado
Máximo	10k	36.4	Sincronizado
Mínimo	2k	40	No Sincronizado
Medio	5k	40	Sincronizado
Máximo	10k	40	Sincronizado

La tabla 4.6 indica que en valores mínimos el rebobinado de material no se sincroniza con la frecuencia de trabajo de la impresora, lo que no sucede con valores medios y máximos donde si se logra una sincronización permitiendo que el plástico en el rebobinado sea envuelto correctamente.

#### 4.3 Implementación de sistemas

El propósito es obtener impresiones de buena calidad, es decir, como resultado la impresión debe ser:

- Limpia
- Con color nítido
- Con buena adherencia de tinta

Por lo tanto, para las pruebas de impresión es necesario disponer de ciertos materiales como son:

- Tinta a base de acetato
- Alcohol Metílico o industrial
- Lamina de plástico enrollado, previamente tratado a partir de un extrusor de polietileno para abrir la porosidad del material y que la adherencia de la tinta sea posible.
- Cliché con la figura a imprimir

Además de los materiales, se evaluaron otros aspectos que interviene en la calidad de impresión como es la velocidad de la máquina, ya que esta se la controla de acuerdo a la temperatura del sistema de secado. Para la prueba pertinente se tomaron frecuencias de trabajo del sistema principal y en la tabla 39 se las comparó con las temperaturas del sistema de secado al imprimir, obteniendo así que la calidad de impresión es buena a frecuencias de trabajo entre 36.4 y 40 Hz a una temperatura de 42.6 °C .

**Tabla 39**

Comparación entre temperatura y frecuencia durante la impresión

<b>TEMPERATURAS (°C)</b>	<b>FRECUENCIA (HZ)</b>	<b>CALIDAD</b>
36.6	9.5	Mala
42.6	8.8	Mala
42.6	27.7	Mala
42.6	36.4	Buena
42.6	40	Buena
42.6	47	Mala

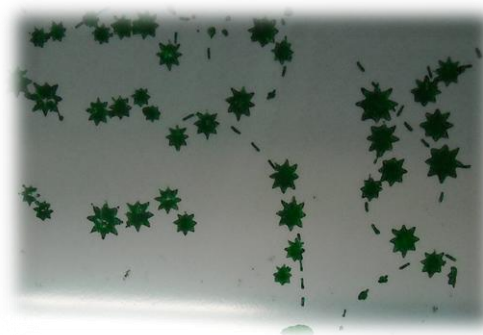
La cantidad de material a imprimir depende del rollo que sea ubicado en la estructura del desbobinado, y el número de impresiones es proporcional al número de revoluciones del rodillo porta cliché. Por lo tanto, en la siguiente prueba se consideran las frecuencias del motor principal de la máquina para impresiones de buena calidad, y a partir de esta se mide con la ayuda de un tacómetro las revoluciones por minuto del rodillo porta cliché, permitiendo obtener las cantidades de impresión mostradas en la tabla 40.

**Tabla 40**

Impresiones de acuerdo a la frecuencia de trabajo

<b>FRECUENCIAS (Hz)</b>	<b>VELOCIDAD DEL RODILLO (RPM)</b>	<b>NÚMERO DE IMPRESIONES POR MINUTO</b>	<b>CALIDAD</b>
8.8	6.6	6	Mala
27.7	20.35	20	Mala
36.4	27.43	27	Buena
40	30.14	30	Buena
47	35.4	35	Mala

Las pruebas mostraron que con el rediseño de sistemas la impresora flexográfica es capaz de producir entre 27 y 30 impresiones de buena calidad, como la mostrada en la figura 98, por minuto.



**Figura 98:** Impresiones de buena calidad



La impresión se llevó a cabo en un rollo de material de 60 Kg que duró en el proceso durante 15 minutos, por lo tanto en este tiempo se obtuvo alrededor de 450 impresiones.

#### **4.4 Validación de la hipótesis**

##### **4.4.1 Comprobación de la hipótesis por el método Chi Cuadrado**

El método chi cuadrado permite determinar si dos variables cualitativas están o no asociadas. Mide la diferencia entre el valor que debería resultar si las variables fueran independientes y el que se ha observado en realidad a partir de una tabla de contingencia y el análisis de frecuencias observadas con esperadas de acuerdo con la hipótesis. Es así que mientras mayor sea la diferencia mayor será la relación entre las variables.

A continuación se llevan a cabo los pasos necesarios para determinar la validez de la hipótesis de trabajo o de la hipótesis nula.

##### **a. Planteamiento de la hipótesis**

¿El rediseño de una impresora flexográfica y la adaptación de desbobinado y rebobinado de materia prima permitirá impresiones de buena calidad en la producción en serie en la fábrica INPLASTICO de la ciudad de Latacunga?

##### **b. Planteamiento hipótesis de alternativa y nula**

Hipótesis alternativa: Las impresiones de buena calidad se obtendrán al rediseñar una impresora flexográfica.

Hipótesis nula: Las impresiones de buena calidad son independientes del rediseño una impresora flexográfica.

### c. Designación de variables

Variable Dependiente: Impresiones de buena calidad.

Variable Independiente: Rediseño de una impresora flexográfica.

### d. Valor de contingencia

Para comparar dos o más grupos de sujetos con respecto a una variable, los resultados suelen ser presentados a modo de tablas de contingencia como muestra la tabla 41. Se han designado como buenas y malas las impresiones obtenidas por el rediseño de la impresora flexográfica, con respecto a las características de una impresión.

**Tabla 41**

Tabla de contingencia

Impresiones	Características de impresión		
	Limpieza	Nitidez	Adherencia de tinta
<b>Buenas</b>	6	8	9
<b>Malas</b>	4	2	1

### e. Frecuencia observada y esperada

La tabla 42 pertenece a la tabla de contingencia de las frecuencias observadas, es decir, de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en un total de 30 casos estudiados.

**Tabla 42**  
Frecuencias observadas

Impresiones	Características de impresión			TOTAL
	Limpieza	Nitidez	Adherencia de tinta	
<b>Buenas</b>	4	8	9	21
<b>Malas</b>	6	2	1	9
<b>TOTAL</b>	10	10	10	30

La tabla 43 muestra las frecuencias esperadas, donde cada valor es calculado con la multiplicación entre la suma de frecuencias observadas en la fila y la suma de frecuencias observadas en la columna a la que la celda corresponde, dividido para el total de casos estudiados, así:

$$fe = \frac{(a + b) * (a + c + d)}{n}$$

Donde:

*a*: frecuencia observada de la celda a calcular

*b*: frecuencia observada correspondiente a la fila de la celda a calcular

*c y d*: frecuencias observadas correspondiente a la columna de la celda a calcular

*n*: total de casos a analizar

**Tabla 43**  
Frecuencias esperadas

Impresiones	Características de impresión			TOTAL
	Limpieza	Nitidez	Adherencia de tinta	
<b>Buenas</b>	7	7	7	21
<b>Malas</b>	3	3	3	9
<b>TOTAL</b>	10	10	10	30

**f. Cálculo Chi Cuadrado**

El cálculo del chi cuadrado se lleva a cabo con la ecuación 4.1.

$$\chi^2_{prueba} = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

**Ec. 4.1.**

Donde:

$f_o$ : Frecuencia observada.

$f_e$ : Frecuencia esperada.

**Tabla 44**  
Cálculo de Chi Cuadrado

Impresiones	Características de impresión			TOTAL
	Limpieza	Nitidez	Adherencia de tinta	
<b>Buenas</b>	1.28	0.14	0.57	1.99
<b>Malas</b>	3	0.33	1.33	4.66
<b>TOTAL</b>	4.28	0.47	1.90	<b>6.65</b>

La tabla 44 muestra el cálculo de chi cuadrado aplicado en cada celda.

### g. Grado de libertad y nivel de significancia

Para el cálculo del grado de libertad se utiliza la ecuación 4.2.

$$v = (\text{número de filas} - 1) * (\text{número de columnas} - 1)$$

**Ec. 4.2.**

Que en este caso sustituyendo los datos sería:

$$v = (2 - 1) * (3 - 1)$$

$$v = 2$$

El nivel de significancia es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula siendo verdadera. Generalmente se trabaja con un valor de 0,05, es decir, un nivel de confianza de 95% como probabilidad de aceptación de la hipótesis planteada.

### h. Análisis

Una vez obtenidos estos datos se recurre a la tabla de valores críticos de la distribución  $\chi^2$  del Anexo N y según el grado de libertad  $v = 2$  y el nivel de confianza 95% se tiene:

$$\chi_{\text{tabla}}^2 = 5.991$$

Con este dato se analiza que si  $\chi_{\text{prueba}}^2 \geq \chi_{\text{tabla}}^2$  se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula. Por el contrario, si  $\chi_{\text{prueba}}^2 < \chi_{\text{tabla}}^2$  se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alternativa.

En este caso, de acuerdo a los resultados obtenidos se tiene que

$$\chi^2_{prueba} \geq \chi^2_{tabla}$$

$$6.65 \geq 5.991$$

Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula, es decir, las impresiones de buena calidad si dependen del rediseño de una impresora flexográfica.

#### 4.5 Análisis de costos

En esta sección se muestra el análisis de los gastos en el desarrollo del proyecto, por lo que, se especifican los componentes usados en el mismo, a excepción de los adquiridos por disponibilidad en bodega.

**Tabla 45**  
Costos del proyecto

CANTIDAD	DETALLE	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<b>Sistema Eléctrico y de Control</b>			
3	Fusible 6 A	0,42	1,26
3	Fusible 3 A	0,42	1,26
5	Fusible 20 A	0,42	2,10
11	Porta fusible	1,43	15,73
1	Contactador 6 A	14,37	14,37
3	Contactador 20 A	25,39	76,17
1	Contactador 9 A	14,37	14,37
1	Relé térmico 1.6 – 2.5 A	27,53	27,53
1	Relé térmico 6 – 9 A	27,53	27,53

CONTINUA



1	Variador de frecuencia Siemens V20 4 HP	556,08	556,08
1	Motor trifásico 380VAC/4HP/1735RPM	290,64	290,64
1	Paro de emergencia	2,32	2,32
3	Selector de 2 posiciones	1,83	5,49
2	Pulsador NC	1,88	3,76
4	Pulsador NA	1,88	7,52
1	Selector de 3 posiciones	2,64	2,64
7	Luz piloto 220 VAC	1,73	12,11
1	Luz piloto 24 VDC	1,83	1,83
3	Borneras	1	3
3	Canaleta plástica 1 metro	1	3
2	Riel metálica 1 metros	5,71	11,42
35	1 Metro cable #12	0,65	22,75
30	1 Metro cable #18	0,20	6
Subtotal 1			1108,88
<b>Sistema Mecánico</b>			
1	Plancha metálica ASTM A-36	20	20
1	Tubo cuadrado estructural A-500 / 6 metros	16	16
1	Tubo redondo acero estructural / 2 metros	8	8
Subtotal 2			44
<b>Mantenimiento</b>			
3	Manómetros hidráulicos	30	90
2	Rodamientos 2206	11	22

CONTINÚA



1	Rodillo de caucho agitador de tinta	300	300
1	Rectificación de caucho agitador de tinta	150	150
Subtotal 3			562,00
<b>TOTAL</b>			<b>1714,88</b>

**Tabla 46**

Costos de la Propuesta

<b>CANTIDAD</b>	<b>DETALLE</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
<b>Sistema Eléctrico y de Control (Propuesto)</b>			
3	Fusible 6 A	0,42	1,26
3	Fusible 3 A	0,42	1,26
5	Fusible 20 A	0,42	2,10
11	Porta fusible	1,43	15,73
1	Contactador 6 A	14,37	14,37
4	Contactador 20 A	25,39	101,56
1	Contactador 9 A	14,37	14,37
1	Relé térmico 1.6 – 2.5 A	27,53	27,53
1	Relé térmico 6 – 9 A	27,53	27,53
1	Variador de frecuencia Siemens V20 4 HP	556,08	556,08
1	Motor trifásico 380VAC/4HP/1735RPM	290,64	290,64
1	Paro de emergencia	2,32	2,32
1	RTD pt100 3 hilos	12,00	12,00
1	Sensor inductivo	18,00	18,00
1	PLC SIEMENS S7-1200 CPU 1214C	570,00	570,00

CONTINÚA





1	Basic Panel KTP600 PN monocromático 5,7"	740,00	740,00
1	SM1231 módulo de señal de 4 entradas analógicas	320,00	320,00
3	Borneras	1,00	3
3	Canaleta plástica 1 metro	1,00	3
2	Riel metálica 1 metros	5,71	11,42
35	1 Metro cable #12	0,65	22,75
30	1 Metro cable #18	0,20	6
<b>TOTAL</b>			<b>2735,53</b>

La tabla 45 indica el valor total gastado en la implementación de la impresora flexográfica, además en la adaptación tanto del desbobinado como del rebobinado.

Como se observa el valor del sistema eléctrico y de control propuesto en la tabla 46 sobre pasa por un valor de 1626,65 dólares al costo del implementado.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Se diseñó el sistema mecánico de acuerdo al peso a soportar en la estructura del desbobinado y el sistema de control de acuerdo a la función que debe cumplir cada parte de la impresora, así como también se adaptó el rebobinado, lo que permitió que el operador tenga un mejor manejo del material al inicio y al final del proceso de impresión.
- Una vez diseñado el sistema de control, se seleccionaron los dispositivos a usar como son fusibles, contactores, disyuntores, variador de frecuencia, motor y conductores a partir de sus características técnicas, aplicabilidad y disponibilidad en el mercado para su adquisición.
- A partir de la aplicación de materiales como el acero ASTM A-36 y el acero estructural ASTM A-500 se obtuvo un factor de seguridad de 3.37 en el análisis estático permitiendo que se soporte fácilmente cargas de hasta 60 Kg sin deformación alguna.
- Se implementó tanto el sistema mecánico como el de control para que la impresora flexográfica cumpla el proceso secuencial de movimientos que se requiere al realizar la impresión, tales como son la salida de plástico hacia la impresora, la impregnación de tinta y su paso por el sistema de secado a velocidades óptimas, y su rebobinado como etapa final.
- La impresora flexográfica rediseñada es capaz de producir alrededor de 30 impresiones de buena calidad en 4 Kg de material por minuto, lo cual es aceptable ya que en comparación con empresas de la ciudad de Quito

como INDUPETRA S. A. que disponen de maquinaria similar pero más sofisticada se tiene como dato 50 impresiones por minuto, y en FLEXIPLAS otra empresa de la misma ciudad se tiene como dato 3 Kg de impresión por minuto.

- A una temperatura de 42.6 °C en el sistema de secado y frecuencias de entre 36.4 y 40 Hz del variador de frecuencia en el sistema principal se obtuvo impresiones de buena calidad con adherencia y secado de tinta aceptables.
- Se logró la producción en serie de la impresora flexográfica que se encontraba fuera de funcionamiento.

## **5.2 Recomendaciones**

- Para evitar daños en la estructura del desbobinado de material, no exceder el peso del rollo para el que fue diseñado.
- Se recomienda empotrar la estructura del desbobinado en la pared para mayor fijación.
- Colocar una plancha de material no conductivo detrás del circuito de potencia en el tablero de control del rebobinado de material.
- Implementar un sistema mezclador que permita el ingreso y salida de tinta en la bandeja, para agilitar el proceso de impresión y facilitar el trabajo del operador.
- Aumentar en la estructura un sistema de frenado de material, que sea más preciso.

- Incorporar un tacómetro para las revoluciones por minuto del rodillo porta cliché para así conocer la constante producción de la máquina.
- Incorporar otra estación de impresión, para de esta manera tener la opción de imprimir en más de dos colores.

## BIBLIOGRAFÍA

- Enríquez Harper, G. (2002). *Guía Práctica para el Cálculo de Instalaciones Eléctricas* (Primera ed.). México, D. F.: Limusa S. A.
- Enríquez Harper, G. (2003). *Protección de Instalaciones Eléctricas Industriales y Comerciales* (Segunda ed.). México, D. F.: LIMUSA S.A.
- Gerín, M. (2008). *Manual electrotécnico Telesquemario*. Schneider.
- Larburu, N. (1990). *MÁQUINAS PRONTUARIO* (Segunda ed.). Madrid: PARANINFO S.A.
- Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas* (Cuarta ed.). México, D. F.: Pearson Educación.
- Shigley, J., & Mischke, C. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica* (Novena ed.). México, D. F.: McGraw-Hill.

## LINKGRAFÍA

Aguirre, J. Actuadores eléctricos y mecánicos.

<https://es.scribd.com/doc/6291040/Resumen-de-Actuadores-Electricos-y-Mecanicos> : [Citado el 20/04/2016].

ARIAN, Pt100, su operación, instalación y tablas.

<http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf> : [Citado el 20/04/2016].

Boluda, J. *Flexografía básica*. <http://es.scribd.com/doc/91935929/Flexografia-basica> : [Citado el 14/12/2015].

Castillo, O. *Cuadro comparativo entre: Motores de CA y motores de CD/CC*. <http://es.slideshare.net/oscarx15/cuadro-comparativo-entre-motores-de-ca-y-motores-de-cdcc> : [Citado el 20/04/2016].

Castiñeria, N., *Sistemas Hidráulicos*. [http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index\\_archivos/Page4769.htm](http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index_archivos/Page4769.htm): [Citado el 14/12/2015].

C8 PROCESOS EN ARTES GRÁFICAS. *Sistema Impresión Flexográfica*. [http://www.geocities.ws/imma\\_font/m1c8/UD1\\_introduccio.pdf](http://www.geocities.ws/imma_font/m1c8/UD1_introduccio.pdf) : [Citado el 10/12/2015].

Florea, A. *Migración de Motores DC a Motores AC con motores RPM AC*. <http://new.abb.com/docs/librariesprovider78/chile-documentos/novenas-jornadas-tecnicas-2015/dm-lp/adrian-florea---migraci%C3%B3n-de-motores.pdf?sfvrsn=2> : [Citado el 20/04/2016].

Molina, *Contactores*.

<http://www.profesormolina.com.ar/electromec/contactor.htm> : [Citado el 10/12/2015].

Dani, R. *Motores industriales*.

<https://coriolisblog.wordpress.com/2008/12/01/motores-industriales-parte-i/> : [Citado el 14/12/2015].

González, Mónica. *Motor Hidráulico*. <http://fisica.laguia2000.com/dinamica-clasica/fuerzas/motor-hidraulico> : [Citado el 14/12/2015].

González, Víctor. *Actuadores*.

[http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0204/ctrl\\_rob/robotica/sistema/actuadores.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/actuadores.htm) : [Citado el 14/12/2015].

La Guía Metas. *Tacómetros (Medición de frecuencia rotacional)*. <http://www.metas.com.mx/guiamet/la-Guia-MetAs-05-09-tacometros.pdf> : [Citado el 14/12/2015].

Manual de Diseño para la Construcción con Acero. *Normas y características a las que se sujetan los aceros fabricados por Altos Hornos de México*.

[http://www.ahmsa.com/Acero/Complem/Manual\\_Construccion\\_2013/Capitulo\\_1.pdf](http://www.ahmsa.com/Acero/Complem/Manual_Construccion_2013/Capitulo_1.pdf) : [Citado el 20/04/2016].

*Motor eléctrico* <http://www.nichese.com/motor.html> : [Citado el 14/12/2015].

*Motores eléctricos - Tipos y fundamentos.*

<https://vertigo2040.wordpress.com/2012/02/28/motor-electrico-tipos-y-fundamentos/> : [Citado el 14/12/2015].

Polamalu *Engranajes*,

<http://polamalu.50webs.com/OF1/mecanica/engranajes.htm#Engranajes>: [Citado el 14/12/2015].

*Proceso de impresión flexográfica.* <http://www.quiminet.com/articulos/conozca-el-proceso-de-impresion-flexografica-y-sus-ventajas-3378667.htm> : [Citado el 14/12/2015].

Prieto, P. *Principios básicos de los PLC.*

<http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/guest/component/content/article/502-monografico-lenguajes-de-programacion?start=2>: [Citado el 20/04/2016].

Rocha, José. *Introducción a los sistemas de control.*  
<https://www.youtube.com/watch?v=1FKW8AaC8a8>: [Citado el 20/04/2016].

Rojas, Jhon. *Control y automatismos eléctricos.*

<http://conociendotemporizadores.blogspot.com/2011/06/sensores-inductivos.html>: [Citado el 20/04/2016].

Sevillano, Fernando. *Variadores de Frecuencia.*

[http://ingenieros.es/files/proyectos/Variadores\\_de\\_frecuencia.pdf](http://ingenieros.es/files/proyectos/Variadores_de_frecuencia.pdf): [Citado el 14/12/2015].

SEE, *Símbolos de relés / mandos electromagnéticos*. <http://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-reles.htm>:  
[Citado el 20/04/2016].

SIEMENS. *Paneles SIMATIC HMI*.

[https://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/es/brochure\\_panels\\_es.pdf](https://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/es/brochure_panels_es.pdf): [Citado el 20/04/2016].

*Sistemas de Impresión: La flexografía*. <http://www.taringa.net/posts/apuntes-y-monografias/14122709/Sistemas-de-Impresion-La-Flexografia.html>:  
[Citado el 14/12/2015].

TEKNOLANAK, *RELÉ*. <https://teknolanak.wikispaces.com/RELE>: [Citado el 20/04/2016].

Unidad Educativa Técnico Salesiana. *Conexión Estrella – Triángulo*.  
<https://automatismosueets.wordpress.com/conexion-estrella-triangulo/>:  
[Citado el 14/12/2015].

WEG. *Selección y aplicación de motores eléctricos*  
<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-seleccion-y-aplicacion-de-motores-electricos-articulo-tecnico-espanol.pdf>: [Citado el 20/04/2016].



# ANEXOS



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores:  
**KATHERINE MARCELA MONTENEGRO MENA y SANTIAGO XAVIER ILLESCAS BONILLA**

En la ciudad de Latacunga, a los **10 días del mes de junio del 2016.**

Ing. Oscar Arteaga

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

**Aprobado por:**

**DIRECTOR DE CARRERA**

**SECRETARIO ACADÉMICO**