



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA LÍNEA DE  
PRODUCCIÓN SEMIAUTOMÁTICA PARA EL PROCESO DE  
TROQUELADO Y ENGOMADO DE MARCOS DE MADERA  
PARA LA MARCA ROMPECABEZAS IDEAL**

**AUTOR: TORRES CARRIÓN, DIEGO FERNANDO**

**DIRECTOR: ING. SANCHEZ, XAVIER**

**CODIRECTORA: ING. LEÓN, PAOLA**

**SANGOLQUÍ**

**2015**

## CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

Certificamos que, el proyecto "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN SEMIAUTOMÁTICA PARA EL PROCESO DE TROQUELADO Y ENGOMADO DE MARCOS DE MADERA PARA LA MARCA ROMPECABEZAS IDEAL" fue realizado en su totalidad por Diego Fernando Torres Carrión, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica.



---

Ing. Xavier Sánchez  
DIRECTOR



---

Ing. Paola León  
CODIRECTORA

Sangolquí, 19 de Marzo del 2015

## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

El proyecto de grado denominado "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN SEMIAUTOMÁTICA PARA EL PROCESO DE TROQUELADO Y ENGOMADO DE MARCOS DE MADERA PARA LA MARCA ROMPECABEZAS IDEAL", ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva y respetando derechos intelectuales de terceros. Por lo que me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

ELABORADO POR:



---

Diego Fernando Torres Carrión

## CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

### AUTORIZACIÓN

Yo: Diego Fernando Torres Carrión

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la institución, del proyecto de grado titulado: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN SEMIAUTOMÁTICA PARA EL PROCESO DE TROQUELADO Y ENGOMADO DE MARCOS DE MADERA PARA LA MARCA ROMPECABEZAS IDEAL", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad y autoría.



---

Diego Fernando Torres Carrión

Sangolquí, 19 de Marzo del 2015

## DEDICATORIA

### ***A Dios y a mi familia.***

Dedico este proyecto a ti Dios por darme esta oportunidad de existir y guiarme en el camino de la vida, el haberme dado a mi familia que siempre me han apoyado incondicionalmente.

### ***A mi Esposa y a mi hija.***

*Durante mi vida tuve la fortuna de encontrarte mi flaquita, tu apoyo y paciencia ha sido muy importante para continuar y a ti mi nena hermosa Emy eres y serás la luz de mi vida.*

## **AGRADECIMIENTOS**

### ***A mi esposa Gaby***

Por tu apoyo en todos los momentos durante la culminación de la tesis.

### ***A mi Padres Marco y Marianita***

Por brindarme durante toda mi vida su apoyo incondicional, gracias papá y mamita querida por su consejos.

### ***A mis Hermanos Xavier y Andrés***

Por acolitarme en la culminación de mi tesis gracias hermanos por su ayuda.

### ***A mis Compañeros***

A los amigo que hice en lo largo de esta carrera por bridarme su compañerismo y acolite.

### ***A mis Tutores***

Gracias por su apoyo y ayuda durante todo el proceso de la tesis.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....	II
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	III
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA .....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTOS .....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVI
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XVIII
RESUMEN EJECUTIVO .....	XIX
ABSTRACT .....	XX
CAPÍTULO I .....	1
1. GENERALIDADES .....	1
1.1. ANTECEDENTES .....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	2
1.3. ALCANCE DEL PROYECTO .....	2
1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	3
1.5. OBJETIVOS .....	3
1.5.1. GENERAL .....	3
1.5.2. ESPECÍFICOS .....	4
CAPÍTULO II .....	5
2. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. DEFINICIÓN DE TRABAJO EN FRÍO .....	5
2.2. TROQUELADO .....	6
2.2.1. TROQUELADORAS .....	6
2.3. PRENSA HIDRÁULICA .....	7
2.3.1. TIPOS DE PRENSAS .....	7
2.3.2. APLICACIONES .....	8

2.4.	MÁQUINA DE ENGOMADO .....	8
2.5.	TABLERO DE FIBRA DE DENSIDAD MEDIA (MDF) .....	9
2.6.	SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN .....	11
2.6.1.	TIPOS DE MECANISMOS DE ALIMENTACIÓN .....	11
2.6.2.	APLICACIONES.....	13
2.7.	AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.....	14
2.7.1.	DEFINICIÓN .....	14
2.7.2.	OBJETIVOS DE LA AUTOMATIZACIÓN:.....	14
2.7.3.	LA MECATRÓNICA EN LA AUTOMATIZACIÓN .....	14
2.8.	FABRICACIÓN DE ROMPECABEZAS.....	16
2.8.1.	PROCESO DE FABRICACIÓN.....	16
2.8.2.	FABRICACIÓN EN ECUADOR.....	17
CAPÍTULO III.....		19
3.	ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS .....	19
3.1.	IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO .....	19
3.1.1.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	20
3.2.	PROPUESTAS DE SOLUCIÓN.....	21
3.2.1.	EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CONFIGURACIÓN DEL PROCESO .....	25
CAPÍTULO IV.....		27
4.	DISEÑO .....	27
4.1.	REQUERIMIENTOS DE DISEÑO.....	27
4.2.	MATERIALES SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE .....	28
4.3.	DESCRIPCIÓN DE LA PRENSA .....	29
4.4.	DISEÑO MECÁNICO.....	29
4.4.1.	ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN PARA EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y CENTRADO.....	29
4.4.1.1.	MATRIZ DE SELECCIÓN PARA SISTEMA ALIMENTACIÓN Y CENTRADO .....	30
4.4.1.2.	DIMENSIONAMIENTO ANALÍTICO DE LA ESTRUCTURA.....	30

4.4.1.3.	ANÁLISIS DE CARGAS .....	35
4.4.1.4.	SIMULACIÓN MEDIANTE SOFTWARE DE ESFUERZOS, DEFORMACIONES Y FACTOR DE SEGURIDAD .....	36
4.4.1.5.	MATRIZ DE SELECCIÓN PARA SISTEMA DE ENGOMADO .....	42
4.4.1.5.1.	MATRIZ DE SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRASMISIÓN .....	42
4.4.2.	ANÁLISIS DE CARGAS Y VERIFICACIÓN .....	43
4.4.3.	DIMENSIONAMIENTO ANALÍTICO DE LA ESTRUCTURA.....	75
4.4.4.	SIMULACIÓN MEDIANTE SOFTWARE DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES .....	76
4.5.	SISTEMA NEUMÁTICO .....	82
4.5.1.	MATRIZ DE SELECCIÓN .....	82
4.5.2.	DESCRIPCIÓN .....	82
4.5.3.	SELECCIÓN DE ELEMENTOS .....	84
4.5.3.1.	CILINDRO NEUMÁTICO .....	84
4.6.	SISTEMA ELÉCTRICO .....	90
4.6.1.	ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA .....	90
4.6.2.	SELECCIÓN DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS .....	91
4.6.3.	DISTRIBUCIÓN DEL TABLERO DE CONTROL .....	93
4.6.4.	PLANOS ELÉCTRICOS.....	94
4.7.	SISTEMA DE CONTROL.....	94
4.7.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO .....	94
4.7.2.	SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL.....	95
4.7.2.1.	SENSORES .....	95
4.7.2.2.	CONTROLADOR .....	97
4.7.3.	DESCRIPCIÓN DE VARIABLES A CONTROLAR.....	98
4.7.4.	DIAGRAMA DE FLUJO DEL FUNCIONAMIENTO GENERAL .....	99
4.7.5.	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL FUNCIONAMIENTO GENERAL.....	101
4.7.6.	PROGRAMACIÓN .....	101
4.7.7.	MANUAL DE USUARIO .....	104

CAPÍTULO V.....	105
5. CONSTRUCCIÓN.....	105
5.1. PLANOS .....	109
5.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....	109
5.2.1. PROCESO DE TROQUELADO DEL MARCO.....	109
5.2.1.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	112
5.2.2. PROCESO DE ENGOMADO DEL MARCO.....	113
5.2.2.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	116
5.3. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA.....	117
CAPÍTULO VI.....	120
6. ESTUDIO FINANCIERO .....	120
6.1. PRESUPUESTO REFERENCIAL.....	123
CAPÍTULO VII.....	128
7. CONCLUSIONES .....	128
7.1. RECOMENDACIONES.....	129
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	130

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 PRENSA HIDRÁULICA DE SIMPLE ACCIÓN .....	8
FIGURA 2.2 MÁQUINA ENGOMADORA .....	9
FIGURA 2.3 ESQUEMA DE ENCOLADORA DE APLICACIÓN UNA Y DOS CARAS.....	9
FIGURA 2.4 DIVERSOS TABLONES DE MDF .....	10
FIGURA 2.5 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN LINEAL POR RODILLOS.....	12
FIGURA 2.6 ESCUADRAS MÓVILES .....	12
FIGURA 2.7 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN NEUMÁTICA.....	13
FIGURA 2.8 SISTEMA DE DISEÑO MECATRÓNICO .....	15
FIGURA 2.9 CORTE MEDIANTE TROQUEL .....	17
FIGURA 2.10 PLANCHA DE MADERA CON SU RESPECTIVO MARCO ..	18
FIGURA 3.1 FOTO DE LA PRENSA HIDRÁULICA Y DE LA CALADORA DE MESA PROPIEDAD DE LA MARCA ROMPECABEZAS IDEAL .....	20
FIGURA 3.2 FOTO DE LA CUCHILLA RECTANGULAR PARA EL PROCESO DE TROQUELADO Y MARCO DE MADERA TROQUELADO .	20
FIGURA 3.3 LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE TROQUELADO Y ENGOMADO VISTA DIMÉTRICA MODELO A.....	22
FIGURA 3.4 MODELO DE LA MÁQUINA ENGOMADORA A .....	23
FIGURA 3.5 LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE TROQUELADO Y ENGOMADO VISTA DIMÉTRICA MODELO B.....	24
FIGURA 3.6 MODELO DE LA MÁQUINA ENGOMADORA B .....	25
FIGURA 4.1 ELEMENTOS ENTREGADOS POR ROMPECABEZAS IDEAL .....	28
FIGURA 4.2 PRENSA HIDRÁULICA .....	29
FIGURA 4.3 ESTRUCTURA GENERAL SISTEMA ALIMENTACIÓN Y CENTRADO.....	30
FIGURA 4.4 DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA DE ALIMENTACIÓN, (UNIDADES=MM) .....	31
FIGURA 4.5 DISEÑO ESTRUCTURA DE ALIMENTACIÓN .....	32
FIGURA 4.6 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE APILACIÓN .....	33

FIGURA 4.7 DIMENSIONAMIENTO DEL LA ESTRUCTURA DE SOPORTE GENERAL PARA ALIMENTACIÓN Y CENTRADO, (UNIDADES=MM) .....	34
FIGURA 4.8 DIMENSIONES DEL CILINDRO NEUMÁTICO .....	34
FIGURA 4.9 DIMENSIONAMIENTO DE ALTURA DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE GENERAL DE ALIMENTACIÓN.....	35
FIGURA 4.10 ANÁLISIS DE CARGA ESTRUCTURA DE SOPORTE GENERAL DE ALIMENTACIÓN .....	36
FIGURA 4.11 ANÁLISIS DE ESFUERZOS .....	37
FIGURA 4.12 ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN.....	38
FIGURA 4.13 ANÁLISIS DE FACTOR DE SEGURIDAD .....	39
FIGURA 4.14 ANÁLISIS DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN.....	40
FIGURA 4.15 ANÁLISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD .....	41
FIGURA 4.16 ESQUEMA CINEMÁTICO PARA LA TRASMISIÓN DE POTENCIA.....	45
FIGURA 4.17 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE EJE 1 .....	48
FIGURA 4.18 DIAGRAMA POLEA-BOCÍN VISTA LATERAL.....	48
FIGURA 4.19 DIAGRAMA LATERAL EJE 1,2 Y 3.....	50
FIGURA 4.20 DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR DEL EJE 1 PLANO X-Y.....	51
FIGURA 4.21 DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR DEL EJE 1 PLANO X-Z.....	52
FIGURA 4.22 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE EJE 2 .....	56
FIGURA 4.23 DIAGRAMA DE TENSIÓN Y FUERZAS EJE 2 EN EL PUNTO B.....	56
FIGURA 4.24 DIAGRAMA DE TENSIÓN Y FUERZA EJE 2 EN EL PUNTO D.....	58
FIGURA 4.25 DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR DEL EJE 2 PLANO X-Y.....	59
FIGURA 4.26 DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR DEL EJE 2 PLANO X-Z.....	60
FIGURA 4.27 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE EJE 3 .....	62

FIGURA 4.28 DIAGRAMA DE TENSION Y FUERZAS EJE 3 EN EL PUNTO A.....	62
FIGURA 4.29 DIAGRAMA DE TENSION Y FUERZA EJE 3 EN EL PUNTO D.....	63
FIGURA 4.30 DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR DEL EJE PLANO X-Y.....	64
FIGURA 4.31 DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR DEL EJE 3 PLANO X-Z.....	64
FIGURA 4.32 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE EJE 4 .....	66
FIGURA 4.33 DIAGRAMA DE TENSION Y FUERZA EJE 4 EN EL PUNTO C.....	66
FIGURA 4.34 DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR DEL EJE 4 PLANO X-Y.....	67
FIGURA 4.35 DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR DEL EJE 4 PLANO X-Z.....	68
FIGURA 4.36 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE EJE 5 .....	69
FIGURA 4.37 DIAGRAMA DE TENSION Y FUERZA EJE 5 EN EL PUNTO C.....	70
FIGURA 4.38 DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR DEL EJE 5 PLANO X-Y.....	71
FIGURA 4.39 DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR DEL EJE 5 PLANO X-Z.....	72
FIGURA 4.40 DATOS TÉCNICOS CATALOGO RODAMIENTOS NTN .....	74
FIGURA 4.41 ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA DE ENGOMADO UNIDADES- MM.....	76
FIGURA 4.42 ANÁLISIS DE ESFUERZOS .....	77
FIGURA 4.43 ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN.....	78
FIGURA 4.44 ANÁLISIS DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN.....	80
FIGURA 4.45 ANÁLISIS DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN.....	81
FIGURA 4.46 ESQUEMA NEUMÁTICO DE POTENCIA DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y CENTRADO.....	83

FIGURA 4.47 COMPRESOR Y UNIDAD DE MANTENIMIENTO PERTENECIENTES A ROMPECABEZAS IDEAL .....	83
FIGURA 4.48 CICLO DEL TRABAJO DEL CILINDRO NEUMÁTICO.....	84
FIGURA 4.49 CILINDRO NEUMÁTICO AIRTAC (NORMA ISO15552) .....	85
FIGURA 4.50 CRITERIO DE SELECCIÓN DE FUERZA DE EMPUJE DEL CILINDRO.....	86
FIGURA 4.51 DIAGRAMA DE PANDEO .....	86
FIGURA 4.52 FACTOR DE MONTAJE.....	87
FIGURA 4.53 ELECTROVÁLVULA 5/3-VIAS .....	88
FIGURA 4.54 ESPECIFICACIONES ELECTROVÁLVULA 5/3-VIAS .....	88
FIGURA 4.55 DIAGRAMA CAUDAL VS PRESIÓN .....	89
FIGURA 4.56 BREAKER DE DOS POLOS Y FUSIBLE Y PORTAFUSIBLE DE CONTROL .....	92
FIGURA 4.57 BOTONES DE MANDO.....	92
FIGURA 4.58 RELÉ 24 VDC .....	93
FIGURA 4.59 LUZ LICUADORA 110VAC .....	93
FIGURA 4.60 DISTRIBUCIÓN DEL TABLERO DE CONTROL.....	94
FIGURA 4.61 SENSORES INDUCTIVOS CAPACITIVOS Y MAGNÉTICOS.....	96
FIGURA 4.62 TRANSDUCTOR DE PRESIÓN .....	96
FIGURA 4.63 DATOS TÉCNICOS LOGO-CATÁLOGO DE SIEMENS .....	97
FIGURA 4.64 LOGO! 12/24RC Y MODULO DIGITAL .....	98
FIGURA 4.65 DIAGRAMA DE FLUJO DEL FUNCIONAMIENTO GENERAL.....	100
FIGURA 4.66 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL FUNCIONAMIENTO GENERAL.....	101
FIGURA 4.67 NOMBRE DE CONECTORES.....	101
FIGURA 4.68 INGRESO DATOS MEDIANTE DISPLAY LOGO.....	102
FIGURA 4.69 HABILITACIÓN DEL PROCESO E INICIALIZACIÓN .....	103
FIGURA 4.70 INGRESO DEL MATERIAL .....	103
FIGURA 4.71 PARO DE EMERGENCIA .....	104

FIGURA 5.1 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE ALIMENTACIÓN .....	106
FIGURA 5.2 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE GENERAL DE ALIMENTACIÓN.....	106
FIGURA 5.3 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE APILACIÓN .....	107
FIGURA 5.4 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA PARA ENGOMADO .....	107
FIGURA 5.5 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA PARA EL SISTEMA DE TRASMISIÓN .....	108
FIGURA 5.6 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA PARA EL SOPORTE GENERAL .....	108
FIGURA 5.7 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL EJE 1 .....	109
FIGURA 5.8 DIAGRAMA DEL MARGEN.....	110
FIGURA 5.9 DIAGRAMA DEL MARGEN Y MARCO TROQUELADO .....	111
FIGURA 5.10 PIÑONES DEL EJE 4 Y 5 .....	114
FIGURA 5.11 ENCODER VOUT.....	114
FIGURA 5.12 ENGOMADO PARCIAL DEL MARCO.....	116
FIGURA 5.13 ENGOMADO TOTAL DEL MARCO Y PLANCHA .....	116
FIGURA 5.14 INTEGRACIÓN DEL SISTEMA.....	117
FIGURA 5.15 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y CENTRADO.....	117
FIGURA 5.16 SISTEMA NEUMÁTICO INSTALADO .....	118
FIGURA 5.17 SOPORTES Y SENSORES INSTALADOS.....	119
FIGURA 5.18 TRANSDUCTOR DE PRESIÓN INSTALADO.....	119
FIGURA 5.19 TABLERO DE CONTROL INSTALADO .....	119

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 CARACTERÍSTICAS FISICOMECAÑICAS.....	11
TABLA 3.1 TABLA DE SELECCIÓN DE MODELO. ....	26
TABLA 4.1 DESCRIPCIÓN COMPONENTES SUMINISTRADOS.....	28
TABLA 4.2 DESCRIPCIÓN DE LA PRENSA HIDRÁULICA.....	29
TABLA 4.3 SELECCIÓN DE SISTEMA PARA ALIMENTACIÓN Y CENTRADO PARA LA PRENSA HIDRÁULICA. ....	30
TABLA 4.4 PESOS DE PLANCHAS DE MADERA.....	36
TABLA 4.5 DATOS TÉCNICOS TUBO RECTANGULAR (ACERO A-36)...	39
TABLA 4.6 DATOS TÉCNICOS TUBO CUADRADO (ACERO A-36).....	40
TABLA 4.7 CÁLCULO DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN.....	41
TABLA 4.8 SELECCIÓN DE SISTEMA MECÁNICO PARA ENGOMADO.	42
TABLA 4.9 SELECCIÓN DE TRANSMISIÓN PARA LA MÁQUINA ENGOMADORA.....	42
TABLA 4.10 DATOS CALCULADOS.....	47
TABLA 4.11 DATOS TÉCNICOS ACERO DE TRANSMISIÓN AISI 1020. ....	53
TABLA 4.12 PARÁMETROS PARA CORRECCIÓN SUPERFICIAL.....	54
TABLA 4.13 DATOS CALCULADOS PARA HALLAR S'N CORREGIDO. ...	55
TABLA 4.14 PESOS ELEMENTOS.....	76
TABLA 4.15 CÁLCULO DE ESFUERZO Y DEFLEXIONES.....	80
TABLA 4.16 CÁLCULO DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN.....	81
TABLA 4.17 MATRIZ DE SELECCIÓN DEL SISTEMA NEUMÁTICO DE ALIMENTACIÓN Y CENTRADO PARA LA PRENSA HIDRÁULICA. ....	82
TABLA 4.18 DESCRIPCIÓN DE EQUIPO NEUMÁTICO VIGENTE.....	84
TABLA 4.19 CÁLCULO DE CONVERSIÓN DE PRESIÓN DEL CILINDRO Y DE LA PRESIÓN DE TRABAJO.....	85
TABLA 4.20 ALIMENTACIÓN DE TRABAJO.....	91
TABLA 4.21 REQUERIMIENTOS PARA EL SISTEMA DE CONTROL.....	95
TABLA 4.22 CANTIDAD Y TIPO DE VARIABLES A CONTROLAR.....	97
TABLA 4.23 DESCRIPCIÓN DE VARIABLES.....	98
TABLA 5.1 DATOS DE MATERIALES UTILIZADOS.....	105

TABLA 5.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN SIN MATERIAL. ....	110
TABLA 5.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CENTRADO CON MATERIAL. ....	110
TABLA 5.4 VERIFICACIÓN DEL PROGRAMACIÓN (PRESIÓN=8 BAR) CON MATERIAL. ....	111
TABLA 5.5 PRUEBAS DE RESULTADOS A DIFERENTES PRESIONES. ....	112
TABLA 5.6 RESULTADOS A UNA PRESIÓN DE 36 BARES. ....	112
TABLA 5.7 TIEMPO Y PRODUCCIÓN. ....	113
TABLA 5.8 PRUEBA EN VACÍO. ....	113
TABLA 5.9 VELOCIDAD DEL SALIDA. ....	114
TABLA 5.10 PRUEBA CON MATERIAL. ....	115
TABLA 5.11 RESULTADOS. ....	115
TABLA 6.1 TIEMPO Y PRODUCCIÓN DE UN OPERARIO. ....	121
TABLA 6.2 COMPARACIÓN DE TIEMPO Y PRODUCCIÓN. ....	122
TABLA 6.3 TIEMPO TOTAL PROCESO TROQUELADO Y ENGOMADO. ....	122
TABLA 6.4 INGRESO USD DÍAS DE PRODUCCIÓN. ....	123
TABLA 6.5 COSTO DE ELEMENTOS MAQUINA ENGOMADORA. ....	124
TABLA 6.6 COSTO DE FABRICACIÓN. ....	125
TABLA 6.7 COSTO DE ELEMENTOS ALIMENTACIÓN Y CENTRADO... ..	126
TABLA 6.8 COSTO DE FABRICACIÓN. ....	127
TABLA 6.9 COSTO TOTAL. ....	127

**ÍNDICE DE ANEXOS**

<b>ANEXO A</b>	PLANOS ELÉCTRICOS.
<b>ANEXO B</b>	PROGRAMACIÓN.
<b>ANEXO C</b>	MANUAL DE USUARIO.
<b>ANEXO D</b>	PLANOS MECÁNICOS.
<b>ANEXO E</b>	DATOS TÉCNICOS DE LOS SENSORES.
<b>ANEXO F</b>	PROFORMAS DE MAQUINARIA.
<b>ANEXO G</b>	CÁLCULO DEL VAN Y EL TIR.

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El presente proyecto de grado denominado “diseño y construcción de una línea de producción semiautomática para el proceso de troquelado y engomado de marcos de madera para la marca rompecabezas ideal.”, tiene como finalidad implementar un sistema mecatrónico dentro del mercado artesanal mejorando la calidad del producto. Los conocimientos para el desarrollo del prototipo han sido adquiridos dentro de la industria artesanal para la fase de diseño de la alimentación automática para la producción de marcos de madera se emplearán conocimientos sistemas de control, sistemas neumáticos, diseño de elementos y máquinas. Con la construcción de un prototipo para el engomado de perfiles de madera y satisfacer las especificaciones técnicas requeridas por la marca patrocinadora.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **TROQUELADO**
- **ENGOMADO**
- **ALIMENTADOR**
- **SISTEMA NEUMÁTICO**
- **PRENSA SEMIAUTOMÁTICA**

## **ABSTRACT**

This graduation project entitled "Design and construction of a semi-automatic production line for die cutting and gluing wooden frames for the brand puzzle ideal ", Aims at implementing a mechatronic system within the handmade market improving quality product. Knowledge for the development of the prototype have been acquired within the craft industry for the design phase of the automatic feed for the production of wooden frames knowledge control systems, pneumatic systems, design elements and machines will be used. With the construction of a prototype for gluing wood profiles and meet the technical specifications required by the sponsoring brand.

### **KEYWORDS:**

- **DIE-CUTTING**
- **GLUE**
- **FEED**
- **PNEUMATIC SYSTEM**
- **SEMI-AUTOMATIC PRESS**

## **CAPÍTULO I**

### **1. GENERALIDADES**

En el presente capítulo se describen de manera general el proyecto de grado. En primer lugar se detalla los antecedentes de la marca auspiciante ROMPECABEZAS IDEAL. En segundo lugar, se presenta el alcance del proyecto. Finalmente se realiza descripción y objetivos del proyecto.

#### **1.1. Antecedentes**

La marca ROMPECABEZAS IDEAL es un taller artesanal que se ha dedicado hace más de una década a la elaboración de rompecabezas de madera. En Ecuador la fabricación de los rompecabezas de madera ha sido de forma artesanal.

Conociendo las demandas actuales del mercado nacional e internacional la marca ROMPECABEZAS IDEAL, con el objetivo de mejorar continuamente decide iniciar un cambio en la producción de rompecabezas, implementando maquinaria para el troquelado e investigando acerca de máquinas para el proceso de engomado de los marcos de madera, debido a que estos procesos generan cuellos de botella en el taller.

A pesar del esfuerzo realizado por ROMPECABEZAS IDEAL al haber adquirido una prensa hidráulica para el proceso de troquelado (ver Figura 3.2) y no encontrar dentro del mercado nacional maquinaria para el engomado decide exponer dichos inconvenientes para desarrollar una línea de producción semiautomático para el proceso de troquelado y engomado de marcos de madera.

## **1.2. Justificación**

Por el momento la marca ROMPECABEZAS IDEAL se encuentra protegido por los aranceles del gobierno para la importación de rompecabezas ya que excluiría la producción artesanal pero si esto llegara a cambiar la empresa estaría en peligro y es ahí donde se encuentra la oportunidad de automatizar el proceso propuesto en este proyecto y de esta manera aumentar su productividad reduciendo tiempo y costos siendo más competitivos a nivel nacional.

El desarrollo de este proyecto es de fundamental importancia debido a que a nivel nacional dentro del área maderera artesanal no cubre la demanda de máquinas y procesos para un uso general o específico. Este sector está creciendo rápidamente, los puntos de fabricación son escasos y la tecnología empleada es anticuada e ineficiente por lo que el producto obtenido no es de calidad y no llena las expectativas del consumidor.

A pesar del esfuerzo realizado por parte de ROMPECABEZAS IDEAL para obtener una prensa hidráulica y así realizar el proceso de troquelado en la madera no se ha logrado unificar esta línea de producción, como es el centrado automático de la madera para el troquelado y posteriormente el pegado, partiendo de estos dos problemas se expone el proyecto.

## **1.3. Alcance del proyecto**

El alcance del proyecto es diseñar y construir una línea de producción semiautomática para el proceso de troquelado y engomado de marcos de madera que garantice flexibilidad y eficiencia en los diferentes tipos de marcos de madera producidos por la marca auspiciante y satisfacer las especificaciones solicitadas.

## **1.4. Descripción del proyecto**

En este proyecto se va a realizar el diseño y construcción de una línea de producción semiautomática para el proceso de troquelado y engomado de marcos de madera para la marca ROMPECABEZAS IDEAL, para lo cual se emplearán conocimientos de sistemas de control, sistemas hidráulicos/neumáticos, diseño de elementos y máquinas.

En la etapa de construcción se empezará con la elaboración de planos, luego se determinarán los procesos de fabricación a ser utilizados, selección de los materiales acorde al mercado, finalizando con la elaboración de la máquina.

En lo que concierne al ensamblaje se tiene que diseñar el mecanismo de la plancha móvil, de los rodillos de presión para el paso de los marcos de madera, sistema de alimentación automática realizando los planos de montaje y las modificaciones necesarias para el acoplamiento de los componentes mecánicos.

Por último se realizarán las pruebas y los ajustes necesarios para obtener los mejores resultados y eficiencia, así como un manual de usuario y un estudio de los criterios de seguridad requeridos.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. General**

Diseñar y construir una línea de producción semiautomática para el proceso de troquelado y engomado de marcos de madera para la marca ROMPECABEZAS IDEAL.

### 1.5.2. Específicos

- Realizar un marco teórico aplicado al proyecto.
- Analizar y seleccionar alternativas.
- Diseñar los elementos mecánicos para el proceso de troquelado y engomado del marco de madera.
- Elaborar los planos para la construcción de los sistemas.
- Seleccionar los componentes electrónicos para la automatización del sistema de alimentación.
- Construir una maquina engomadora eficiente, compacta y económica.
- Construir un sistema de alimentación y centrado capaz de satisfacer tres medidas diferentes de madera.
- Diseñar un control automático para el proceso de troquelado mediante una interfaz Hombre-Máquina (HMI) para seleccionar presión de trabajo y tamaños de madera.
- Realizar pruebas de funcionamiento de los mecanismos y procesos.
- Elaborar un manual de usuario de la línea de producción.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Definición de trabajo en frío

El trabajo en frío hace referencia a todos aquellos procesos de conformado realizado a baja temperatura generalmente ambiente, tiene un acabado brillante y bastante exacto, mejora la resistencia y la maquinabilidad.

El endurecimiento por deformación plástica en frío es el fenómeno por medio del cual un metal dúctil se vuelve más duro y resistente a medida que es deformado plásticamente. La desventaja es que posee un proceso muy duro (60 Rockwell C).

Ventajas:

- Ahorro del costo del trabajo con temperaturas altas.
- Mayor precisión.
- Evita la decoloración (oxidación) de la superficie que que ocurre en temperaturas altas.
- Acabado inmediato.

Los procesos de deformación en frío más comunes a nivel industrial son:

- Laminado.
- Forjado en frío.
- Troquelado.
- Extrusión.
- Trefilación (estirado de alambres).

- Doblado.
- Embutido.

## **2.2. Troquelado**

Se denomina troquelado a la operación mecánica que se utiliza para realizar agujeros en chapas de metal, láminas de plástico, papel, madera, cartón. Para realizar esta tarea, se utilizan desde simples mecanismos de accionamiento manual hasta sofisticadas prensas mecánicas de gran potencia.

Los elementos básicos de una troqueladora lo constituyen el troquel que tiene la forma y dimensiones del agujero que se quiera realizar, y la matriz de corte por donde se inserta el troquel cuando es impulsado de forma energética por la potencia que le proporciona la prensa mediante un accionamiento de excéntrica que tiene y que proporciona un golpe seco y contundente sobre la chapa, produciendo un corte limpio de la misma.

### **2.2.1. Troqueladoras**

Las llamadas troqueladoras son prensas accionadas tanto mecánica como hidráulicamente (ver figura 2.1), con construcción horizontal y vertical, que ejecutan el movimiento y transmiten la fuerza a la base superior del troquel para que este, con ayuda de la presión, penetre la matriz, sujeta a la mesa de la máquina, y transforme la lámina.

## 2.3. Prensa Hidráulica

### 2.3.1. Tipos de prensas

Por su sistema de transmisión pueden clasificarse en:

- Prensas a volante directo.
- Prensas de reducción.
- Prensas de doble reducción.
- Prensas de reducción paralela.
- Prensas de cinemática especial.

Por su estructura se pueden clasificar:

- Prensas de cuello de cisne.
- Prensas de doble montante.

Por su velocidad se clasifican en:

- Prensas convencionales (de 12 a 200 golpes minuto en función de su tamaño).
- Prensas rápidas (de 300 a 700 golpes por minuto).
- Prensas de alta velocidad (de 800 hasta 1600 golpes por minuto).

Otro tipo de prensas aparecidas recientemente son las servoprensas, en estas prensas se elimina el embrague y el volante de inercia obteniendo toda su energía de uno o varios servomotores conectados al eje principal mediante reductoras planetarias o mediante palancas articulas. (Troquelaci, 2014)



**Figura 2.1 Prensa hidráulica de simple acción**  
**Fuente: (Machinerychina, 2014)**

### **2.3.2. Aplicaciones**

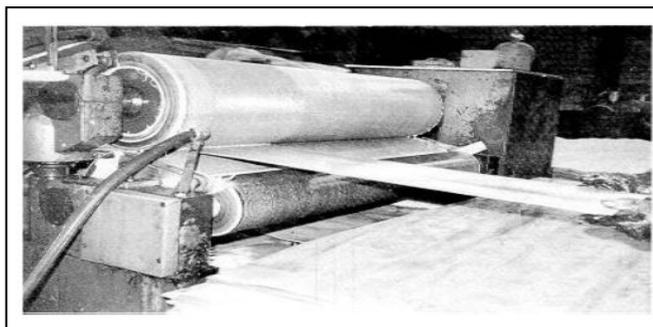
Las prensas hidráulicas son apropiadas para trabajos en frío, en operaciones de:

- Corte.
- Marcado.
- Doblado.
- Embuticiones pequeñas.

Estas prensas no son adecuadas para embuticiones profundas al aplicar la fuerza de forma rápida y no constante.

### **2.4. Máquina de engomado**

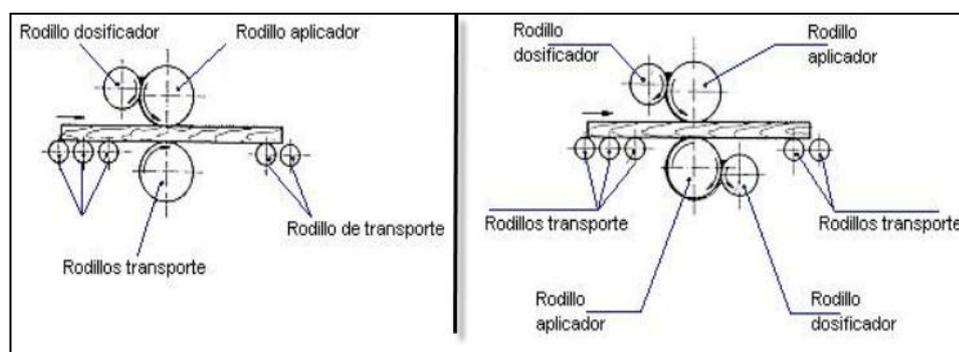
Está diseñada para la aplicación continua de pegamento sobre madera (ver figura 2.2), chapas de madera, tableros de aglomerado, como papel, cartulina, tela, cuero, etc. La aplicación puede ser una o dos caras por pasada.



**Figura 2.2 Máquina engomadora**  
**Fuente: (Ardanuy, Insht, 2014)**

La aplicación del pegamento o cola se efectúa por la parte inferior mediante dos rodillos de latón y puede ajustarse con precisión mediante una rueda graduada. Después de aplicar la cola, se saca el material manualmente y se coloca sobre el material de soporte. Según el tipo de aplicación, las máquinas pueden equiparse con los correspondientes componentes especiales. (Karl-traenklein)

Para comprender el funcionamiento de un sistema de engomado se puede apreciar la figura 2.3.



**Figura 2.3 Esquema de encoladora de aplicación una y dos caras**  
**Fuente: (Ardanuy, insht, 2014)**

## 2.5. Tablero de fibra de densidad media (MDF)

Un tablero MDF significa por sus siglas en inglés (Medium Density Fibreboard), es un aglomerado elaborado con fibras de madera aglutinadas

con resinas sintéticas mediante fuerte presión y calor, en seco, hasta alcanzar una densidad media.

Presenta una estructura uniforme y homogénea y una textura fina que permite que sus caras y cantos tengan un acabado perfecto (ver figura 2.4). Se trabaja prácticamente igual que la madera maciza, pudiéndose fresar y tallar en su totalidad.



**Figura 2.4 Diversos tablonos de MDF**  
**Fuente: (Vaderluck, 2012)**

La estabilidad dimensional, al contrario que la madera maciza, es óptima, pero su peso es muy elevado. Se encola (con cola blanca) fácilmente y sin problemas. Suele ser de color marrón medio-oscuro y es un tablero de bajo coste económico en el mercado actual. Las características fisicomecánicas se las puede apreciar en la tabla 2.1

Básicamente se usa en la industria del mueble e industrias afines, pero también se utiliza para hacer esculturas pegando varios tableros hasta conseguir el grosor adecuado, como soporte o lienzo de pintura, de base para maquetas, posters y rompecabezas. (wikipedia, 2014)

**Tabla 2.1*****Características fisicomecánicas***

Propiedades	Método de referencia	Unidad	Tolerancia	Espesor mm		
				3	4	5,5
Densidad	E N 323	[Kg/m <sup>3</sup> ]	-	820±50	770±40	730±25
Flexión	E N 310	[N/mm <sup>2</sup> ]	± 10	45	43	40
Tracción	E N 319	[N/mm <sup>2</sup> ]	± 0,20	1,00	1,00	1,00
Hincham 24 horas	E N 317	[%]	-	max. 37	max. 35	max. 30

Fuente: (Empresa Masisa)

## 2.6. Sistemas de alimentación

Los sistemas de alimentación son utilizados para la producción en cadena en un sistema automatizado con flexibilidad limitada, son conocidos también como sistema o mecanismo de transferencia. Por lo general suelen estar adaptados a máquinas que realizan una operación específica, este tipo de mecanismos se denomina máquina de transferencia.

El avance de las piezas habitualmente tiene un movimiento discontinuo, alternando entre periodos en movimiento y periodos en reposo. Existen diversos sistemas para controlar el avance de las piezas, utilizando sensores u otros mecanismos y mediante comunicaciones máquina a máquina (M2M, abreviatura del inglés machine to machine).

Los mecanismos de transferencia se utilizan cuando es técnica y económicamente viable. Un sistema de transferencia tiene un alto coste de adquisición y de mantenimiento, pero requieren menos mano de obra durante en las operaciones de carga y descarga de las máquinas una a una y de transporte. Sólo son utilizadas cuando se fabrican lotes numerosos de productos similares con volúmenes altos de producción. (Wikipedia, 2014)

### 2.6.1. Tipos de mecanismos de alimentación

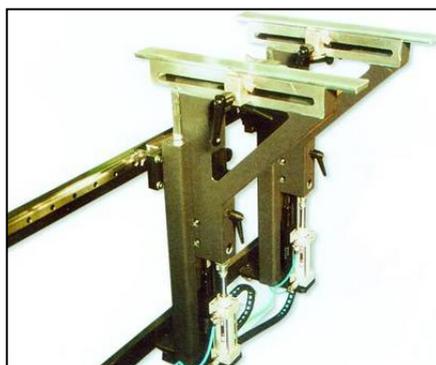
**Transferencia lineal.** En estos sistemas, se utilizan cintas transportadoras o rieles con rodillos. Habitualmente, cuando se utilizan rieles con rodillos, las piezas se montan sobre palés o jaulas interconectadas mediante los cuales se empujan unas piezas a otras para avanzar (ver figura 2.5).



**Figura 2.5 Sistema de alimentación lineal por rodillos**  
**Fuente: (Robopac, 2014)**

**Por mesas giratorias.** Estos sistemas son utilizados cuando la cantidad de máquinas a alimentar es limitada, disponiéndose cada una para trabajar sobre un sector circular determinado de una mesa giratoria. Al girar la mesa las piezas avanzan de una máquina a la siguiente. La alimentación y retirada de piezas se realiza en el mismo sector circular o en sectores diferentes.

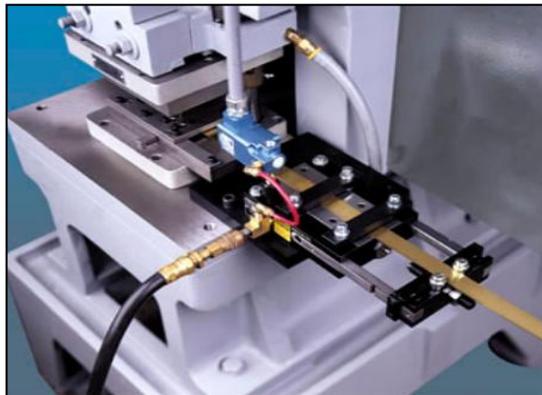
**Por carriles de suspensión.** Las piezas van colgadas de un transportador que se desplaza por unos rieles (ver figura 2.6).



**Figura 2.6 Escuadras móviles**  
**Fuente: (Metalmaq S.A., 2014)**

**Los alimentadores vibratorios** son máquinas que, como su nombre lo indica, alimentan una banda de pesaje o suministro mediante vibraciones que permiten distribuir de manera uniforme materiales granulados o áridos.

**Los alimentadores neumáticos** pueden manejar una variedad de diferentes materiales - papel, plástico, papel, tela, alambre, tubos, madera (ver figura 2.7).



**Figura 2.7 Sistema de alimentación neumática**  
Fuente: (Rapidair, 2000)

### 2.6.2. Aplicaciones

La aplicación de mecanismos de transferencia abarca diversos sectores industriales. Algunos ejemplos son:

- **Industrias madereras:** corte de planchas, troquelado de piezas.
- **Industrias textiles:** hiladoras.
- **Industria del automóvil:** como en la fabricación y montaje de piezas.
- **Industria de la alimentación:** envasado de productos líquidos, fabricación de alimentos precocinados, bollería industrial, etc.

## **2.7. Automatización industrial**

### **2.7.1. Definición**

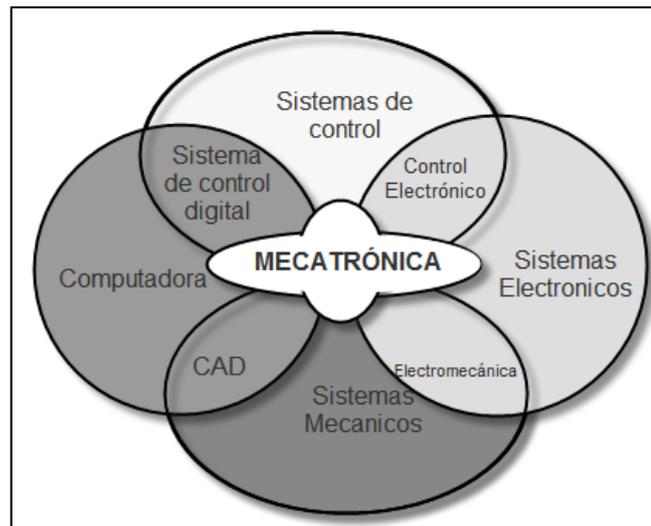
Se define la automatización, como el proceso de hacer que las máquinas sigan un orden predeterminado de operaciones con poca o ninguna mano de obra, usando equipo y dispositivos especializados que ejecutan y controlan los procesos de manufactura.

### **2.7.2. Objetivos de la automatización:**

- Integrar diversos aspectos de las operaciones de manufactura para mejorar la calidad y la uniformidad del producto.
- Optimizar los tiempos de ciclo y esfuerzo.
- Mejorar la productividad.
- Reducir los costos de manufactura a través del mejor control de la producción.
- Reducir daños a las piezas causados por el manejo manual de las partes.

### **2.7.3. La Mecatrónica en la automatización**

La figura 2.8 indica la integración de la mecatrónica en la actualidad.



**Figura 2.8 Sistema de diseño mecatrónico**  
**Fuente: (Derby, 2004)**

**Identificación del proceso:**

- Continuo.
- Discreto.
- Por lotes.
- Regulación Automática.

**Selección del tipo de control:**

- ON/OFF.
- PI, PD, PID.

**Selección de dispositivo para el control:**

- Microprocesadores.
- PLC'S.

**Tipo de bucle de control:**

- Abierto.
- Cerrado.

Según la interacción que tenga con el usuario u operador se puede dividir en:

**Sistemas de control manual.** Los sistemas manuales son aquellos en los que interviene la mano y la supervisión del hombre.

**Sistemas de control semiautomático.** En estos tipos de sistemas, el hombre interviene en algunos pasos del proceso.

**Sistemas de control automático.** En estos sistemas no hay intervención alguna de operadores, todo el proceso es realizado mediante dispositivos mecánicos, eléctricos y electrónicos.

## **2.8. Fabricación de rompecabezas**

### **2.8.1. Proceso de fabricación**

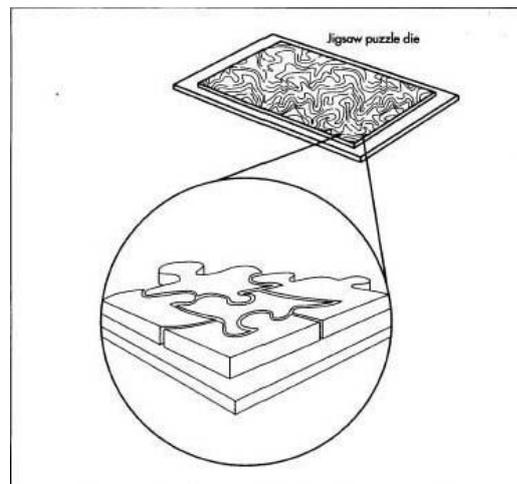
Los pasos clave incluyen la impresión y la laminación de la imagen, el corte, y el envasado del rompecabezas terminado.

#### **Impresión**

El primer paso es seleccionar la imagen e imprimirlo en un formato adecuado, el proceso más común utilizado para la impresión de los rompecabezas es la litografía. La litografía utiliza una placa, que está especialmente tratada para absorber agua o aceite. Como la placa se pone en contacto con el papel, la imagen se transfiere.

#### **Corte**

Hoy en día las piezas del rompecabezas son producidos en masa, en un proceso conocido como el troquelado (ver figura 2.9). Un troquel de corte mediante una prensa utiliza una cinta plana de metal afilado o cuchilla para hacer el marco y piezas.



**Figura 2.9 Corte mediante troquel**  
**Fuente: (Advameg, 2015)**

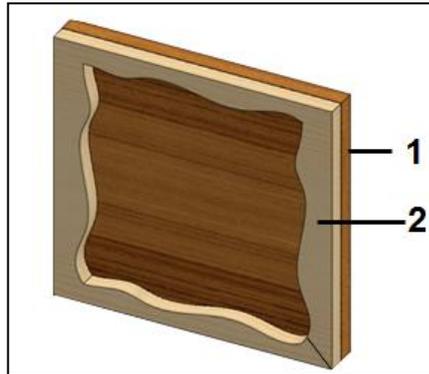
### **Empaquetado**

Después de salir de la prensa troqueladora, mediante una vibración las piezas se separan del rompecabezas y se deja caer en su paquete, normalmente una caja de cartón. Hoy en día, es el estándar para la caja para ofrecer como guía una imagen del rompecabezas completo. (Advameg, 2015)

### **2.8.2. Fabricación en Ecuador**

En Ecuador la fabricación de los rompecabezas de madera ha sido de forma artesanal a continuación se describe el proceso básico de fabricación:

- Una fotografía ampliada de un gráfico de que se pegan sobre la madera.
- La caladora realiza el proceso de corte del marco del rompecabezas siendo cada rompecabezas único.
- El proceso de pegado del perfil de madera a su respectiva plancha se realiza de manera manual como se indica en la figura 2.10.



**Figura 2.10 Plancha de madera con su respectivo marco**

1. Plancha de madera.
2. Marco de madera.

## CAPÍTULO III

### 3. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

#### 3.1. Identificación del proceso

El proceso de fabricación del marco de madera es por lotes, siendo su materia prima: la fotografía impresa del diseño del rompecabezas que se pega sobre la madera antes de cortar, cola blanca y madera tipo MDF.

Tratando de cambiar este proceso, ROMPECABEZAS IDEAL compró una prensa hidráulica (ver figura 3.1), con sus respectivas cuchillas rectangulares (ver figura 3.2) para realizar el troquelado de los marcos de madera de una manera más eficiente para los diferentes tamaños que producen, el inconveniente que se presentó fue que al centrar manualmente la plancha dentro de la prensa hidráulica el proceso de troquelado demoraba mucho tiempo y su calidad no fue la esperada ya que los marcos no salían centrados siendo esta una debilidad para la marca ROMPECABEZAS IDEAL.

El proceso de engomado del marco a la plancha de madera (ver Fig.2.10) se lo realiza manualmente el tiempo que lleva terminar un lote de 2500 marcos es alrededor de unas 5 a 6 horas, trabajando de 4 a 6 personas a la vez. Teniendo este problema se sugirió construir una máquina para el engomado (Ver numeral 3.2. Propuesta de solución y figura 3.6).



**Figura 3.1 Foto de la Prensa Hidráulica y de la caladora de mesa propiedad de la marca Rompecabezas Ideal**



**Figura 3.2 Foto de la cuchilla rectangular para el proceso de troquelado y marco de madera troquelado**

El impacto del proyecto será muy elevado en costo producción disminuyendo horas de producción en el troquelado y el engomado.

Rompecabezas Ideal fabrica 3 tamaños de rompecabezas con las siguientes dimensiones (302x218mm, 330x240mm, 435x300).

El proceso automático inicia en la alimentación de la plancha de madera hacia la prensa hidráulica y su respectivo centrado de los diferentes tamaños, hasta su salida como perfil y semiautomático desde que el operario retira el perfil y lo coloca en la máquina de engomado, es por esta razón que el título del perfil se lo declara como un proceso semiautomático.

### **3.1.1. Definición del problema**

La marca ROMPECABEZAS IDEAL tiene los siguientes problemas:

**Proceso de Troquelado:**

- La alimentación de la plancha de madera hacia la prensa hidráulica (que se encuentra con sus respectivas cuchillas) donde realiza el troquelado es de manera manual.
- El centrado de la plancha para los diferentes tamaños de madera anteriormente mencionados dentro de la prensa es de manera manual.

**Proceso de engomado:**

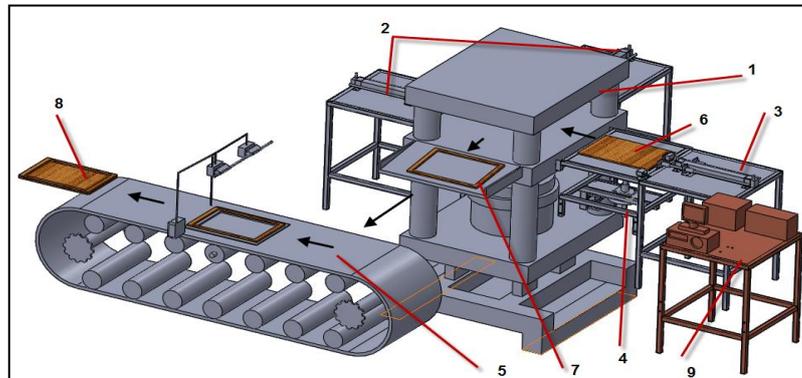
- El pegado de la plancha de madera con su respectivo marco es realizado de manera manual.
- Existe mala calidad de la junta (exceso de goma a en los bordes y dentro de la plancha ya pegada).
- Elevado tiempo de pegado.
- Exceso de personas en el proceso (Se podría optimizar el personal en otras aéreas de producción).

Solucionando estos problemas se espera elevar la producción, disminuir tiempo, costos y mejorar la calidad del producto.

**3.2. Propuestas de solución**

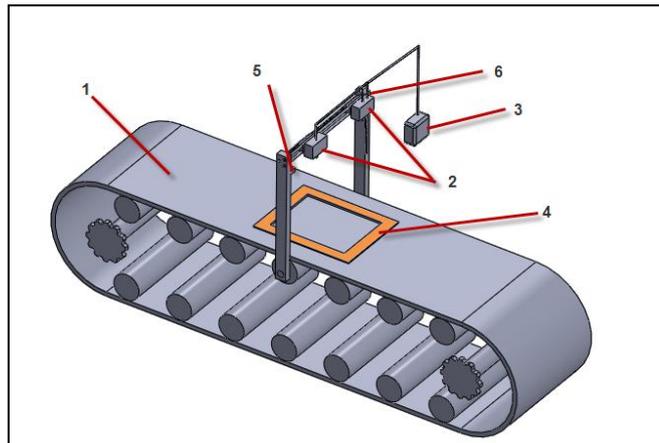
Siendo estas las necesidades sé plantea las siguientes soluciones, resumiéndolos desde la figura 3.3 hasta la figura 3.6 con sus respectivas imágenes:

## SOLUCIÓN A



**Figura 3.3 Línea de producción de troquelado y engomado vista dimétrica modelo A**

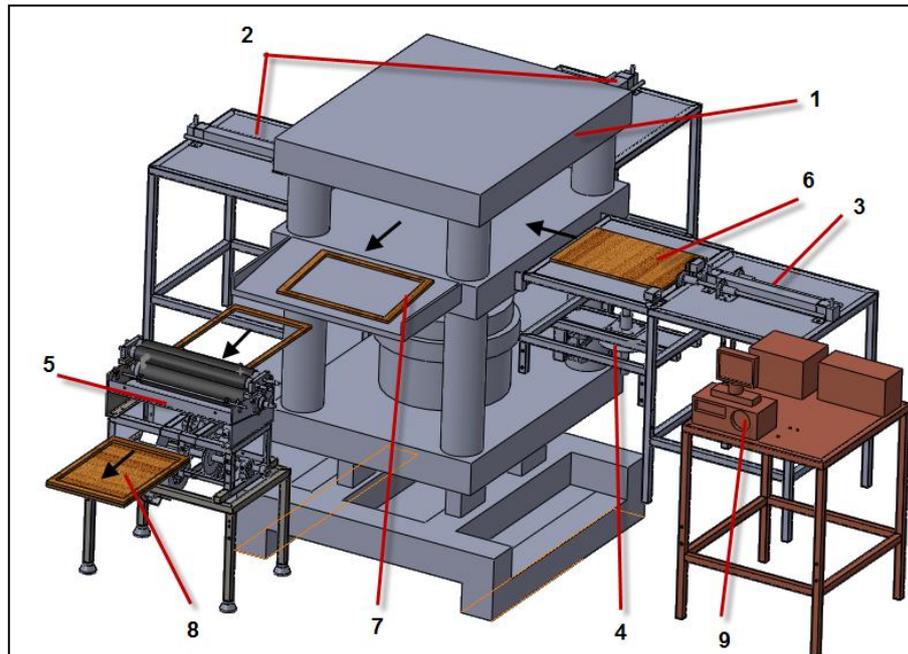
1. Prensa Hidráulica (troquelado).
2. Sistema de pistones neumáticos para centrado automático de madera.
3. Pistón Neumático para alimentación automática de madera.
4. Mesa Móvil de alimentación automática de madera.
5. Máquina Engomadora.
6. Plancha de madera.
7. Marco de madera.
8. Plancha de madera con su respectivo marco posteriormente pegados.
9. Mesa de control general / Tablero de control.



**Figura 3.4 Modelo de la máquina engomadora A**

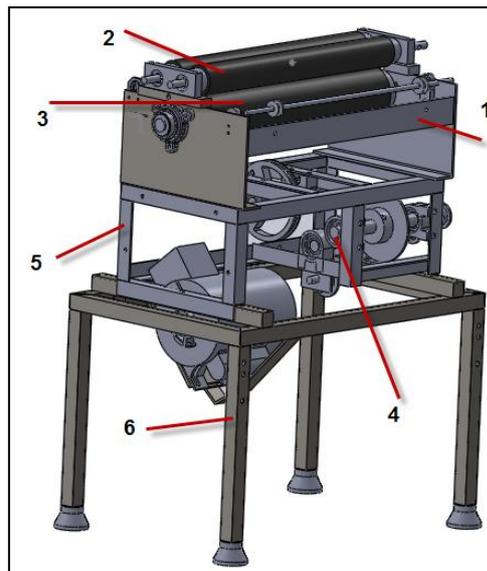
1. Banda transportadora.
2. Pistolas para engomado (sistema móvil).
3. Dispensador de goma.
4. Marco de madera.
5. Sensor.
6. Sistema auto regulador para pistolas (permite cambio de dimensión para las diferentes planchas de madera al momento de pegar al contorno).

Posterior a este proceso poder unir el perfil con la plancha de un rompecabezas previamente elaborado. (Ver Fig.2.10)

**SOLUCIÓN B:**

**Figura 3.5 Línea de producción de troquelado y engomado vista dimétrica modelo B**

1. Prensa Hidráulica (troquelado).
2. Sistema de pistones neumáticos para centrado automático de madera.
3. Pistón Neumático para alimentación automática de madera.
4. Mesa Móvil de alimentación automática de madera.
5. Máquina engomadora.
6. Plancha de madera.
7. Marco de madera.
8. Plancha de madera con su respectivo marco posteriormente pegados.
9. Mesa de control general / Tablero de control.



**Figura 3.6 Modelo de la máquina engomadora B**

1. Estructura para engomado.
2. Sistema de rodillos secundarios para la presión de las planchas de madera.
3. Rodillo principal (permite engomar toda la superficie del marco).
4. Sistema mecánico de polea y piñones (reductores de velocidad y sentido de giro para rodillo principal y sistema de rodillos de presión).
5. Estructura para el sistema de transmisión.
6. Estructura para el soporte general.

### **3.2.1. Evaluación de alternativas de configuración del proceso**

Mediante la tabla 3.1 se indica la mejor selección de solución para el proceso de troquelado y engomado.

Tabla 3.1

**Tabla de selección de modelo**

Soluciones propuestas	Costo fabricación (0.26)	Costo producción (0.23)	Acoplamiento (0.18)	Solución fiable (0.20)	Optimización de recursos (0.13)	Total (1)
Solución A	1	4	3	2	1	2,24
Solución B	5	3	3	4	3	3,73

**Calificaciones 5 – 4 (bueno) 3 – 2 (regular) 1 – 0 (malo)**

Con la investigación previa de las dos soluciones se llega a concluir que la solución B es la mejor opción para el problema presentado recalcando que las máquinas elaboradas a nivel local e internacional tiene un costo exorbitante para implementar a nivel artesanal (ANEXO F) y el costo de fabricación es el que domina para la elaboración de la máquina y del proceso.

## CAPÍTULO IV

### 4. DISEÑO

#### 4.1. Requerimientos de diseño

El diseño general consta de dos etapas:

##### **Parámetros para alimentación y centrado:**

- Mecanismo que sea capaz de ingresar a la prensa tablas de tres dimensiones diferentes (302x218mm, 330x240mm y 435x300mm), de 3mm de espesor.
- Estructura de apilación de 100 tablas.
- Mecanismo para centrado y salida de las planchas o tablas de madera después de troquelar.
- Sistema automático de alimentación, centrado y troquelado.
- Control on-off de presión para troquelar, capaz de duplicar producción anterior (-1 plancha por minuto).

##### **Parámetros de la máquina de engomado:**

- Mecanismo capaz de engomar la superficie de la plancha troquelada.
- Sistema capaz de producir 4500 tablas por hora.
- Mecanismo que permita el paso de una plancha de 3mm de espesor y de tres dimensiones diferentes para engomar.
- Máquina de fácil mantenimiento, desmontable y compacto.
- Control on-off.
- Construcción con suministros dados por el cliente.

## 4.2. Materiales suministrados por el cliente

Previo al diseño se toma en cuenta los siguientes elementos existentes que condicionan al diseño indicados en la tabla 4.1.

**Tabla 4.1**

### *Descripción Componentes suministrados*

<b>Cantidad</b>	<b>Componente</b>	<b>Datos relevantes</b>	<b>Material</b>
1	Rodillo	$\varphi = 90\text{mm}$ / $\varphi$ eje= $22\text{mm}$ L= $573\text{mm}$	Caucho de silicona
2	Rodillos	$\varphi = 50\text{mm}$ / $\varphi$ eje= $12\text{mm}$ L= $594\text{mm}$	Vulcanizados Poliuretano
1	Motor	Monofásico 0.33Hp/115 VAC/60 Hz/6.6A /1725 rpm	
1	Bocín	$\varphi = 25.4\text{mm} = 1\text{plg.}$	Acero
1	Polea	$\varphi = 127\text{mm} = 5\text{plg.}$	Acero
2	Piñones	Paso ( $35\text{mm} = 3/8\text{plg}$ ) / Z=14 dientes	Acero
6	Chumaceras de piso	$\varphi = 20\text{mm}$	Acero
2	Chumaceras de Pared	$\varphi = 22\text{mm}$	Acero

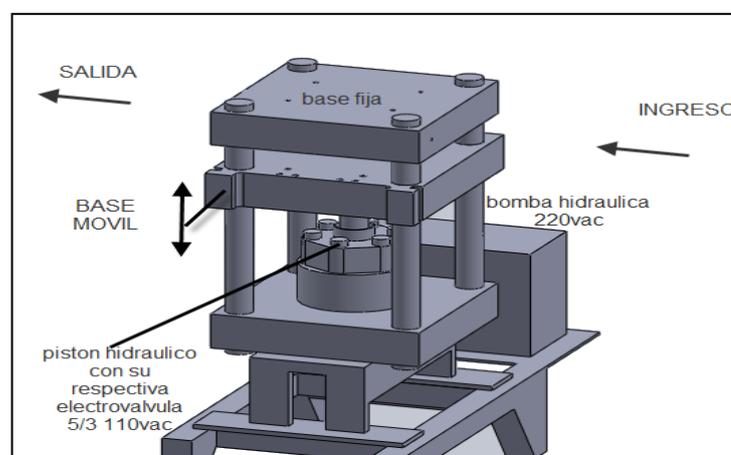
Elementos para la engomadora (obtenidas de una maquinaria sin uso en buenas condiciones ver figura 4.1):



**Figura 4.1 Elementos entregados por ROMPECABEZAS IDEAL**

### 4.3. Descripción de la prensa

La prensa tiene la particularidad de tener su base fija en la parte superior (ver figura 4.2) su control anterior de presión era mediante un temporizador para realizar el corte cabe recalcar que la producción sin automatizar es menos de 1 pieza por minuto. Los datos técnicos de la prensa se indican en la tabla 4.2.



**Figura 4.2 Prensa Hidráulica**

**Tabla 4.2**

#### *Descripción de la Prensa hidráulica*

<b>Prensa</b>	
Dimensiones	1770x800x1820 mm
Peso	3 toneladas
Presión de trabajo	90 bar ~ 1000psi
Velocidad de avance	6 mm/seg
Motor	7.5hp/ 220vac
Electroválvula 5/3	110 VAC

### 4.4. DISEÑO MECÁNICO

#### 4.4.1. Alternativas y selección para el sistema de alimentación y centrado.

#### 4.4.1.1. Matriz de selección para sistema alimentación y centrado

En la tabla 4.3 se detalla la mejor solución para el sistema de alimentación y centrado.

Tabla 4.3

#### *Selección de sistema para alimentación y centrado para la prensa hidráulica*

SISTEMAS	Costo					Total (1)
	Funcionalidad (0.24)	Fabricación (0.20)	Desgaste (0.14)	Confiabilidad (0.23)	Mantenimiento (0.19)	
Sistema Neumático	4	4	4	4	3	<b>3,81</b>
Sistema Banda transportadora	3	1	1	2	3	<b>2,09</b>

Calificaciones 5 – 4 (bueno) 3 – 2 (regular) 1 – 0 (malo)

Las dos soluciones pueden ser fiables dentro del aspecto de eficiencia y acoplamiento cabe recalcar que la vida útil de la banda transportadora se verá limitada a la producción que realice la prensa.

#### 4.4.1.2. Dimensionamiento analítico de la estructura

Para el diseño de la estructura del sistema neumático se tiene en cuenta tres partes indicadas en la figura 4.3:

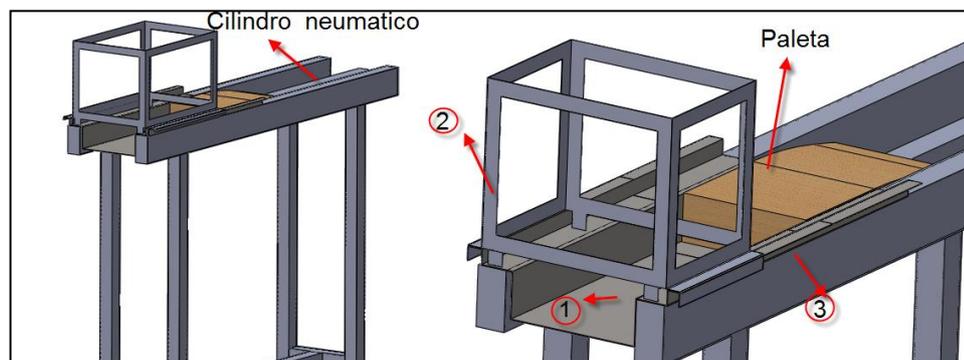
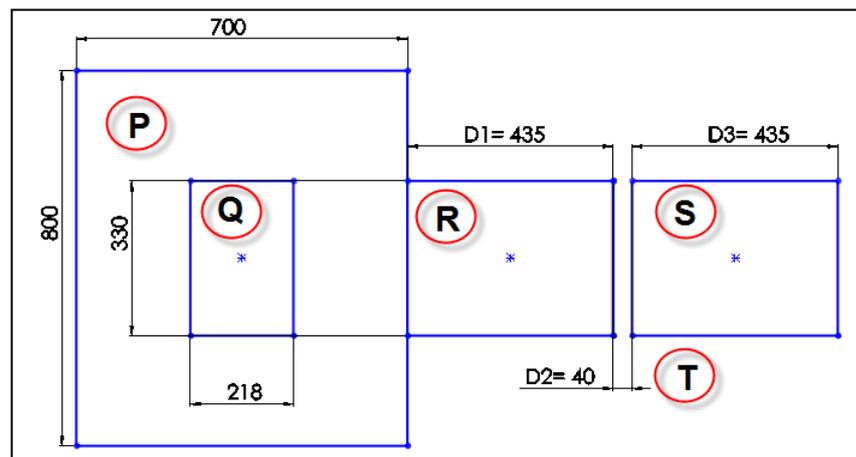


Figura 4.3 Estructura general sistema alimentación y centrado

1. Estructura de alimentación.
2. Estructura de apilación.
3. Estructura de soporte general para la alimentación y centrado.

### Estructura de alimentación:

Su dimensionamiento se lo indicia en la figura 4.4.



**Figura 4.4 Dimensionamiento de la estructura de alimentación, (Unidades=mm)**

**P**=Base móvil de la prensa.

**Q**=Plancha combinada para satisfacer 330x218 mm.

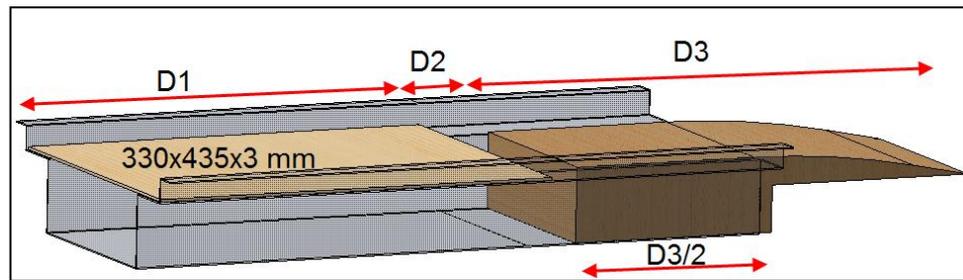
**R**=Estructura de apilación para las dimensiones a satisfacer 330x435 tolerancia 2 mm.

**S**=Pieza de empuje (necesariamente tiene que ser de la misma dimensión que R para poder empujar por completo las planchas).

**T**= Distancia de seguridad entre P- R y R - S).

La estructura debe satisfacer el ingreso de madera de 3 mm de espesor para las tres diferentes dimensiones de planchas por lo cual se escoge la dimensión más ancha y larga (ver figura 4.5):

Dimensiones combinadas de plancha de madera a satisfacer 330x435 mm.



**Figura 4.5 Diseño estructura de alimentación**

La estructura de alimentación, tiene la función de ingresar hacia la prensa las maderas de 3 mm de espesor mediante una pieza de empuje denominada paleta.

Para optimizar material del sistema general de alimentación se puede dividir  $D3/2$  en vista que la paleta puede ser empujada desde su mitad mediante el actuador neumático.

Donde:

**LMA**= longitud de la estructura de alimentación.

**D1**=Distancia combinada de plancha de madera a satisfacer.

**D2**=Distancia de margen de seguridad.

**D3/2**=Distancia de empuje de la paleta.

$$LMA = D_1 + D_2 + D_{3/2} \quad (\text{Ec. 4.1})$$

$$LMA = 435 \text{ mm} + 40 \text{ mm} + \frac{435 \text{ mm}}{2}$$

$$LMA = 692.5 \text{ mm} \approx 693 \text{ mm}$$

#### **Estructura de apilación:**

En este sistema se diseñó una estructura denominada jaula (ver figura 4.6); aprovechando la apilación mediante gravedad. Para obtener la flexibilidad de los requerimientos de tres dimensiones diferentes se diseñó estructura de apilación para cada dimensión.

Siendo estas de 302x218 mm, 330x240 mm y 435x300 mm con una tolerancia +2 mm (para evitar excesivo rozamiento).

Donde:

**h**= altura de la estructura de apilación para almacenar 100 tablas.

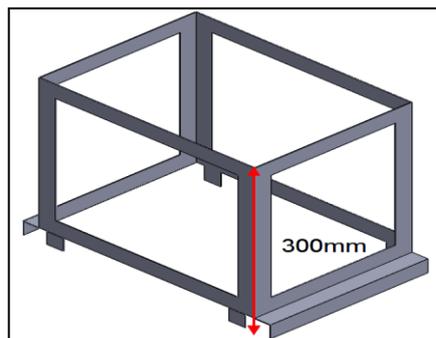
**#tablas**= Requerimiento de 100 tablas.

Entonces:

$$h = \#tablas \times espesor \quad (\text{Ec. 4.2})$$

$$h = 100 \times 3mm$$

$$h = 300mm$$

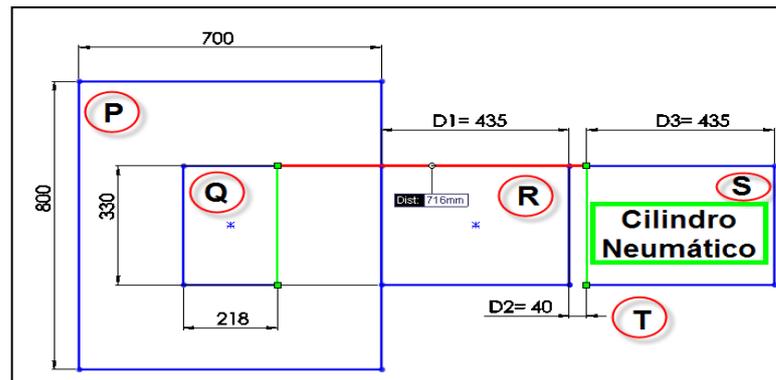


**Figura 4.6** Diseño de la estructura de apilación

#### **Estructura de soporte general para la alimentación y centrado:**

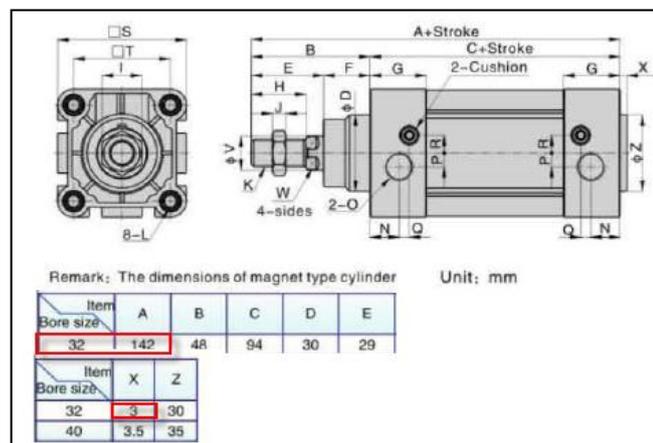
El soporte tendrá que albergar la estructura de alimentación, de apilación y el cilindro neumático para la alimentación y centrado como se indica en la figura 4.3.

Para poder ingresar la pieza más pequeña como es 218 mm al centro de la prensa se debe contar con una carrera de cilindro de 716 mm (ver figura 4.7).



**Figura 4.7 Dimensionamiento de la estructura de soporte general para alimentación y centrado, (Unidades=mm)**

En el mercado la dimensión diámetro del émbolo más pequeño es de 32 mm. En base a los datos técnicos de figura 4.8 la dimensión general del cilindro es:



**Figura 4.8 Dimensiones del cilindro neumático**

$$LC = A + CARRERA + X \quad (\text{Ec. 4.3})$$

Donde:

**LC**= longitud del cilindro.

**LESG**=Longitud de la estructura de soporte general.

Por lo tanto:

$$LC = A + CARRERA + X$$

$$LC = 142 \text{ mm} + 716 \text{ mm} + 3 \text{ mm}$$

$$LC = 861 \text{ mm}$$

Entonces:

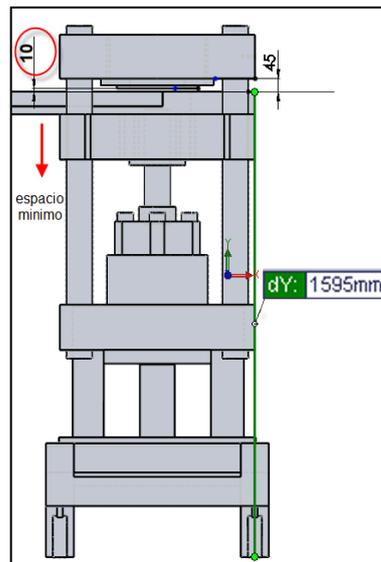
$$LESG = LMA + LC \quad (\text{Ec. 4.4})$$

$$LESG = 693 \text{ mm} + 861 \text{ mm}$$

$$LESG \approx 1554 \text{ mm}$$

La altura para la estructura debe cumplir con el requerimiento de un espacio entre troquel y mesa de 10 mm (ver figura 4.9), por lo tanto:

$$\text{Altura de la estructura} = 1595 \text{ mm}$$



**Figura 4.9 Dimensionamiento de altura de la estructura de soporte general de alimentación**

#### 4.4.1.3. Análisis de cargas

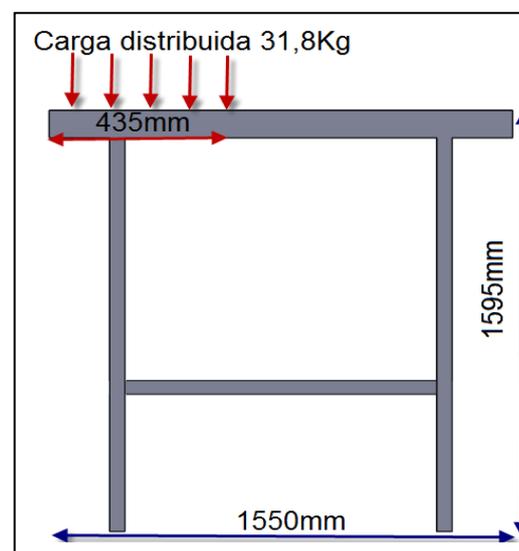
El soporte general de la estructura de alimentación estará sometido a diferentes cargas estáticas, en la tabla 4.4 existen datos de los diferentes pesos para el respectivo análisis.

Tabla 4.4

**Pesos de planchas de madera**

Dimensiones (mm)	Peso(gr)	X100unidades (kg)
302x218x3	102	10.2
330x240x3	211	21.1
435x300x3	318	31.8

Como la carga se distribuye a través de la mesa alimentadora (ver figura 4.10), se tiene:



**Figura 4.10 Análisis de carga Estructura de soporte general de alimentación**

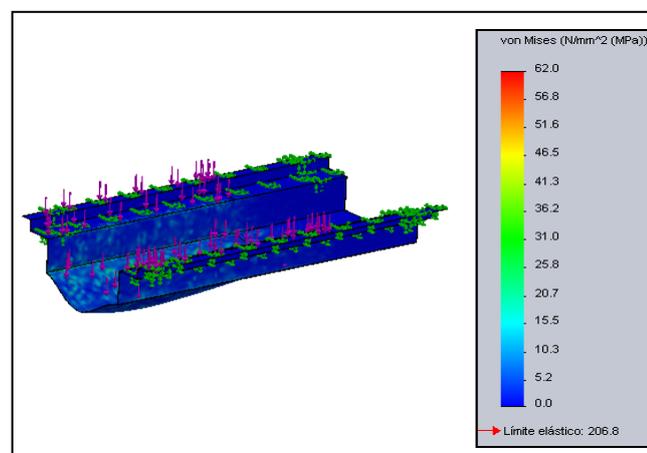
#### 4.4.1.4. Simulación mediante software de esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad

##### Estructura de alimentación:

Para la figura 4.5 el material seleccionado fue acero inoxidable AISI 304 de espesor 1.2mm.

Se realizó el análisis de esfuerzos con una cantidad de 200 tablas o 63.6 kgf sobrepasando al doble de los parámetros del cliente que es 100 tablas o 31.8 kgf.

Apreciando en la figura 4.11 el esfuerzo máximo de la estructura de alimentación es de 62MPa con una carga de 63.6 kgf:



**Figura 4.11 Análisis de esfuerzos**

Siendo:

$S_y$ = Resistencia de fluencia del acero inoxidable AISI-304.

$\sigma_r$ = Máximo esfuerzo que soporta la estructura de alimentación ver (Fig. 4.11).

$[\sigma]$ = Esfuerzo permisible del acero inoxidable AISI-304.

Tenemos que (McCormac, 2003, pág. 66):

$$S_y = 206.8 \text{ MPa (AISI - 304)} \quad \sigma_r = 62 \text{ MPa}$$

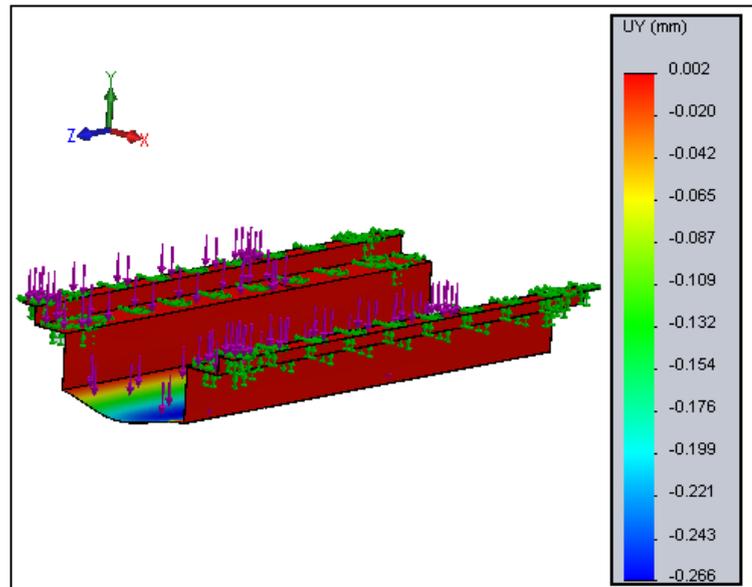
$$[\sigma] = 0.66S_y \quad \text{(Ec. 4.5)}$$

$$[\sigma] = 136.488 \text{ MPa}$$

Para validar el diseño debe cumplir la siguiente condición:

$$\sigma r \leq [\sigma] \quad (\text{Ec. 4.6})$$

En vista de que cumple con esta condición se analiza la deformación indicada en la figura 4.12.



**Figura 4.12 Análisis de deformación**

Siendo:

$\delta_r$  = Deformación que soporta la estructura de alimentación

L = Luz (distancia de la mesa alimentadora)

$[\delta]$  = Deformación permisible

$$L = 435 \text{ mm}$$

Tenemos que:

$$\delta_r = 0.002 \text{ mm (software)} ; \quad L = 465 \text{ mm}$$

$$[\delta] = \frac{L}{800} \quad (\text{Ec. 4.7})$$

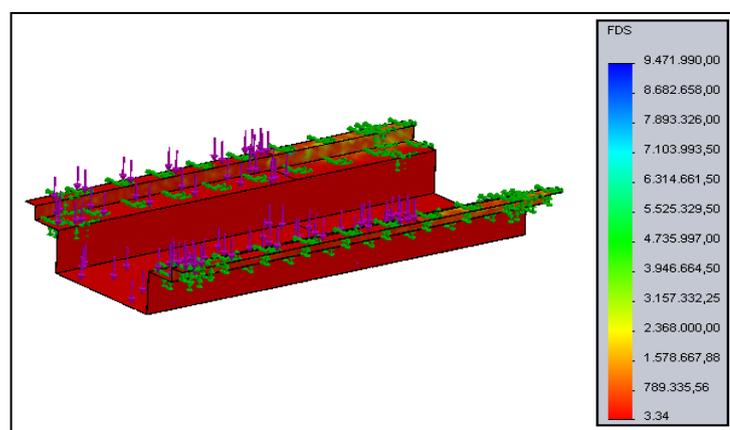
$$[\delta] = 435/800$$

$$[\delta] = 0.54 \text{ mm}$$

Para validar el diseño debe cumplir la siguiente condición:

$$\delta r < [\delta] \quad (\text{Ec. 4.8})$$

Debido a que cumple las condiciones de la ecuación 4.7 y ecuación 4.8 el diseño es satisfactorio. Teniendo como mínimo factor de seguridad de 3.34 se concluye que la estructura es confiable, indicado en la figura 4.13.



**Figura 4.13 Análisis de Factor de seguridad**

### **Estructura de soporte general para la alimentación:**

Para el apoyo general de diseño (ver figura 4.10) se seleccionó los siguientes materiales estándares en el mercado detallados en la tabla 4.5 y 4.6 respectivamente:

**Tabla 4.5**

#### ***Datos técnicos tubo rectangular (acero A-36)***

<b>Dimensiones (mm)</b>	<b>Peso(kg/m)</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Longitud (m)</b>
50x100	4.50	2	6

Fuente: (Proviaceros, 2015)

Tabla 4.6

**Datos técnicos tubo cuadrado (acero A-36)**

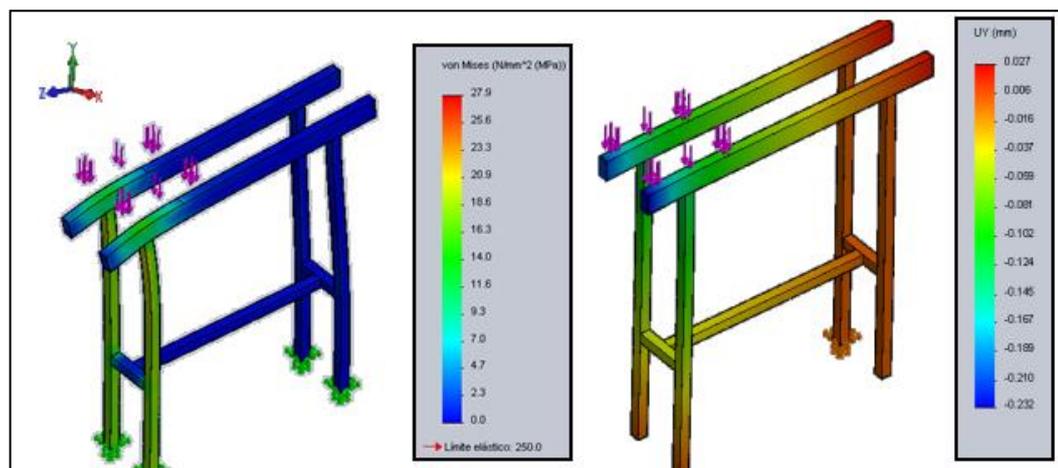
Dimensión (mm)	Peso(kg/m)	Espesor (mm)	Longitud (m)
50	2.93	2	6

Fuente: (Proviaceros, 2015)

Desde el punto de vista lógico-analítico se desprecia el análisis de carga de esta estructura en vista de que el soporte no fallara si es espesor de los tubos son de 2 mm, tomando en cuenta el cálculo anterior de la estructura de alimentación.

Por motivos de explicación se resumirá la siguiente tabla 4.7 y las figuras 4.14 y 4.15:

El peso total que resistirá la estructura es 68 kg (valor implícito de las 200 tablas y los componentes neumáticos), tomando en cuenta un supuesto caso que se coloque una carga de 136 kgf (doble del peso total) se tiene:



**Figura 4.14 Análisis de esfuerzo y deformación**

Conociendo que:

$$S_y = 250 \text{ MPa (A36)}$$

$$L = 1550 \text{ mm}$$

Tabla 4.7

**Cálculo de esfuerzo y deformación**

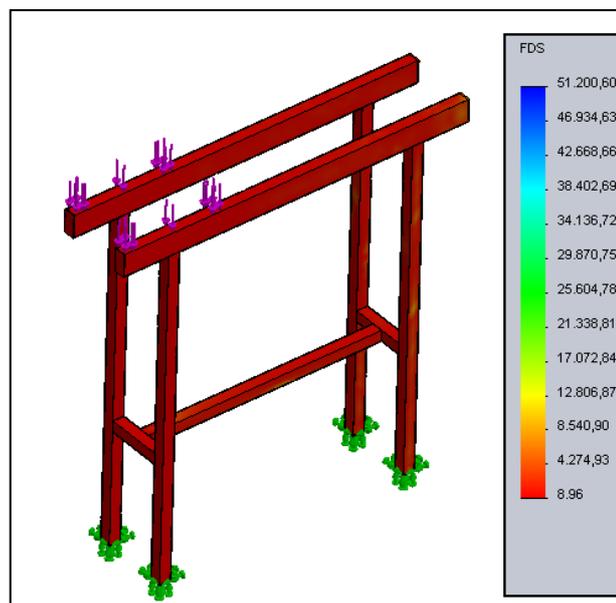
Análisis	$\sigma$ MPa	$[\sigma]$ MPa	$\delta r$ mm	$[\delta]$ mm
Esfuerzo	27.9	165	-	-
Deflexión	-	-	0.29	1.93

Verificando que cumple con las dos condiciones de la ecuación 4.6 y 4.8

$$\sigma_r \leq [\sigma]$$

$$\delta r < [\delta]$$

Teniendo un factor de seguridad mínimo 8.96 (ver figura 4.15) se concluye que la estructura es confiable.



**Figura 4.15 Análisis del factor de seguridad**

#### 4.4.1.5. Matriz de selección para sistema de engomado

Mediante la matriz de la tabla 4.8 queda claro que la solución de una máquina engomadora mediante un sistema de rodillos es la más confiable para este proceso.

**Tabla 4.8**

##### *Selección de sistema mecánico para engomado*

Sistemas	Funcionalidad (0.24)	Costo fabricación (0.23)	Desgaste (0.15)	Confiabilidad (0.20)	Mantenimiento (0.18)	Total (1)
Sistema rodillos	5	5	3	5	3	<b>4,34</b>
Sistema Banda transportadora	3	1	3	2	3	<b>2,34</b>

**Calificaciones 5 – 4 (bueno) 3 – 2 (regular) 1 – 0 (malo)**

#### 4.4.1.5.1. Matriz de selección del sistema de transmisión

Apreciando la tabla 4.9 se detalla la mejor selección para el sistema de transmisión.

**Tabla 4.9**

##### *Selección de transmisión para la máquina engomadora*

Sistemas	Funcionalidad (0.23)	Costo Fabricación (0.28)	Desgaste (0.15)	Confiabilidad (0.19)	Mantenimiento (0.16)	Total (1)
Sistema de poleas/piñones	5	5	3	3	3	<b>4,00</b>
Caja reductora	5	1	4	5	3	<b>3,43</b>

**Calificaciones 5 – 4 (bueno) 3 – 2 (regular) 1 – 0 (malo)**

El sistema de transmisión mediante poleas y piñones a más de estar regida a esta matriz también está condicionada por la disponibilidad de los

elementos vistos en los parámetros de diseño (ver tabla 4.1). El cliente provee de elementos para su construcción.

#### 4.4.2. Análisis de cargas y verificación

Dentro del análisis de cargas para el diseño de la transmisión del sistema de engomado se cuenta con dos etapas una mediante transmisión por correa finalizando por una transmisión por cadena.

Se inicia el diseño teniendo como parámetro inicial lograr una producción de 4500 tablas por hora en el sistema de engomado, también se determinará si los rodillos dados por el cliente al igual que los piñones y chumaceras (dimensión del diámetro de los ejes) son idóneos para la máquina engomadora (ver tabla 4.1).

Para verificar si el cilindro de engomado es idóneo se asume los datos técnicos de la tabla 4.1.

Donde:

$v$ = velocidad con la que pasa cada plancha de madera.

$r_c$ = radio del cilindro de engomado (45 mm).

$d$ = Longitud de la plancha de madera más grande (435 mm).

$\omega$  = Velocidad angular del cilindro de engomado y del eje de transmisión.

Entonces:

<i>#tablas</i>	<i>tiempo(seg)</i>
1	$x$
4500	3600

$$tiempo = 0.8 \text{ seg}$$

Por lo tanto:

$$v = \frac{d}{t} \quad (\text{Ec. 4.9})$$

$$v = \frac{435 \text{ mm}}{0.8 \text{ s}}$$

$$v = 543.75 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

Calculando la velocidad angular se tiene:

$$v = \omega \cdot rc \quad (\text{Ec. 4.10})$$

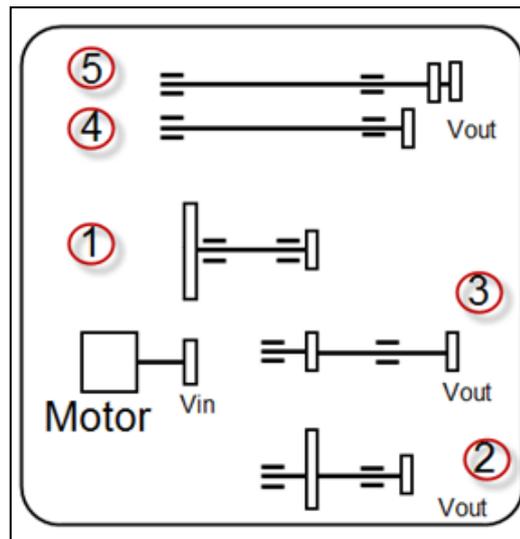
$$\omega = \frac{v}{rc}$$

$$\omega = \frac{543.75 \frac{\text{mm}}{\text{s}}}{45 \text{ mm}}$$

$$\omega = 12.08 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times \left( \frac{60\text{s}}{2\pi \text{ rad}} \right) = 115 \text{ rpm}$$

$$\omega = V_{out} \approx 120 \text{ rpm}$$

Teniendo la velocidad de salida ( $V_{out}$ ), a la que se debe llegar al final del sistema de transmisión, para apreciar el sistema de transmisión se lo indica en la figura 4.16.



**Figura 4.16 Esquema cinemático para la transmisión de potencia**

Se tiene:

1. Eje transmisión por correa/cadena

2-5. Ejes de transmisión por cadena.

En esta etapa se verificara si los piñones, polea y bocín me permiten para llegar a la velocidad de 120 rpm. (Ver tabla 4.1)

**Trasmisión por correa:**

Donde:

$\emptyset 1$ = Diámetro de la polea motriz.

$n1$ = Velocidad de giro de la polea motriz.

$\emptyset 2$ = Diámetro de la polea conducida.

$n2$ = Velocidad de la polea conducida

$$\emptyset 1 \times n1 = \emptyset 2 \times n2 \quad \text{(Ec. 4.11)}$$

Se asume los datos de la tabla 4.1:

$\emptyset 1 = \emptyset$  Bocín (1 plg)

$n1 = V_{\text{motor}}$  (1725 rpm)

$\emptyset 2 = \emptyset$  Polea (5 plg)

$$n2 = \frac{1 \text{ plg} \times 1725 \text{ rpm}}{5 \text{ plg}}$$

$$n2 = 345 \text{ rpm}$$

El valor de  $n2$  servirá para el análisis de transmisión por cadena. Aplicando la ecuación de relación de transmisión se tiene:

$$i = \frac{\emptyset 1}{\emptyset 2} = \frac{n2}{n1} \quad (\text{Ec. 4.12})$$

$$i = \frac{345 \text{ rpm}}{1725 \text{ rpm}} = 0.2$$

#### Trasmisión por cadena:

Donde:

$Z1$ = Numero de dientes del piñón conductor.

$n1$ = Velocidad del piñón conductor.

$Z2$ = Número de dientes del piñón conducido.

$n2$ = Velocidad del piñón conducido.

$$Z1 \times n1 = Z2 \times n2 \quad (\text{Ec. 4.13})$$

Se asume los datos de la tabla 4.1:

$Z1 = z14$  dientes; se resume los cálculos anteriores en la tabla 4.10.

**Tabla 4.10****Datos calculados**

n1 (rpm)	Vout= n2 (rpm)
345	120

$$Z2 = \frac{14 \times 345 \text{ rpm}}{120 \text{ rpm}}$$

$$n2 = 40,25 \approx 40$$

Aplicando la ecuación de relación de transmisión se tiene:

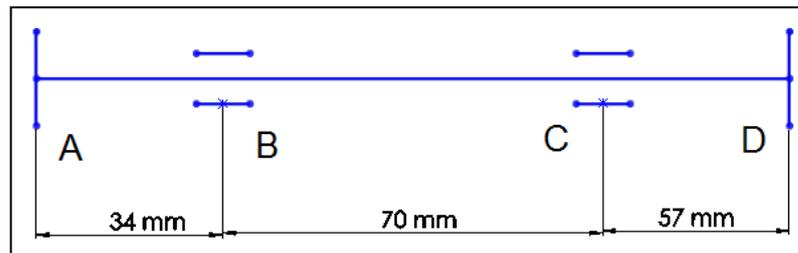
$$i = \frac{Z1}{Z2} = \frac{n2}{n1} \quad \text{(Ec. 4.14)}$$

$$i = \frac{14}{40} = 0.35$$

Se asume como condición que el rodillo, la polea, el bocín y piñones están aptos para la construcción de la máquina engomadora teniendo que adquirir un piñón de 40 dientes para lograr el parámetro requerido por el cliente.

**Eje 1:**

El diagrama de cuerpo libre se lo indica en la figura 4.17, el cual servirá para realizar cálculos de la fuerza cortante y el momento flector indicados posteriormente.

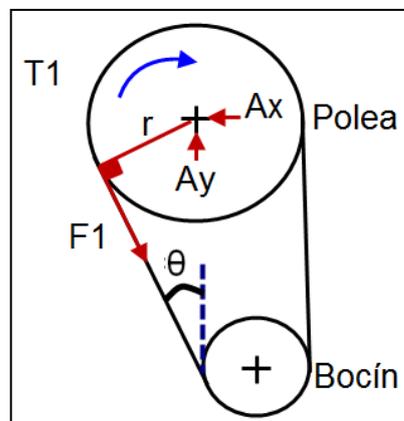


**Figura 4.17 Diagrama de cuerpo libre eje 1**

Como dato técnico del motor (ver tabla 4.1), la potencia del motor es de 0.33 Hp y su velocidad es de 1725 rpm.

$$P = 0.33 \text{ Hp} \times \frac{745,69 \text{ W}}{1 \text{ Hp}} = 246 \text{ W} \approx 250 \text{ W}$$

Previo al análisis se desarrolla el diagrama de cuerpo libre de la polea y el bocín indicado en la figura 4.18.



**Figura 4.18 Diagrama polea-bocín vista lateral**

$$P = T1 \times \omega1 \quad \text{(Ec. 4.15)}$$

Donde:

P= Potencia del motor.

T1= Torque generado en la polea.

$\omega_1$  = Velocidad angular de la polea.

$$T_1 = \frac{P}{\omega_1} = \frac{250 \text{ W}}{345 \text{ rpm} \times \left(\frac{2\pi}{60}\right)} = 6.91 \text{ N.m} = 6910 \text{ N.mm}$$

Entonces:

$$T_1 = F_1 \times r_1 \quad \text{(Ec. 4.16)}$$

Donde:

$F_1$  = Fuerza de tensión generado en la polea.

$r_1$  = Radio de la polea (2.5 plg).

$\theta$  = Angulo de la polea con respecto a la polea del motor (bocín).

$$F_1 = \frac{T_1}{r_1} = \frac{6910 \text{ N.mm}}{63.5 \text{ mm}} \approx 109 \text{ N}$$

Se determina las reacciones ( $A_x$ - $A_y$ ) en el punto A del eje 1.

Por lo tanto:

$$A_y = F_1 \times \cos(\theta) \quad \text{(Ec. 4.17)}$$

$$A_y = 109 \text{ N} \times \cos(17^\circ) \approx 104 \text{ N}$$

$$A_x = F_1 \times \sin(\theta) \quad \text{(Ec. 4.18)}$$

$$A_x = 109 \text{ N} \times \sin(17^\circ) \approx 32 \text{ N}$$

Para conocer el diámetro del piñón se aplica la siguiente fórmula (Mott, 2006, pág. 291):

$$D = \frac{P}{\text{Sen}\left(\frac{180}{N}\right)} \quad \text{(Ec. 4.19)}$$

Donde:

D= Diámetro de paso del piñón.

P=Paso en pulgadas (35mm =3/8plg).

N=número de dientes (Z=14).

$$D = \frac{\frac{3}{8} plg}{\text{Sen}\left(\frac{180}{14}\right)} \approx 1.70 plg \left(\frac{2.54 mm}{1 plg}\right) \approx 43.29 mm$$

Se aprecia en la figura 4.19 las reacciones que se generan en el punto D del eje 1.

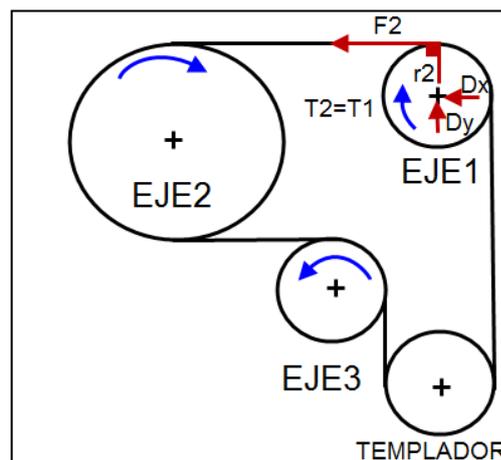


Figura 4.19 Diagrama lateral eje 1,2 y 3

Aplicando el principio de la Ec.4.16 para El punto D se tiene:

$$T2 = F2 \times r2$$

Donde:

F2=fuerza de tensión generado en el piñón.

T2=Torque generado en el piñón.

r2=radio del piñón.

$$F_2 = \frac{T_2}{r_2} = \frac{6910 \text{ N}\cdot\text{mm}}{\frac{43.29 \text{ mm}}{2}} \approx 320 \text{ N}$$

Con el principio de la Ec.4.17 se determina  $D_y$  que es la reacción en el punto D del eje 1.

$$D_y = F_2 \times \cos(\theta)$$

$$D_y = 320 \text{ N} \times \cos(45^\circ) \approx 226 \text{ N}$$

La reacción  $D_x$  se determina:

$$D_x = F_2 \quad \text{(Ec. 4.20)}$$

$$D_x = 320 \text{ N}$$

Con la ayuda del software MDSolid se obtiene los valores máximos de la fuerza cortante y del momento flector indicados en la figura 4.20 y la figura 4.21 producidos en el eje1.

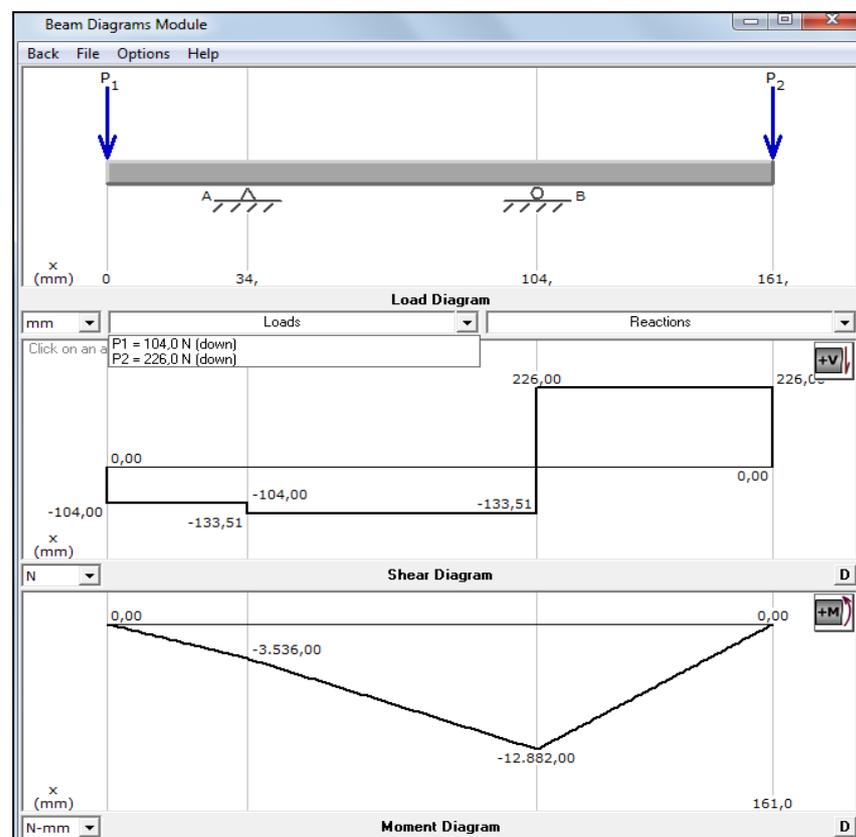
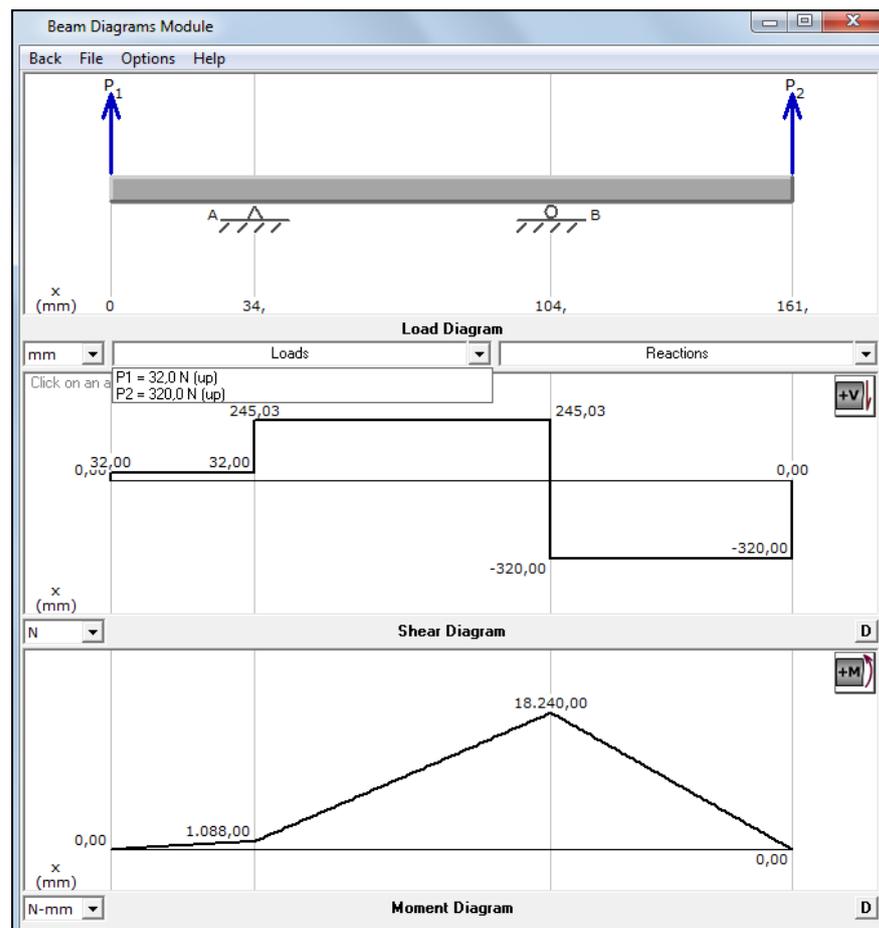


Figura 4.20 Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje 1 Plano x-y



**Figura 4.21 Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje 1 Plano x-z**

El diámetro de los ejes está bajo el dimensionamiento de los rodamientos de las chumaceras de piso suministrados por el cliente entonces con estos cálculos se pretende verificar si el diámetro de 20 mm es o no capaz de resistir el momento en el punto crítico conociendo su valor mediante el cálculo de la figura 4.20 y la figura 4.21, el cual es de 12882 N.mm y 18240 N.mm respectivamente.

Obteniendo mediante Pitágoras el momento resultante:

$$M = \sqrt{(12882^2 + 18240^2)} \quad (\text{Ec. 4.21})$$

$$M \approx 22330 \text{ N.mm}$$

Para el cálculo del diámetro se utiliza la Ec.4.22 (Mott, 2006, pág. 548):

$$D = \left\{ \frac{32 \times N}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{Kt \times M}{S'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{Sy} \right]^2} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ec. 4.22})$$

Donde:

N= Factor de seguridad.

Kt=Factor geométrico de concentración de esfuerzos (estimado el más crítico por la presencia de chaveteras) = 1.6 (Robert, 1999, pág. 598)

M=Momento de flexión máximo (figura 4.20).

T= par de torsión (figura 4.21).

S'n=Resistencia a la fatiga corregido.

Sy=Resistencia a la fluencia del material.

En la tabla 4.11 se indican datos técnicos de acero AISI1020.

**Tabla 4.11**

***Datos técnicos acero de transmisión AISI 1020***

<b>Sut [MPa]</b>	<b>Sy[MPa]</b>
889	496

Fuente: (Mott., 2006, págs. Apéndice 5 A-11)

$$S_n = 0.5 \times S_{ut} \quad (\text{Ec. 4.23})$$

$$S_n = 0.5 \times 889 \text{ MPa} \approx 445 \text{ MPa}$$

Para calcular S'n Corregido se determinar a partir de la ecuación de Marin (Mott, 2006, pág. 374)

$$S'n = C_{carga} \times C_{tamaño} \times C_{superficie} \times C_{temperatura} \times C_{confiabilidad} \times S_n$$

**(Ec. 4.24)**

Los siguientes factores se los asume:

- $C_{\text{carga}}$  (por flexión) = 1 (Mott, 2006, pág. 374)
- $C_{\text{tamaño}}$  (Para diámetros  $8 \text{ mm} \leq d \leq 250 \text{ mm}$ ) (Mott, 2006, pág. 376)

$$C_{\text{tamaño}} = 1.189 \times d^{-0.097} \quad (\text{Ec. 4.25})$$

Donde:

$d$ =diámetro del eje (20mm).

Por lo tanto:

$$C_{\text{tamaño}} = 1.189 \times d^{-0.097} \approx 0.88$$

- $C_{\text{superficie}}$  : Sigley y Mischke proponen que se maneje la ecuación exponencial de la forma (Mott, 2006, pág. 379):

$$C_{\text{superficie}} \approx A(S_{ut})^b \quad (\text{Ec. 4.26})$$

Para obtener los valores del parámetro de corrección se utiliza la tabla 4.12.

**Tabla 4.12**

***Parámetros para Corrección superficial***

Acabado superficial	MPa		ksi	
	A	b	A	b
Rectificado	1.58	-0.085	1.34	-0.085
Maquinado o estirado en frío	4.51	-0.265	2.7	-0.265
Rolado en caliente	57.7	-0.718	14.4	-0.718
Forjado	272	-0.995	39.9	-0.995

Fuente: (Norton, 2005, págs. 378 Tabla 6-3)

Por lo tanto:

$$C_{\text{superficie}} \approx 4.51 \times (889)^{-0.265}$$

$$C_{\text{superficie}} \approx 0.74$$

- Ctempetarura : Para  $T \leq 450^{\circ}\text{C}$  ( $840^{\circ}\text{F}$ )  $C_{temp} = 1$  (Mott, 2006, pág. 379)
- Cconfiabilidad = 1 (Mott, 2006, pág. 381)

Luego de calcular los factores se los indica en la tabla 4.13.

**Tabla 4.13**

**Datos calculados para hallar  $S'n$  corregido**

Factores	Valor
<b>Sn [MPa]</b>	445
<b>Ccarga</b>	1
<b>Ctamaño</b>	0.88
<b>Csuperficie</b>	0.74
<b>Ctemperatura</b>	1
<b>Cconfiabilidad</b>	1

Reemplazando los valores corregidos en la ecuación 4.24:

$$S'n = 1 \times 0.88 \times 0.74 \times 1 \times 1 \times 445 \approx 290 \text{ MPa}$$

Despejando y reemplazando datos en la ecuación 4.22, se tiene:

$$N = \frac{\pi \times D^3}{32 \times \sqrt{\left[\frac{Kt \times M}{S'n}\right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{Sy}\right]^2}}$$

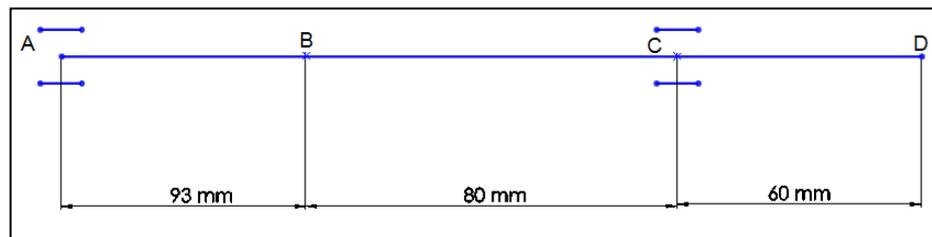
$$N = \frac{\pi \times (20 \text{ mm})^3}{32 \times \sqrt{\left[\frac{1.6 \times 22330 \text{ N.mm}}{290 \text{ MPa}}\right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{6910 \text{ N.mm}}{496 \text{ MPa}}\right]^2}} \approx 6.34$$

El factor de seguridad para el diámetro de 20 mm del eje garantiza la operatividad sin riesgo alguno de falla, se asume como útil las chumaceras

de piso provistas por el cliente para el diseño del eje 1 de 20 mm de diámetro.

### Eje2:

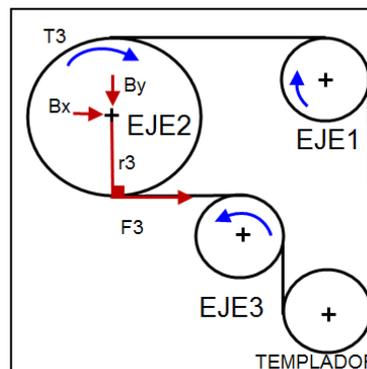
El diagrama de cuerpo libre se lo indica en la figura 4.22, el cual servirá para realizar cálculos de la fuerza cortante y el momento flector indicados posteriormente.



**Figura 4.22 Diagrama de cuerpo libre eje 2**

Previo al análisis se desarrolla el diagrama de tensión y fuerzas del eje 2 indicado en la figura 4.23.

Se tiene:



**Figura 4.23 Diagrama de tensión y fuerzas eje 2 en el punto B**

Como la potencia del motor es constante se utiliza el principio de la Ec.4.15 en el punto B:

$$P = T_3 \times \omega_3$$

Donde:

$P$ = Potencia del motor 250 W.

$T_3$ = Torque generado en el piñón.

$\omega_3$ = Velocidad angular del piñón ver Ec.4.10 (120 rpm).

$$T_3 = \frac{P}{\omega_3} = \frac{250 \text{ W}}{120 \text{ rpm} \times \left(\frac{2\pi}{60}\right)} \approx 20 \text{ N.m} \approx 20000 \text{ N.mm}$$

Aplicando el principio de la Ec.4.16 para El punto B se tiene:

$$T_3 = F_3 \times r_3$$

Donde:

$F_3$ =fuerza de tensión generado en el piñón.

$r_3$ =Radio del piñón de 40 dientes.

Para conocer el diámetro del piñón se aplica la ecuación 4.19 y se determina:

$$D = \frac{P}{\text{Sen}\left(\frac{180}{N}\right)}$$

Donde:

$D$ = Diámetro del piñón

$P$ =Paso en pulgadas (35 mm = 3/8 plg).

$N$ =numero de dientes ( $Z=40$ ).

Entonces:

$$D = \frac{\frac{3}{8} \text{ plg}}{\text{Sen}\left(\frac{180}{40}\right)} \approx 4.77 \text{ plg} \left(\frac{2.54 \text{ mm}}{1 \text{ plg}}\right) \approx 121 \text{ mm}$$

Reemplazando:

$$F3 = \frac{T3}{r2} = \frac{20000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{\frac{121 \text{ mm}}{2}} \approx 331 \text{ N}$$

Con el principio de la Ec.4.17 y la Ec.4.20 se determina (Bx-By) que son las reacciones en el punto B del eje 2.

Por lo tanto:

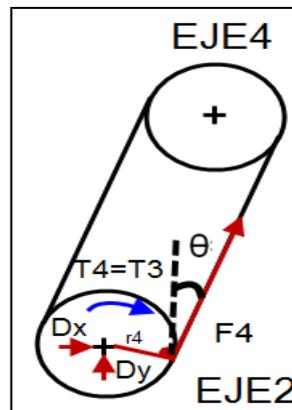
$$By = F3 \times \cos(\theta)$$

$$By = 331 \text{ N} \times \cos(45^\circ) \approx 234 \text{ N}$$

$$Bx = F3$$

$$Bx = 331 \text{ N}$$

Se aprecia en la figura 4.24 las reacciones que se generan en el punto D del eje 2.



**Figura 4.24 Diagrama de tensión y fuerza eje 2 en el punto D**

Aplicando el principio de la Ec.4.16 para El punto D se tiene:

$$T4 = F4 \times r4$$

Donde:

F1= Fuerza de tensión generado en la puela.

r4= Radio del piñón z14 dientes (43.29/2 mm).

$\theta$  = Angulo del piñón del eje 2 con respecto al piñón del eje 4 ( $28.26^\circ$ ).

$$F_4 = \frac{T_4}{r_4} = \frac{20000 \text{ N}\cdot\text{mm}}{\frac{43.29}{2} \text{ mm}} \approx 924 \text{ N}$$

Con el principio de la Ec.4.17 y la Ec.4.18 se determina ( $D_x$ - $D_y$ ) que son las reacciones en el punto D del eje 2.

Por lo tanto:

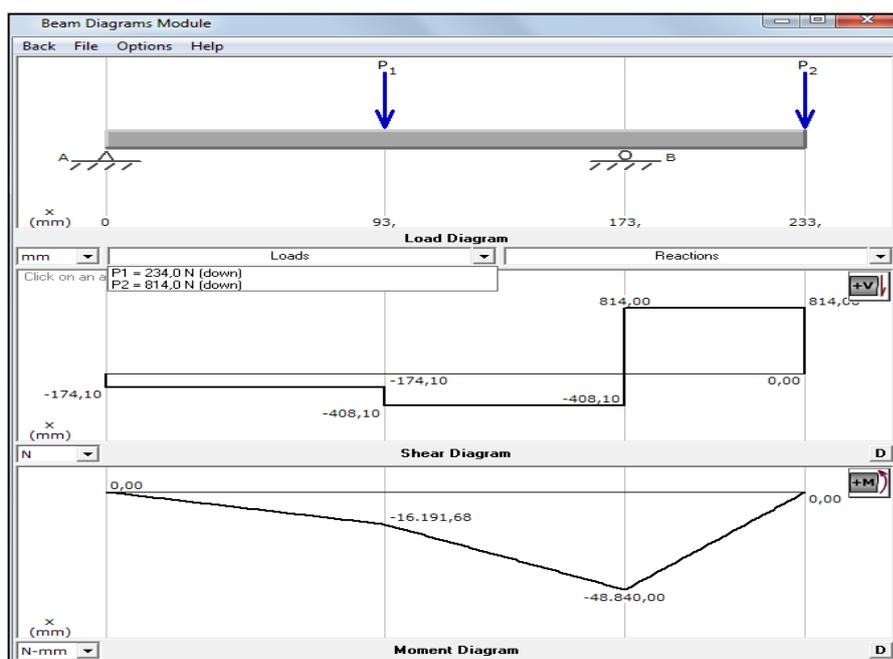
$$D_y = F_4 \times \cos(\theta)$$

$$D_y = 924 \text{ N} \times \cos(28.26^\circ) \approx 814 \text{ N}$$

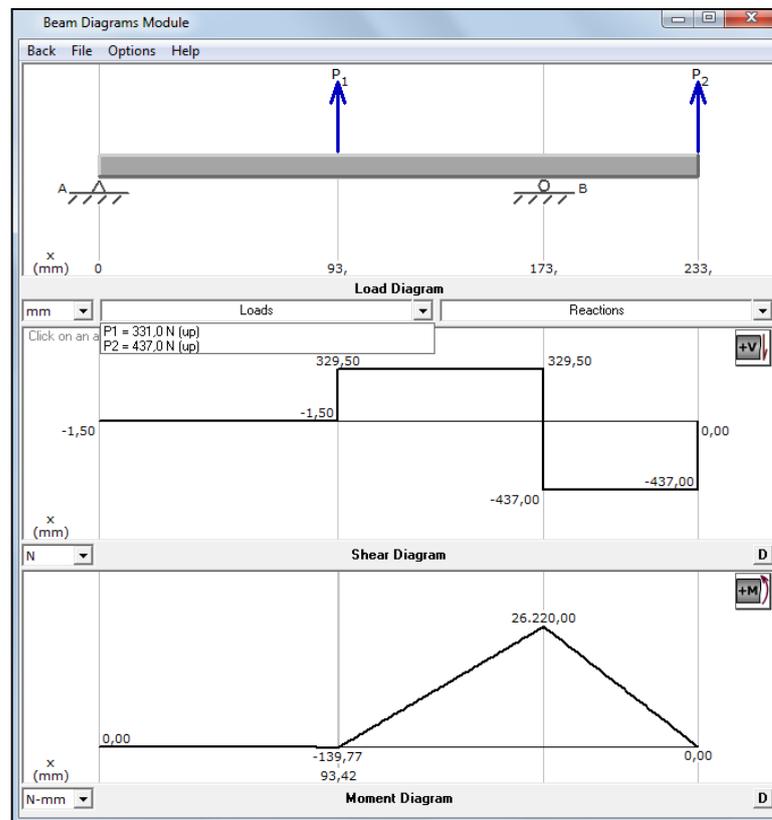
$$D_x = F_4 \times \text{sen}(\theta)$$

$$D_x = 924 \text{ N} \times \text{sen}(28.26^\circ) \approx 437 \text{ N}$$

Con la ayuda del software MDsolid se obtiene los valores máximos de la fuerza cortante y del momento flector indicados en la figura 4.5 y la figura 4.26 producidos en el eje 2.



**Figura 4.25 Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje 2 Plano x-y**



**Figura 4.26 Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje 2 Plano x-z**

El diámetro de los ejes está bajo el dimensionamiento de los rodamientos de las chumaceras de piso suministrados por el cliente entonces con estos cálculos se pretende verificar si el diámetro de 20 mm es o no capaz de resistir el momento en el punto crítico conociendo su valor mediante el cálculo de la figura 4.25 y la figura 4.26, el cual es de 48840 N.mm y 26220 N.mm respectivamente.

Con la Ec.4.21, se determina el momento resultante:

$$M = \sqrt{(48840^2 + 26220^2)}$$

$$M \approx 55433 \text{ N.mm}$$

Aplicando y despejando la Ec.4.22:

$$D = \left\{ \frac{32 \times N}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{Kt \times M}{S'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{Sy} \right]^2} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

N= Factor de seguridad.

Kt=Factor geométrico de concentración de esfuerzos= 1.6.

M=Momento de flexión máximo (figura 4.25)

T= par de torsión (figura 4.26).

S'n=Resistencia a la fatiga corregido.

Sy=Resistencia a la fluencia del material.

Con los datos obtenidos en la tabla 4.13 se reemplaza:

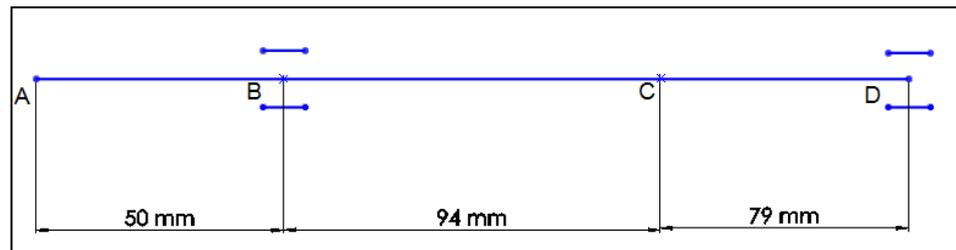
$$N = \frac{\pi \times D^3}{32 \times \sqrt{\left[ \frac{Kt \times M}{S'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{Sy} \right]^2}}$$

$$N = \frac{\pi \times (20 \text{ mm})^3}{32 \times \sqrt{\left[ \frac{1.6 \times 55433 \text{ N} \cdot \text{mm}}{290 \text{ MPa}} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{20000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{496 \text{ MPa}} \right]^2}} \approx 3$$

El factor de seguridad para el diámetro de 20 mm del eje 2 garantiza la operatividad sin riesgo alguno de falla, se asume como útil las chumaceras de piso provistas por el cliente para el diseño del eje 2 de 20 mm de diámetro.

### Eje 3:

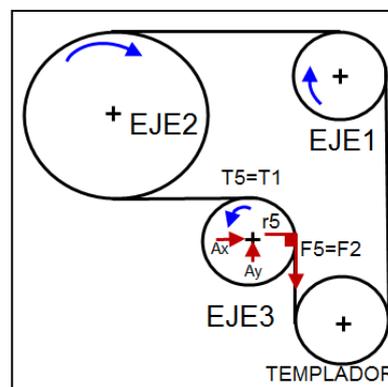
El diagrama de cuerpo libre se lo indica en la figura 4.27, el cual servirá para realizar cálculos de la fuerza cortante y el momento flector indicados posteriormente.



**Figura 4.27 Diagrama de cuerpo libre eje 3**

Previo al análisis se desarrolla el diagrama de tensión y fuerzas del eje 3 indicado en la figura 4.28.

Se tiene:



**Figura 4.28 Diagrama de tensión y fuerzas eje 3 en el punto A**

Datos:

$T_5$  = Torque generado en el piñón 14 dientes (6910 N.mm).

$F_5$  = fuerza de tensión generado en el piñón 14 dientes (320 N).

$r_5$  = Radio del piñón de 14 dientes (43.29/2 mm).

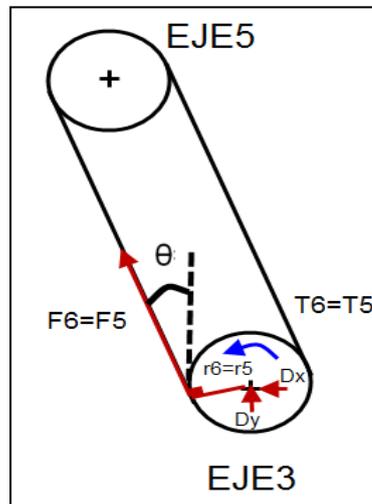
Las reacciones ( $A_x$ - $A_y$ ) el punto A del eje 3 son iguales a las reacciones ( $D_x$ - $D_y$ ) en el punto D del eje 1, aplicando el principio de la Ec.4.17 y Ec.4.20 respectivamente.

Por lo tanto:

$$A_y = D_y \approx 320 \text{ N}$$

$$A_x = D_x \approx 226 \text{ N}$$

Se aprecia en la figura 4.29 las reacciones que se generan en el punto D del eje 3.



**Figura 4.29 Diagrama de tensión y fuerza eje 3 en el punto D**

Datos:

$F_6$ = Fuerza de tensión generado en el piñón z14 dientes (320 N).

$r_6$ = Radio del piñón z14 dientes (43.29/2 mm).

$\theta$ = Angulo del piñón del eje 3 con respecto al piñón del eje 5 (25°).

Con el principio de la Ec.4.17 y la Ec.4.18 se determina ( $D_x$ - $D_y$ ) que son las reacciones en el punto D del eje 3.

Por lo tanto:

$$D_y = F_6 \times \cos(\theta)$$

$$D_y = 320 \text{ N} \times \cos(25^\circ) \approx 290 \text{ N}$$

$$D_x = F_6 \times \text{sen}(\theta)$$

$$D_x = 320 \text{ N} \times \text{sen}(25^\circ) \approx 135 \text{ N}$$

Con la ayuda del software MDsolid se obtiene los valores máximos de la fuerza cortante y del momento flector indicados en la figura 4.30 y la figura 4.31 producidos en el eje 3.

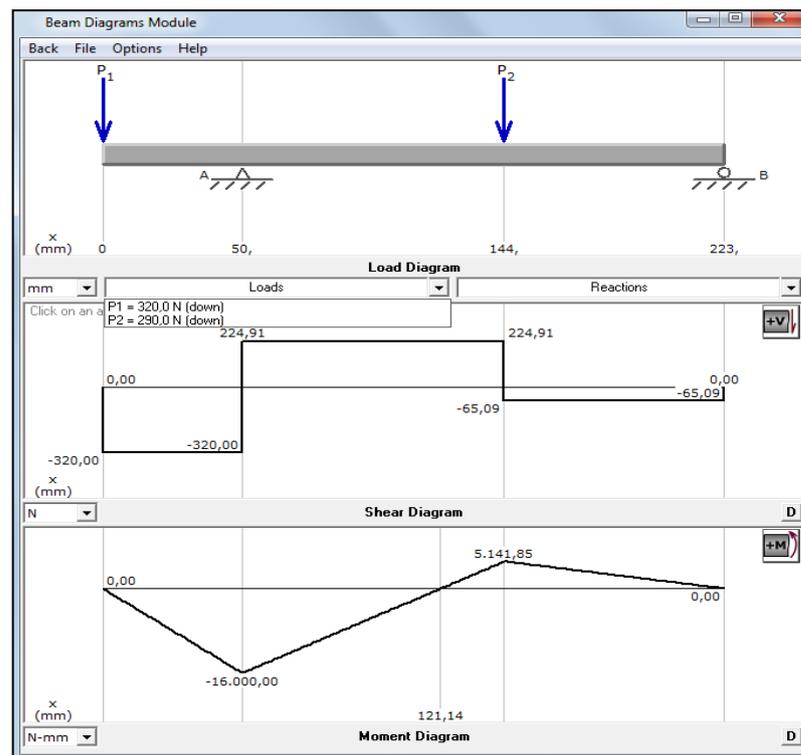


Figura 4.30 Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje Plano x-y

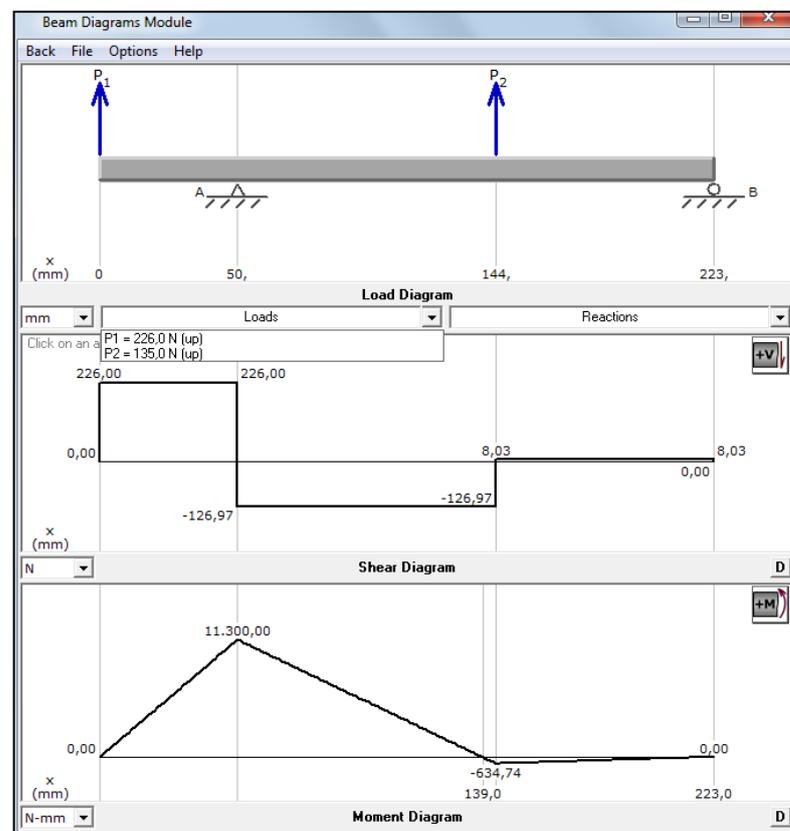


Figura 4.31 Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje Plano x-z

El diámetro de los ejes esta bajo el dimensionamiento de los rodamientos de las chumaceras de piso suministrados por el cliente entonces con estos cálculos se pretende verificar si el diámetro de 20 mm es o no capaz de resistir el momento en el punto crítico conociendo su valor mediante el cálculo de la figura 4.30 y la figura 4.31, el cual es de 16000 N.mm y 11300 N.mm respectivamente.

Con la Ec.4.21, se determina el momento resultante:

$$M = \sqrt{(16000^2 + 11300^2)}$$

$$M \approx 19588 \text{ N. mm}$$

Aplicando y despejando la Ec.4.22:

$$D = \left\{ \frac{32 \times N}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{Kt \times M}{S'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{Sy} \right]^2} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

N= Factor de seguridad.

Kt=Factor geométrico de concentración de esfuerzos= 1.6.

M=Momento de flexión máximo (figura 4.30).

T= par de torsión (figura 4.31).

S'n=Resistencia a la fatiga corregido.

Sy=Resistencia a la fluencia del material.

Con los datos obtenidos en la tabla 4.13 se reemplaza:

$$N = \frac{\pi \times D^3}{32 \times \sqrt{\left[ \frac{Kt \times M}{S'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{Sy} \right]^2}}$$

$$N = \frac{\pi \times (20 \text{ mm})^3}{32 \times \sqrt{\left[ \frac{1.6 \times 19588 \text{ N. mm}}{290 \text{ MPa}} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{6910 \text{ N. mm}}{496 \text{ MPa}} \right]^2}} \approx 7$$

El factor de seguridad para el diámetro de 20 mm del eje 3 garantiza la operatividad sin riesgo alguno de falla, se asume como útil las chumaceras de piso provistas por el cliente para el diseño del eje 3 de 20 mm de diámetro.

#### EJE 4:

Este eje concierne al rodillo principal (ver figura 3.6). El diagrama de cuerpo libre se lo indica en la figura 4.32, el cual servirá para realizar cálculos de la fuerza cortante y el momento flector indicados posteriormente.

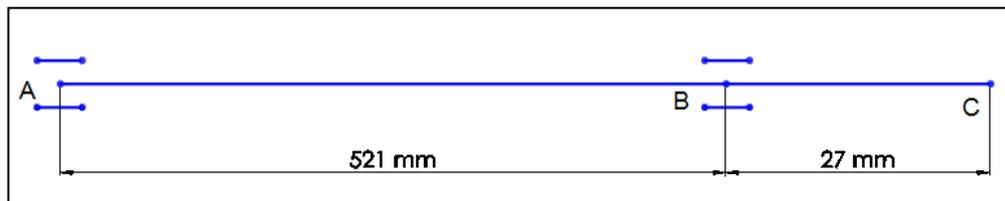


Figura 4.32 Diagrama de cuerpo libre eje 4

Previo al análisis se desarrolla el diagrama de tensión y fuerzas del eje 4 indicado en la figura 4.33.

Se tiene:

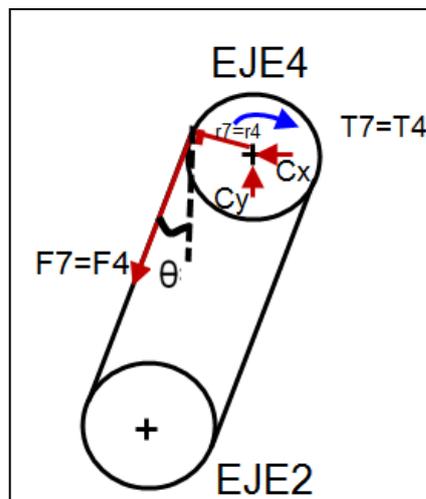


Figura 4.33 Diagrama de tensión y fuerza eje 4 en el punto C

Datos:

$T_7$ =Torque generado en el piñon de z14 dientes (20000 N.mm).

$F_7$ = Fuerza de tensión generado en el piñón (924 N).

$r_7$ = Radio del piñon z14 dientes (43.29/2 mm).

$\theta$ = Angulo del piñón del eje 3 con respecto al piñón del eje 5 (28.26°).

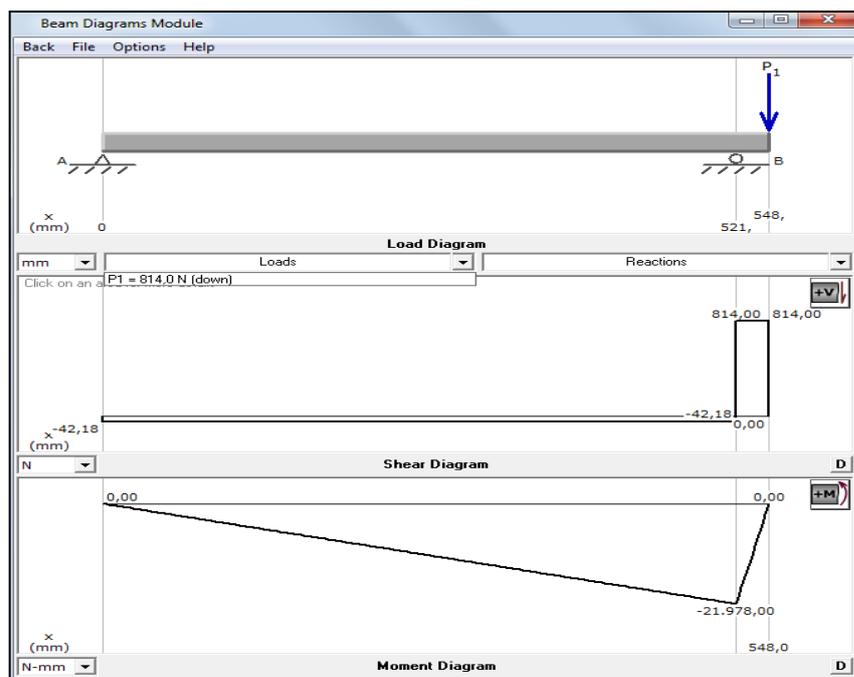
Las reacciones ( $D_x$ - $D_y$ ) el punto D del eje 2 son iguales a las reacciones ( $C_x$ - $C_y$ ) en el punto C del eje 4, aplicando el principio de la Ec.4.17 y Ec.4.18 respectivamente.

Por lo tanto:

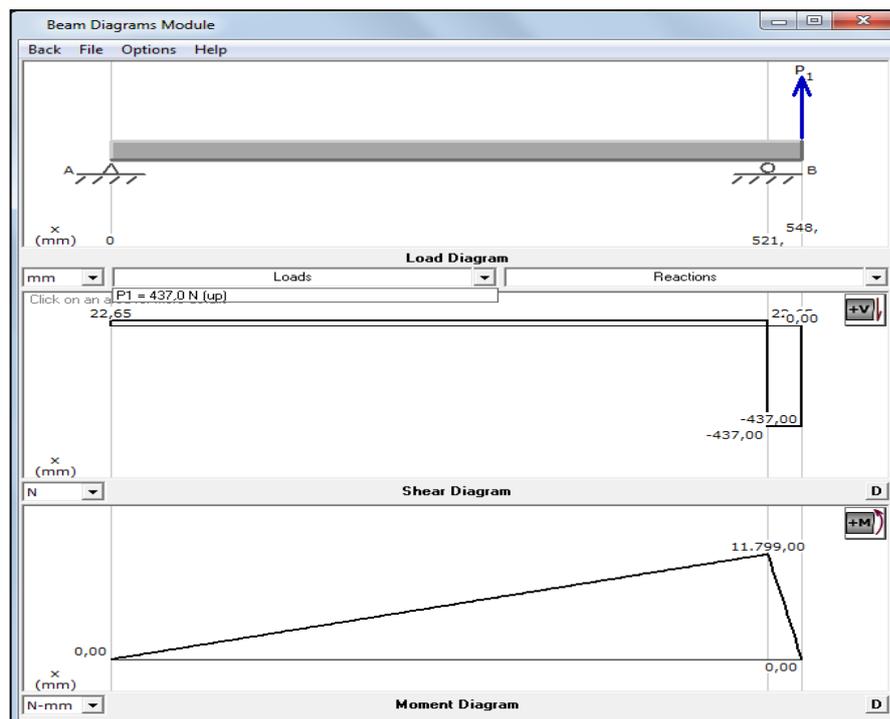
$$C_y = D_y \approx 814N$$

$$C_x = D_x \approx 437N$$

Con la ayuda del software MDsolid se obtiene los valores máximos de la fuerza cortante y del momento flector indicados en la figura 4.34 y la figura 4.35 producidos en el eje 4.



**Figura 4.34 Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje 4 Plano x-y**



**Figura 4.35 Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje 4 Plano x-z**

El diámetro de los ejes está bajo el dimensionamiento de los rodamientos de las chumaceras de pared suministrados por el cliente entonces con estos cálculos se pretende verificar si el diámetro de 22 mm es o no capaz de resistir el momento en el punto crítico conociendo su valor mediante el cálculo de la figura 4.34 y la figura 4.35, el cual es de 21978 N.mm y 11799 N.mm respectivamente.

Con la Ec.4.21, se determina el momento resultante:

$$M = \sqrt{(21978^2 + 11799^2)}$$

$$M \approx 24945 \text{ N.mm}$$

Aplicando y despejando la Ec.4.22:

$$D = \left\{ \frac{32 \times N}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{Kt \times M}{S'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{Sy} \right]^2} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

$N$ = Factor de seguridad.

$K_t$ =Factor geométrico de concentración de esfuerzos= 1.6.

$M$ =Momento de flexión máximo (figura 4.30).

$T$ = par de torsión (figura 4.31).

$S'_n$ =Resistencia a la fatiga corregido.

$S_y$ =Resistencia a la fluencia del material.

Con los datos obtenidos en la tabla 4.13 se reemplaza:

$$N = \frac{\pi \times D^3}{32 \times \sqrt{\left[\frac{K_t \times M}{S'_n}\right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{S_y}\right]^2}}$$

$$N = \frac{\pi \times (20 \text{ mm})^3}{32 \times \sqrt{\left[\frac{1.6 \times 24945 \text{ N}\cdot\text{mm}}{290 \text{ MPa}}\right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{20000 \text{ N}\cdot\text{mm}}{496 \text{ MPa}}\right]^2}} \approx 5$$

El factor de seguridad para el diámetro de 22 mm del eje del rodillo principal garantiza la operatividad sin riesgo alguno de falla, se asume como útil las chumaceras de pared y el rodillo provisto por el cliente para la verificación de diseño del eje4.

### Eje 5:

Este eje concierne al rodillo secundario (ver figura 3.6). El diagrama de cuerpo libre se lo indica en la figura 4.36, el cual servirá para realizar cálculos de la fuerza cortante y el momento flector indicados posteriormente.

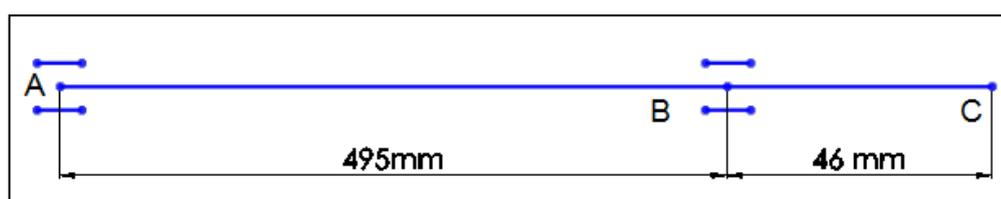
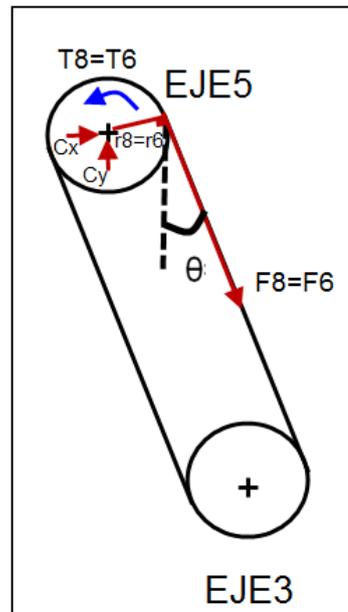


Figura 4.36 Diagrama de cuerpo libre eje 5

Previo al análisis se desarrolla el diagrama de tensión y fuerzas del eje 5 indicado en la figura 4.37.

Se tiene:



**Figura 4.37 Diagrama de tensión y fuerza eje 5 en el punto C**

Datos:

$T_8$ = Torque generado en el piñón de  $z_{14}$  dientes (6910 N.mm).

$F_8$ = Fuerza de tensión generado en el piñón  $z_{14}$  dientes (320 N).

$r_8$ = Radio del piñón  $z_{14}$  dientes (43.29/2 mm).

$\theta$ = Angulo del piñón del eje 5 con respecto al piñón del eje 3 ( $25^\circ$ ).

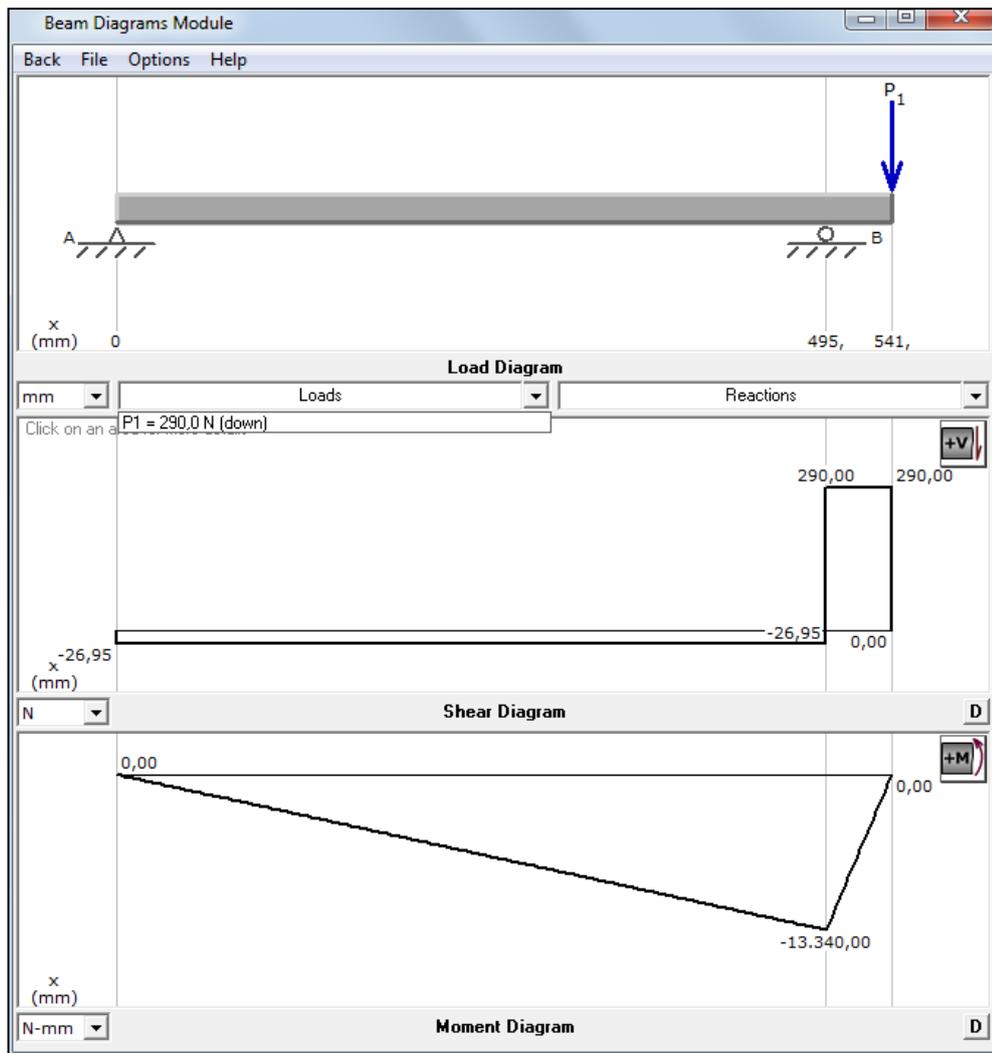
Las reacciones ( $D_x$ - $D_y$ ) el punto D del eje 3 son iguales a las reacciones ( $C_x$ - $C_y$ ) en el punto C del eje 5, aplicando el principio de la Ec.4.17 y Ec.4.18 respectivamente.

Por lo tanto:

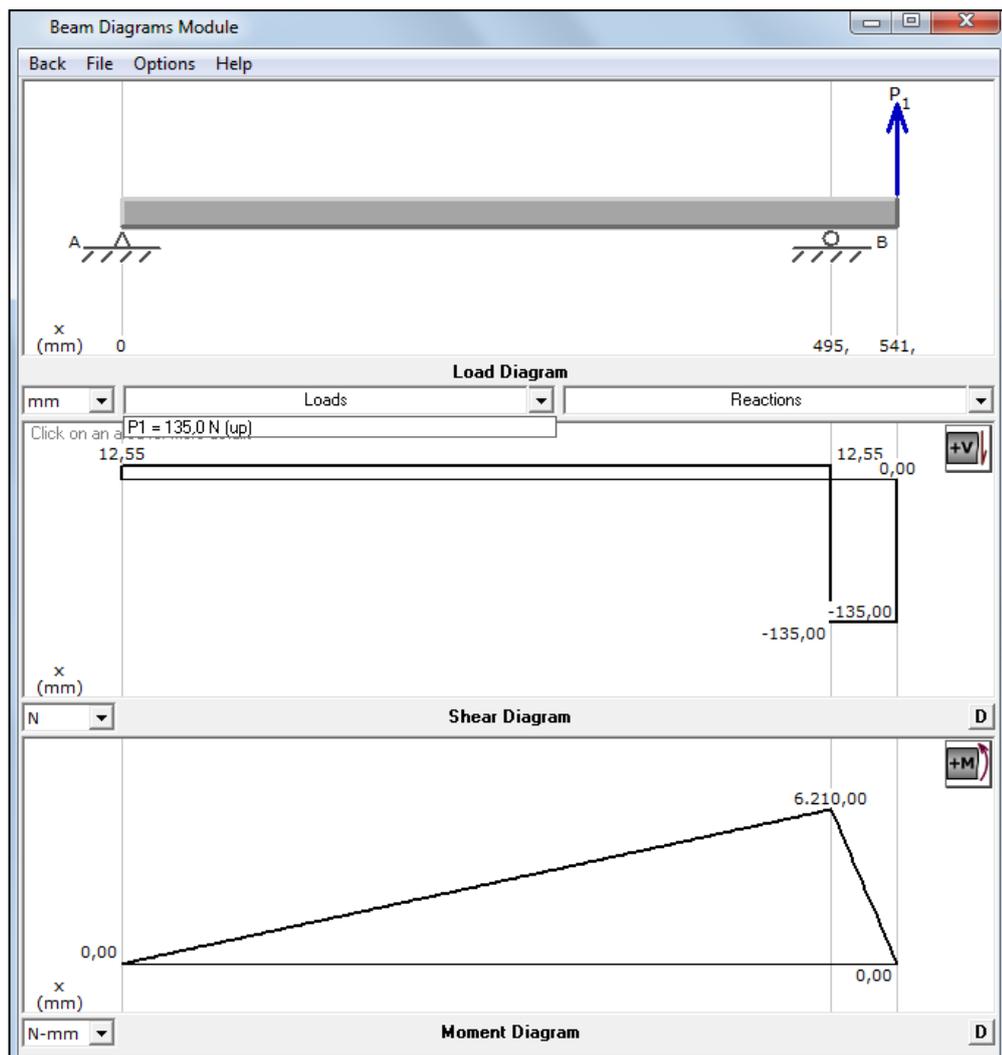
$$C_y = D_y \approx 290N$$

$$C_x = D_x \approx 135N$$

Con la ayuda del software MDSolid se obtiene los valores máximos de la fuerza cortante y del momento flector indicados en la figura 4.38 y la figura 4.39 producidos en el eje 5.



**Figura 4.38 Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje 5 Plano x-y**



**Figura 4.39 Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje 5 Plano x-z**

El diámetro de los ejes de los rodillos secundarios esta bajo el dimensionamiento dado de su construcción suministrados por el cliente entonces con estos cálculos se pretende verificar si el diámetro de 12 mm es o no capaz de resistir el momento en el punto crítico conociendo su valor mediante el cálculo de la figura 4.38 y la figura 4.39. El cual es de 13340 N.mm y 6210 N.mm respectivamente.

Con la Ec.4.21, se determina el momento resultante:

$$M = \sqrt{(13340^2 + 6210^2)}$$

$$M \approx 14715 \text{ N.mm}$$

Aplicando y despejando la Ec.4.22:

$$D = \left\{ \frac{32 \times N}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{Kt \times M}{S'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{Sy} \right]^2} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

N= Factor de seguridad.

Kt=Factor geométrico de concentración de esfuerzos= 1.6.

M=Momento de flexión máximo (figura 4.30).

T= par de torsión (figura 4.31).

S'n=Resistencia a la fatiga corregido.

Sy=Resistencia a la fluencia del material.

Con los datos obtenidos en la tabla 4.13 se reemplaza:

$$N = \frac{\pi \times D^3}{32 \times \sqrt{\left[ \frac{Kt \times M}{S'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{Sy} \right]^2}}$$

$$N = \frac{\pi \times (12 \text{ mm})^3}{32 \times \sqrt{\left[ \frac{1.6 \times 14715 \text{ N.mm}}{290 \text{ MPa}} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{6910 \text{ N.mm}}{496 \text{ MPa}} \right]^2}} \approx 2$$

El factor de seguridad para el diámetro de 12 mm del eje del rodillo secundario garantiza la operatividad sin riesgo alguno de falla, se asume como útil los rodillos provistos por el cliente para el diseño de la máquina engomadora.

### Cadena paso 35mm 3/8plg:

Se verifica si la resistencia promedio al esfuerzo de tracción de la cadena de paso 35mm (3/8plg) resiste en el sistema con la siguiente ecuación: (Mott, 2006, pág. 549)

$$F_{e_{max}} = 2100 \text{ Lbf} \times \left( \frac{1\text{Kgf}}{2.2\text{Lbf}} \right) \times \left( \frac{9.8\text{N}}{1\text{Kgf}} \right) \approx 9355 \text{ N} \quad (\text{Ec. 4.27})$$

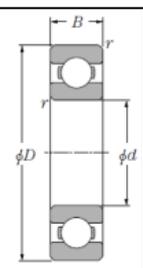
Con los cálculos anteriores se tiene que la fuerza más grande de tracción esta generada en el eje 2 ( $F_4=924 \text{ N}$ ), entonces la cadena para esta aplicación es la correcta.

### Rodamientos:

Se verifica si los rodamientos estándares existentes pueden resistir la carga radial que ejerce el eje del cilindro secundario.

### Rodillo secundario:

Boundary dimensions					Basic load ratings			
mm					dynamic	static	dynamic	static
					kN		kgf	
$d$	$D$	$B$	$r_{s \min}^{1)}$	$r_{NS}$ min	$C_r$	$C_{or}$	$C_r$	$C_{or}$
12	28	7	0.3	—	5.10	2.39	520	244
	28	8	0.3	—	5.10	2.39	520	244
	32	10	0.6	0.5	6.10	2.75	620	280



**Figura 4.40 Datos técnicos catalogo rodamientos NTN**  
Fuente: (NTN, 2015, págs. 114 B-9)

El diámetro del rodillo secundario es de 12mm se elige entonces un rodamiento de  $D=28$  para verificar si puede soportar la Fuerza axial ( $F_a$ ) y la Fuerza radial ( $F_r$ ) mediante la siguiente ecuación (NTN, 2015, págs. 115B-9):

$$P_{OR} = 0.6 \times F_a + 0.5 \times F_r \quad (\text{Ec. 4.28})$$

Se tiene mediante la figura 4.37 y sus respectivos cálculos que:

$$F_a = Cy = 290 \text{ N}$$

$$F_r = Cx = 135 \text{ N}$$

Reemplazando en la (Ec. 4.28):

$$P_{OR} = 0.6 \times 290 \text{ N} + 0.5 \times 135 \text{ N} = 226 \text{ N}$$

$$C_{OR} > P_{OR}$$

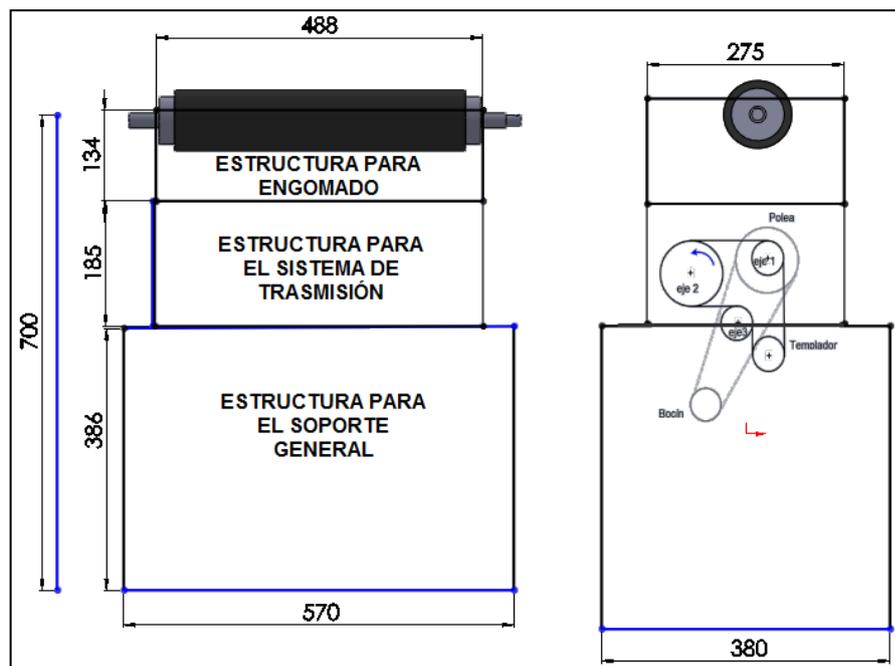
$$2390 \text{ N} > 226 \text{ N}$$

Por lo tanto funcionaran correctamente.

#### **4.4.3. Dimensionamiento analítico de la estructura**

Para el diseño dimensional se basa en la figura 4.41. Donde se expone el rodillo en vista de que es un elemento provisto por el cliente el cual permite tener una idea clara de las dimensiones para las estructuras.

Los 700 mm de del sistema de engomado fue en vista de un promedio general de la talla de los operarios (1.50 m / 2), en vista de que este proceso se lo realizara estando en una postura recta.



**Figura 4.41 Estructura general del sistema de engomado unidades-mm**

Se colocará al motor en la estructura de soporte general para poder dejar el sistema de transmisión desmontable e individual y al mismo tiempo compacto de esa manera se satisface los parámetros iniciales.

#### 4.4.4. Simulación mediante software de esfuerzos y deformaciones

Para todas las estructuras el análisis será de cargas estáticas detallando el peso de los elementos en la tabla 4.14.

**Tabla 4.14**

##### *Peso de los elementos*

<b>Elementos</b>	<b>Peso(kg)</b>
Rodillos	11.33
Estructura de engomado	15.87
Sistema de piñones	6.80
Motor	9.07

Para el análisis de esfuerzos y deformaciones del sistema de engomado se lo ha dividido en tres partes (ver figura 4.41):

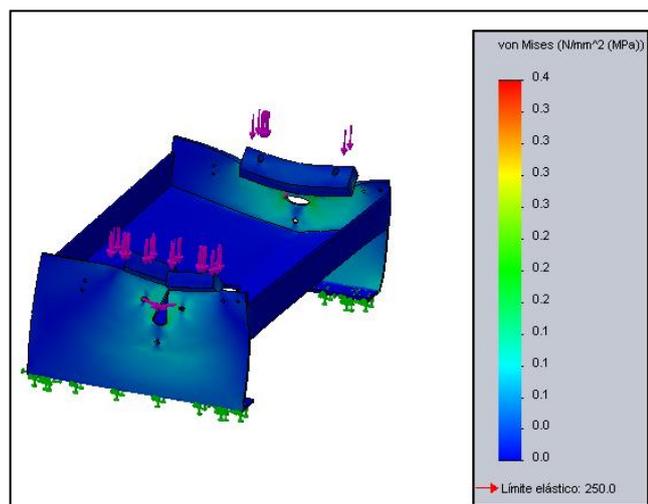
- Estructura para engomado.
- Estructura para el sistema de transmisión.
- Estructura para el soporte general.

### Estructura para engomado.

Para esta estructura (Ver figura 4.42) el material a elegir fue de acero A36 de espesor 4 mm.

Se realizó el análisis de esfuerzos con una carga de 11.33 kgf que es el valor de los 3 rodillos, (rodillo principal y los secundarios).

Apreciando en la figura 4.42 el esfuerzo máximo de la estructura es de 0.4 MPa con una carga de 11.33 kgf:



**Figura 4.42 Análisis de esfuerzos**

Siendo:

$S_y$ = Resistencia de fluencia del acero A-36.

$\sigma_r$ = Máximo esfuerzo que soporta la estructura (Fig. 4.42).

$[\sigma]$ = Esfuerzo permisible del acero A-36.

Tenemos que:

$$S_y = 250 \text{ MPa (A - 36)} \quad \sigma_r = 0.4 \text{ MPa}$$

Aplicando la Ec.4.5 se determina:

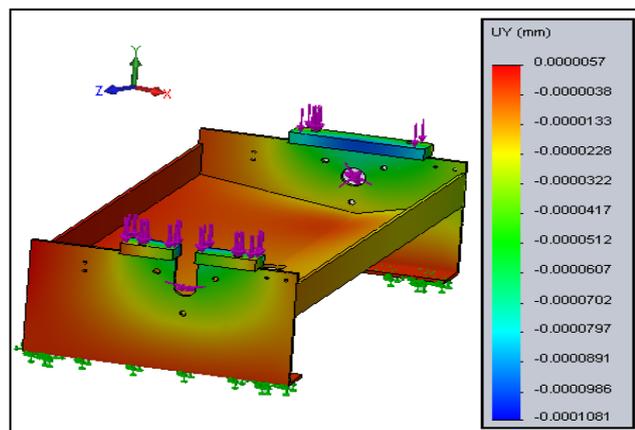
$$[\sigma] = 0.66S_y$$

$$[\sigma] = 165 \text{ MPa}$$

Para validar el diseño debe cumplir la condición de la Ec.4.6:

$$\sigma_r \leq [\sigma]$$

En vista de que cumple con esta condición se analiza la deformación como se indica en la figura 4.43.



**Figura 4.43 Análisis de deformación**

Siendo:

$\delta_r$ = Deformación que soporta la estructura.

L= Luz (distancia de la estructura).

$[\delta]$ = Deformación permisible.

$$L = 480 \text{ mm}$$

Tenemos que:

$$\bar{\delta}r = 0 \text{ mm (software)} ; \quad L = 480 \text{ mm}$$

Aplicando la Ec.4.7 se determina:

$$[\delta] = \frac{L}{800}$$

$$[\delta] = 480/800$$

$$[\delta] = 0.54 \text{ mm}$$

Para validar el diseño debe cumplir la condición de la Ec.4.8:

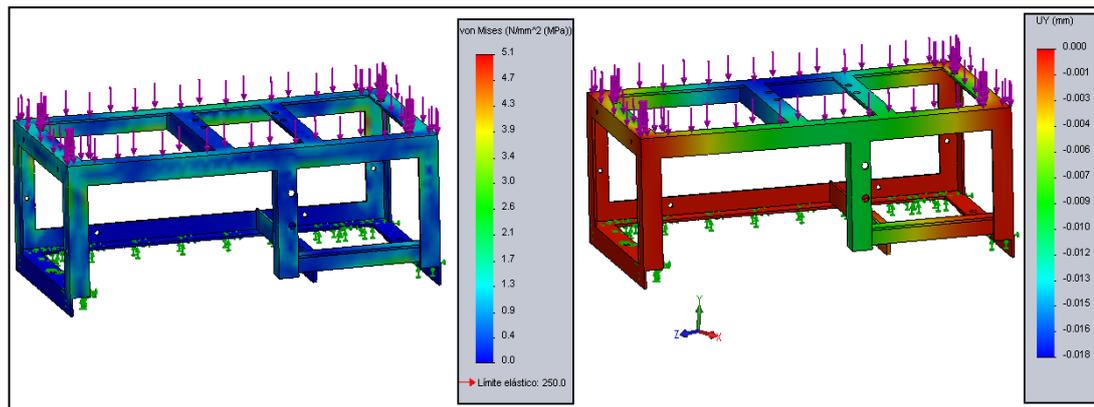
$$\delta r < [\delta]$$

Debido a que cumple las condiciones de Ec4.6 y Ec4.8 el diseño es satisfactorio.

En vista que los esfuerzos y deformaciones no ameritan un detalle minucioso se resume en la tabla 4.15 y 4.16 con sus figuras 4.44 y 4.45 respectivamente:

### **Estructura para el sistema de transmisión:**

Se realizó el análisis de esfuerzos con una carga de 27.1 kgf que es el valor de los 3 rodillos y su estructura, peso del sistema de transmisión.



**Figura 4.44 Análisis de esfuerzo y deformación**

Conociendo que:

$$S_y = 250 \text{ MPa (A36)}$$

$$L = 480 \text{ mm}$$

**Tabla 4.15**

***Cálculo de esfuerzo y deflexiones***

Análisis	$\sigma$ MPa	$[\sigma]$ MPa	$\delta r$ mm	$[\delta]$ mm
Esfuerzo	5.1	165	-	-
Deflexión	-	-	0	0.6

Verificando que cumple con las dos condiciones de la ecuación 4.6 y 4.8

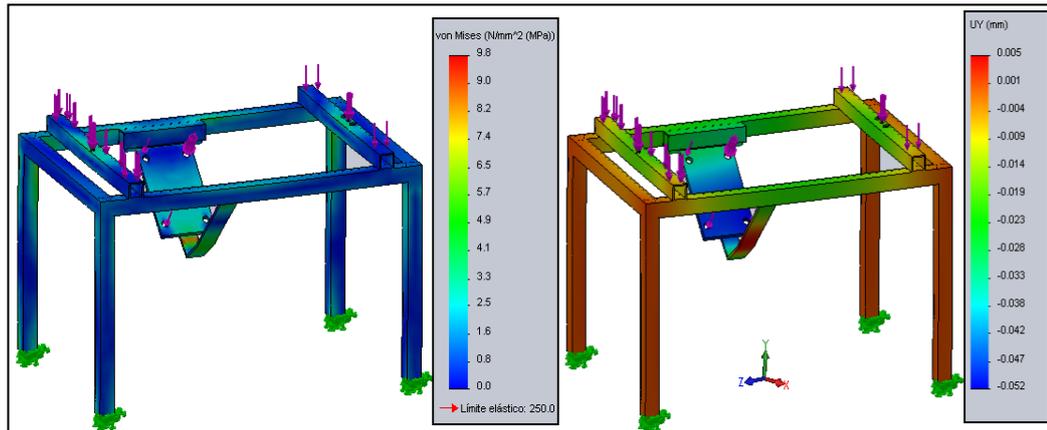
$$\sigma r \leq [\sigma]$$

$$\delta r < [\delta]$$

Se concluye que la estructura es confiable.

### Estructura para el soporte general:

Se realizó el análisis de esfuerzos con una carga de 43 kgf que es el valor de los 3 rodillos, su estructura, sistema de transmisión, su estructura y el motor.



**Figura 4.45 Análisis de esfuerzo y deformación**

Conociendo que:

$$S_y = 250 \text{ MPa (A36)}$$

$$L = 380 \text{ mm}$$

**Tabla 4.16**

#### **Cálculo de esfuerzo y deformación**

Análisis	$\sigma_r$ MPa	$[\sigma]$ MPa	$\delta_r$ mm	$[\delta]$ mm
Esfuerzo	9.8	165	-	-
Deflexión	-	-	0.005	0.47

Verificando que cumple con las dos condiciones de la ecuación 4.6 y 4.8

$$\sigma_r \leq [\sigma]$$

$$\delta_r < [\delta]$$

Se concluye que la estructura es confiable.

## 4.5. SISTEMA NEUMÁTICO

### 4.5.1. Matriz de selección

Mediante las tabla 4.17 se indica la mejor selección para el sistema de alimentación y centrado.

**Tabla 4.17**

***Matriz de selección del sistema neumático de alimentación y centrado para la prensa hidráulica***

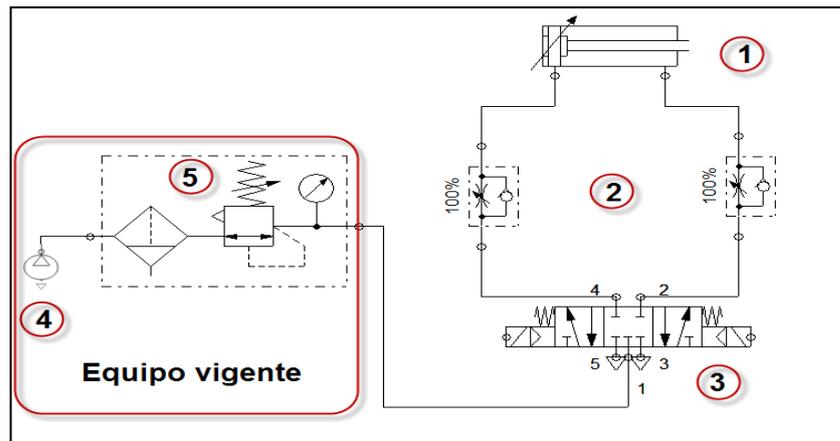
Sistema	Funcionalidad (0.22)	Costo (0.31)	Acoplamiento (0.15)	Confiabilidad (0.21)	Mantenimiento (0.11)	Total (1)
Varios cilindros	2	1	2	5	5	2,65
Un cilindro	5	5	4	3	5	4,43

**Calificaciones 5 – 4 (bueno) 3 – 2 (regular) 1 – 0 (malo).**

Mediante un solo cilindro se puede realizar la alimentación, centrado y salida del material que ingresará a la prensa hidráulica de esta manera se optimiza recursos y tiempo.

### 4.5.2. Descripción

Apreciando la figura 4.46 se detalla los elementos que conforman el sistema neumático. Para el proceso de alimentación y centrado se lo realizará mediante un solo cilindro, el mismo que estará activado por una electroválvula y recorrerá tres diferentes distancias dependiendo de las planchas de madera a alimentar (ver numeral 4.1).



**Figura 4.46 Esquema neumático de potencia del sistema de alimentación y centrado**

1. Cilindro Doble efecto
2. Válvula antiretorno estranguladora.
3. Electroválvula 5/3.
4. Compresor.
5. Unidad de mantenimiento.

Dentro de las instalaciones de ROMPECABEZAS IDEAL existe un equipo neumático vigente (Ver figura 4.47), con sus respectivos datos técnicos indicados en la tabla 4.18.



**Figura 4.47 Compresor y unidad de mantenimiento pertenecientes a ROMPECABEZAS IDEAL**

Tabla 4.18

**Descripción de equipo neumático vigente**

Descripción	Presión (psi)	Potencia (hp)
Compresor	116	5
Unidad de mantenimiento	90	-

El ciclo de trabajo del cilindro se indica con la figura 4.48:

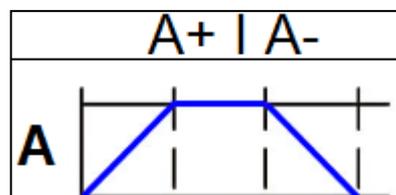


Figura 4.48 Ciclo del trabajo del cilindro neumático

### 4.5.3. Selección de elementos

#### 4.5.3.1. Cilindro Neumático

Con el dimensionamiento realizado en la figura 4.7 la carrera del cilindro es de 716 mm.

De acuerdo a la tabla 4.17 la presión de trabajo ( $P_{TRABAJO}$ ) es de 90psi, entonces:

$$P_{TRABAJO} = 90 \text{ psi} \times \left( \frac{1 \text{ bar}}{14.5037 \text{ psi}} \right) \approx 6.20 \text{ bares} \quad (\text{Ec.4.29})$$

Mediante la figura 4.49 se verifica si la presión de de trabajo está dentro del rango admisible para un correcto funcionamiento; se efectúa conversiones indicadas en la tabla 4.19 para una mejor comprensión.

Por lo tanto:

Symbol		AIRTAC						
SE		ISO15552 Standard cylinder						
Specification								
Bore size	mm	32	40	50	63	80	100	125
Acting type	Double acting							
Operating pressure	0.1-1.0MPa(14-145Psi)							
Speed range	mm/s	30-800					30-500	

**Figura 4.49 Cilindro neumático AirTac (Norma ISO15552<sup>1</sup>)**  
**Fuente: (Airtac, 2010, pág. 2)**

**Tabla 4.19**

***Cálculo de conversión de presión del cilindro y de la presión de trabajo***

	MPa	bar	psi
<b>Presión de operación cilindro (P<sub>min</sub> -P<sub>max</sub>)</b>	0.1	1	14
<b>Presión de trabajo (P<sub>TRABAJO</sub>)</b>	0.62	6.20	90

El cilindro garantiza su funcionamiento si la presión de trabajo es menor a la P<sub>max</sub>.

$$P_{trabajo} < P_{max} \quad \text{(Ec. 4.30)}$$

La fuerza de empuje (Ver figura 4.50) que debe realizar el cilindro es la que esté por defecto del catálogo en vista de que debe vencer la fuerza de rozamiento que existe en la pieza de empuje denominada paleta (Ver figura 4.5), por este motivo se la desprecia.

El vástago del cilindro esta acoplado a la paleta y la misma esta guiado mediante la estructura de alimentación (Ver figura 4.5) descartando la flexión lateral del vástago y por ende el pandeo.

<sup>1</sup> La norma ISO 15552 es referente a la construcción y dimensionamiento de los cilindros de doble efecto.

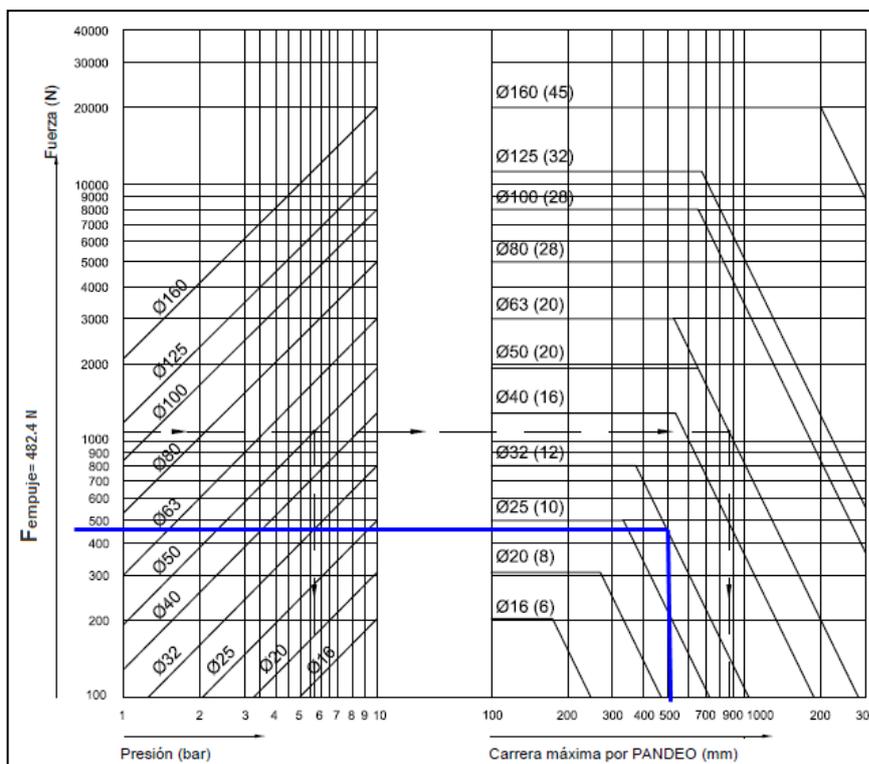
Criteria for selection: Cylinder thrust Unit: Newton ( N )

Bore size(mm)	Rod size(mm)	Acting type	Pressure area (mm <sup>2</sup> )	Operating pressure (MPa)									
				0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
32	12	Double acting Push side	804	80.4	160.8	241.2	321.6	402.0	482.4	562.8	643.2	723.6	
		Pull side	590	69.0	138.0	207.0	276.0	345.0	414.0	483.0	552.0	621.0	

**Figura 4.50 Criterio de selección de fuerza de empuje del cilindro**  
**Fuente: (Airtac, 2010, pág. 3)**

$$F_{empuje} = 482.4 \text{ N}$$

Por motivos de seguridad se verifica si la carrera de 716mm puede ser motivo de pandeo. Basándonos en la figura 4.51:



**Figura 4.51 Diagrama de Pandeo**  
**Fuente: (Microautomacion, 2014, pág. 4)**

Entonces (Microautomacion, pág. 4):

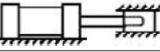
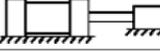
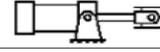
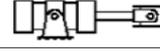
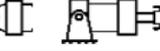
$$K \times CARRERA < CARRERA_{MAX} \tag{Ec. 4.31}$$

Donde:

$$CARRERA_{MAX} = 500 \text{ mm (Determinado en la figura 4.51)}$$

K=Factor de montaje

El factor de montaje viene dado por la figura 4.52:

Tipos de montaje	Conexión del extremo del vástago	Tipo de conexión	Factor de pandeo
Grupos 1 o 3 - Los cilindros de gran longitud de carrera deben montarse usando en un extremo una base rígida y alineada para soportar la fuerza principal y en el extremo opuesto un soporte parecido. Se aconseja un soporte intermedio para el caso de carreras muy largas	Fijo y guiado rígido	I 	0,5
	Pivote y guiado rígido	II 	0,7
	Soporte sin guiado rígido	III 	2
Grupo 2	Pivote y guiado rígido	IV 	1
	Pivote y guiado rígido	V 	1,5
	Pivote y guiado rígido	VI 	2

**Figura 4.52 Factor de montaje**  
Fuente: (Solé, 2007, pág. 34)

Se reemplaza en la Ec.4.30 los valores obtenidos en la figura 4.51 y la figura 4.52.

Se tiene:

$$0.5 \times 716 < CARRERA_{MAX}$$

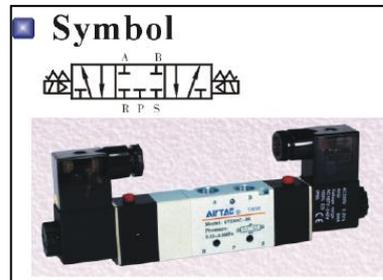
$$358 < CARRERA_{MAX}$$

Por lo tanto no existirá pandeo.

### Electroválvula

Debido a que el cilindro tendrá diferentes posiciones a recorrer la electroválvula más idónea para el control de la posición del embolo será una

de 5/3-vias con posición central cerrada y dos posiciones de distribución como se indica en la figura 4.53.



**Figura 4.53 Electroválvula 5/3-vias**  
Fuente: (AirTac, 2010)

Mediante datos del catalogo (Ver figura 4.54) obtenemos la presión máxima que soporta la electroválvula.

Specification							
Item\Type	4V210-06	4V220-06	4V230C-06	4V230E-06	4V230P-06	4V210-08	4V220-08
Fluid	Air (to be filtered by 40 $\mu$ filter element)						
Operating	Internally piloted						
Valve type	5 port 2 position	5 port 3 position			5 port 2 position		
Orifice size	14mm <sup>2</sup> (Cv=0.78)	12mm <sup>2</sup> (Cv=0.67)			16mm <sup>2</sup> (Cv=0.89)		
Port size	In=Out=Exhaust=1/8"					In=Out	
Lubrication	Not required						
Pressure range	1.5-8.0 bar (0.15~0.8MPa)(21~114Psi)						

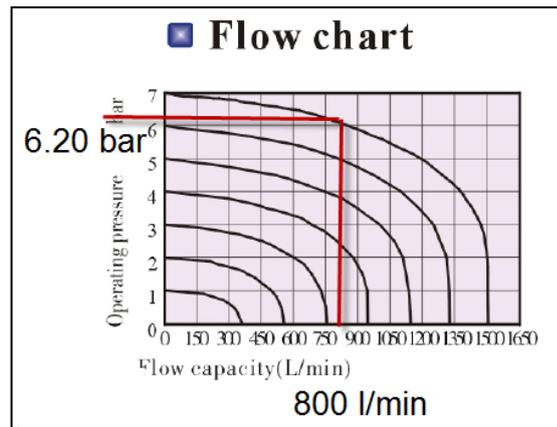
**Figura 4.54 Especificaciones electroválvula 5/3-vias**  
Fuente: (AirTac, 2010, pág. 1)

Para verificar si la electroválvula resiste la presión de trabajo se utiliza la figura 4.54 y se tiene:

$$P_{\text{trabajo}} < P_{\text{max electrovalula}} \quad (\text{Ec. 4.32})$$

$$6.20 \text{ bar} < 8 \text{ bar}$$

El caudal de la electroválvula a la presión de trabajo es de 800 l/min (Ver figura 4.55)



**Figura 4.55 Diagrama caudal vs Presión**  
**Fuente: (AirTac, 2010, págs. I-13)**

Para conocer si el caudal suministrado por la electroválvula es suficiente para el caudal que requiere el cilindro se calcula lo siguiente:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad \text{(Ec. 4.33)}$$

Donde:

A= Área del cilindro.

D= diámetro del embolo (32mm).

Entonces:

$$A = \frac{\pi \cdot (32 \text{ mm})^2}{4} = 804.22 \text{ mm}^2$$

Tenemos que:

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{(Ec. 4.34)}$$

Donde:

Q= caudal requerido por el cilindro.

V=volumen del cilindro

t= tiempo mínimo de operación (0.1 seg).

$$V = A \times \text{CARRERA} \quad (\text{Ec. 4.35})$$

Reemplazando valores se tiene:

$$V = 804.22 \text{ mm}^2 \times 716 \text{ mm} = 575821.5 \text{ mm}^3$$

$$Q = \frac{575821.5 \text{ mm}^3}{0,1 \text{ seg}} \left[ \frac{(1 \text{ m})^3}{(1000 \text{ mm})^3} \right] \left[ \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} \right] \left[ \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \right] = 345.5 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

Por lo tanto la electroválvula elegida cumplirá bien su trabajo en vista de que:

$$Q_{\text{trabajo}} > Q$$

$$800 \frac{\text{l}}{\text{min}} > 345 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

## 4.6. SISTEMA ELÉCTRICO

### 4.6.1. Alimentación Eléctrica

- El sistema de alimentación y centrado trabajará con 24 VDC.
- El sistema de engomado trabajara con 110AC para el funcionamiento del motor monofásico.

La descripción de la alimentación de trabajo para los diferentes dispositivos se los indica en la tabla 4.20.

**Tabla 4.20**

***Alimentación de Trabajo***

<b>Elementos</b>	<b>220 VAC</b>	<b>110VAC</b>	<b>24VDC</b>
Electroválvula de la prensa	-	X	-
Sensores	-	-	X
Fusibles Protección	-	-	-
Breaker Tablero	-	X	-
Controlador	-	-	X

La electroválvula de la prensa tiene un funcionamiento de 110VAC ver tabla 4.2 Por lo tanto es indispensable contar con relés para su posterior activación.

En el caso de los elementos de control sean sensores y actuadores dependerán del rango de voltaje que manejen, por lo general los sensores están dentro de los 12-24 VDC por lo tanto el controlador a elegir debe estar dentro de de este mismo rango de voltaje.

Para la protección de las salidas del controlador el fabricante sugiere por seguridad instalar fusibles de protección.

#### **4.6.2. Selección de Elementos Eléctricos**

##### **FUSIBLES/ BRAKER**

Con el fin de evitar daños del equipo de control y del sistema en general se utilizara como protección un breaker de dos polos de 6 Amperios.

Para la protección de las salidas del equipo de control se utilizaran fusibles de 1 Amperio en vista de que las bobinas de las electroválvulas

tienen un consumo menor a 0,5 Amperios. En las figura 4.56 se indican los dos tipos de protección a utilizar.



**Figura 4.56 Breaker de dos polos y fusible y portafusible de control**  
Fuente: (Varimotorca, 2010)

## **PULSADORES/SELECTORES**

Estos dispositivos permitirán ejecutar mandos generales en el tablero de control. Por tal motivo es indispensable contar con un botón paro de emergencia, Botones de inicio y paro como también de dispositivo selector o switch; los cuales están indicados en la figura 4.57.



**Figura 4.57 Botones de mando**  
Fuente: (Directindustry, 2014)

## **RELE 24VDC DE ESTADO SÓLIDO**

La alimentación de la electroválvula de la prensa es de 110VAC al igual que el de la Luz licuadora (ver figura 4.59), se utilizará tres relés de 24VDC (Ver figura 4.58) para su activación en vista de que las salidas del controlador por lo general son de 24 VDC.



**Figura 4.58 Relé 24 VDC**  
**Fuente: (Schneider Relay, 2007)**

## INDICADOR

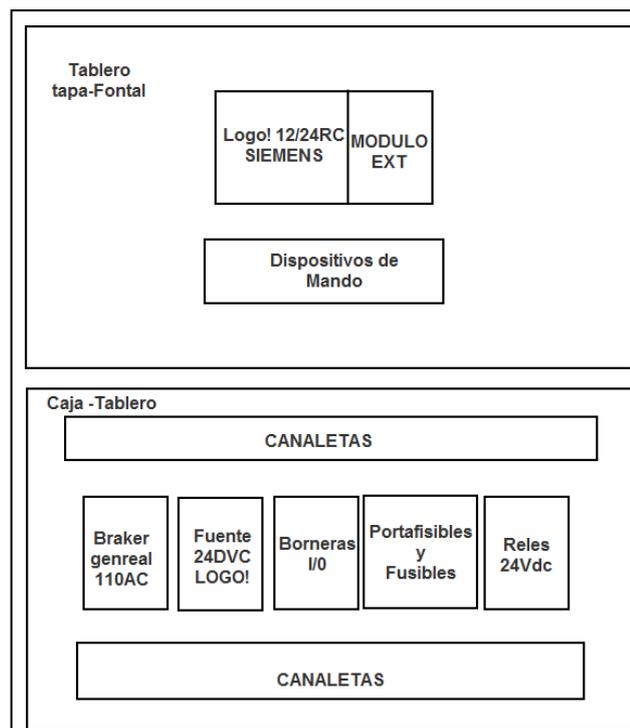
Este dispositivo (Ver figurar 4.59) denominado luz licuadora indicara si existe algún inconveniente durante el proceso.



**Figura 4.59 Luz licuadora 110VAC**  
**Fuente: (Calvoselectronic, 2014)**

### 4.6.3. Distribución del Tablero de Control

El tablero de control tiene una dimensión de 400x300x300mm y estará distribuido como se lo indica en la figura 4.60. En su tapa frontal se colocará los dispositivos de mando y el controlador Logo! para aprovechar su display; Por otro lado en la base falsa (dentro de la caja) estarán colocados el Breaker general, la fuente del Logo!, borneras, fusibles y los relés.



**Figura 4.60 Distribución del tablero de control**

#### 4.6.4. Planos eléctricos

### ANEXO A.

#### 4.7. SISTEMA DE CONTROL

##### 4.7.1. Descripción del proceso

Mediante el sistema de alimentación ingresarán las planchas de maderas una por una las cuales estarán apiladas en grupos de 100 (en su almacenador denominado estructura de apilación (ver figura 4.6) con su respectivo centrado de forma automática para las tres diferentes medidas (ver numeral 4.1) dentro de la prensa hidráulica la cual trabajará de forma sincronizada para realizar el troquelado.

La prensa tendrá un control on-off de presión como parámetro fundamental de trabajo, permitiendo también seleccionar el tamaño de madera a troquelar mediante el tablero de control.

#### 4.7.2. Selección de dispositivos para el control

Para conocer el número total de variables a controlar se realizó la tabla 4.21 indicando tipos de señales (entradas, salidas / digitales o analógicas) y así seleccionar el dispositivo de control.

**Tabla 4.21**

***Requerimientos para el sistema de control***

<b>Dispositivo a Controlar</b>	<b>Entradas Digitales</b>	<b>Salidas Digitales</b>	<b>Entradas Analógicas</b>
<b>1 Prensa :</b>			
Electroválvula 5/3 110VAC	-	2	-
Sensor de Posición inicial	1	-	-
Sensor Salida de material	1	-	-
Transductor de presión	-	-	1
<b>2 Sistema de alimentación:</b>			
Sensor (Presencia de Material)	1	-	-
Sensores(Posicionamiento cilindro)	4	-	-
Electroválvula 5/3 24VDC	-	2	-
<b>3 Sistema de seguridad:</b>			
Paro de emergencia	1	-	-
Sirena	-	1	-
<b>4 Sistema I/O:</b>			
Marcha	1	-	-
Paro	1	-	-
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>1</b>

##### 4.7.2.1. Sensores

**Capacitivos:** Dispositivos que permitirán conocer la presencia de material existente al ingreso y salida de la prensa (madera).

**Inductivos:** Dispositivos que permitirán mantener la posición inicial de la prensa ver numeral 4.1 (Base Móvil metálico).

**Magnéticos:** Dispositivos que permitirán posicionar el vástago del cilindro neumático en vista de que se debe satisfacer tres dimensiones.

En la figura 4.61 se indican los tres tipos de sensores, (véase en Anexo E sus datos técnicos).



**Figura 4.61 Sensores Inductivos Capacitivos y Magnéticos**  
Fuente: (Aesyesa, 2011)

#### **Transductor de presión:**

Este dispositivo (ver figura 4.62) permitirá conocer la presión que ejerce prensa al momento de troquelar, (véase en Anexo E sus datos técnicos).



**Figura 4.62 Transductor de presión**  
Fuente: (Sensing, 2015)

#### 4.7.2.2. Controlador

Para la selección del controlador se toma en cuenta los siguientes datos indicados en la tabla 4.22, (véase en Anexo E sus datos técnicos):

**Tabla 4.22**

***Cantidad y tipo de variables a controlar***

	<b>Entradas digitales</b>	<b>Salidas digitales</b>	<b>Entradas Analógicas</b>
<b>Prensa / Sistema de alimentación y centrado</b>	10	5	1

Mediante el catálogo de Siemens como se indica en la figura 4.63 se decide utilizar lo siguiente:

Basic units	LOGO! 12/24RC, LOGO! 12/24RC <sup>2)</sup>
Inputs	8
of which can be used in analog mode	4 (0 to 10 V)
Input/supply voltage	12/24 V DC
Permissible range with signal "0"	10.8 V ... 28.8 V DC
with signal "1"	max. 5 V DC
Input current	min. 8.5 V DC 1.5 mA (13 ... 16), 0.1 mA (11, 12, 17, 18)
Digital modules	LOGO! DM8 12/24R
Inputs	4
Input/supply voltage	12/24 V DC
Permitted range	10.8 ... 28.8 V DC
with signal "0"	max. 5 V DC
with signal "1"	min. 5 V DC 8.
Input current	1.5 mA
Outputs	4 relays
Continuous current Ith (per terminal)	5 A with resistive load; 3 A with inductive load
Short-circuit protection	External fuse required

**Figura 4.63 Datos técnicos Logo-Catálogo de Siemens**  
**Fuente: (Siemens, 2012)**

La elección del controlador LOGO! de Siemens y su módulo digital (Ver figura 4.64) satisface todas las demandas de la tabla 4.22



**Figura 4.64 Logo! 12/24RC y modulo digital**  
Fuente: (Siemens, 2015)

### 4.7.3. Descripción de variables a controlar

Mediante la tabla 4.23 se describe la función que desempeña cada variable para tener en cuenta al momento de la programación.

**Tabla 4.23**

#### *Descripción de variables*

Variables	Alias	Descripción
<b>Entradas</b>		
Posición inicial	S1	Fija la posición de la base móvil de la prensa ver figura (4.2).
Salida de material	S2	Cuenta numero de tablas que se troquelan.
Material Apilado	S3	Existencia del material apilado esta por agotarse.
Posición 0	S4	Posicionamiento inicial del cilindro.
Posición 1	S5	Posicionamiento cilindro para ingreso plancha 1.
Posición 2	S6	Posicionamiento cilindro para ingreso plancha 2.
Posición 3	S7	Posicionamiento cilindro para ingreso plancha 3.
Presión	AI	Controla la presión de troquelado.
Marcha	MR	Inicio Producción.
Paro	P	Para Producción.
Paro de Emergencia	PE	
<b>Salidas</b>		
Electroválvula cilindro A+	C_IN	Ingreso de material hacia la prensa.
Electroválvula cilindro A-	C_OUT	Salida del pistón de la prensa.
Electroválvula de la Prensa B+	C_UP	Proceso de troquelado
Electroválvula de la Prensa B-	C_DW	Retorno base móvil después de troquelar.
Luz Licuadora	L	Indicador de Falta de material
<b>Variables internas del controlador</b>		
Tiempo de mantenimiento(seg)	B15	Tiempo de mantenimiento inicio de ciclo.
Presión (bares)	B8	Ingreso de presión a troquelar.
Posición	B9	Tamaño de tablas.
Nºtablas (contador)	B43	Número de tablas a procesar.

#### 4.7.4. Diagrama de flujo del funcionamiento general

La figura 4.65 indica el funcionamiento general de la lógica de la programación con la descripción de las variables de la tabla 4.23.

Luego de realizar los parámetros iniciales como son: colocar material encender la bomba y el tablero de control se elige el funcionamiento sea automático (Permite generar todo el ciclo) o manual (Permite controlar la Prensa para un mantenimiento).

Al ingresar los datos requeridos como son: presión, numero tablas a procesar, tiempos y posiciones se inicia el ciclo si después de aplastar el botón de marcha los sensores S1 y S4 están en su posición inicial (caso contrario se activan las electroválvulas C\_UP y C\_OUT para que se posicionen debidamente en su lugar).

Después de esto se activa la electroválvula C\_UP hasta llegar a la presión seteada luego espera un tiempo (valor seteado) y activa C\_DW para regresar a su posición inicial; verifica mediante los sensores S2 Y S3 el material y procede a contar mediante un bloque interno hasta llegar al valor seteado de producción (numero de tablas a procesar) finalizando así el ciclo de trabajo. Si existiese algún tipo de emergencia durante el proceso el botón de emergencia activará las electroválvulas C\_DW y C\_OUT y se detendrá el ciclo.

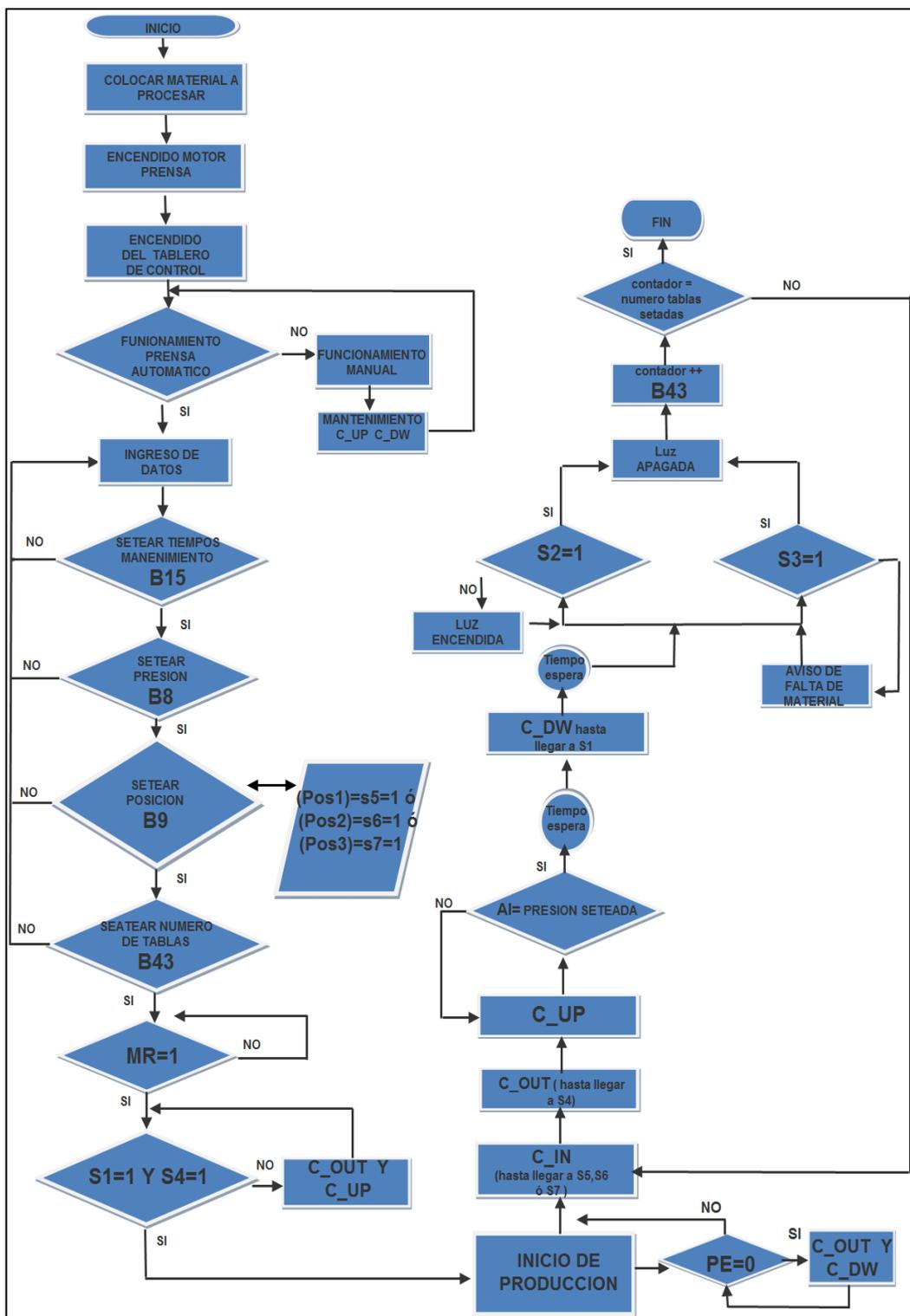


Figura 4.65 Diagrama de flujo del funcionamiento general

#### 4.7.5. Diagrama de bloques del funcionamiento general

La figura 4.66 indica mediante diagrama de bloques el funcionamiento general.

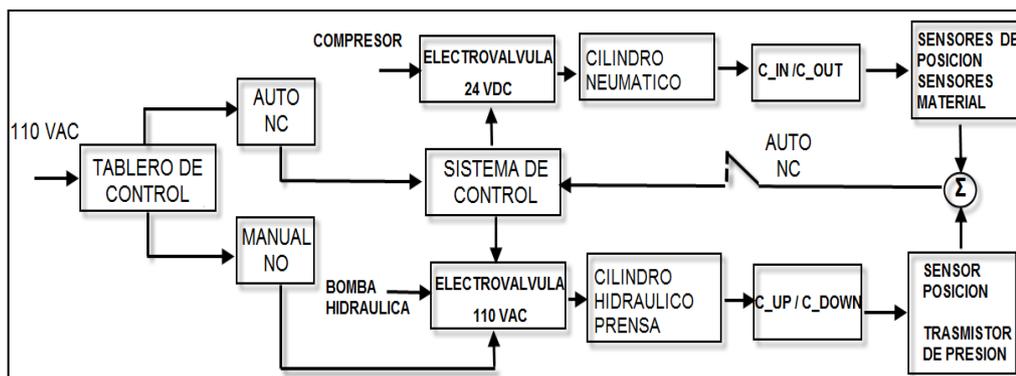


Figura 4.66 Diagrama de bloques del funcionamiento general

#### 4.7.6. Programación

La programación se realizó mediante el diagrama de funciones (FUP<sup>2</sup>) dentro del entorno de Logo! soft confort de siemens efectuando la asignación de variables de la tabla 4.23 a la misma, indicado en la figura 4.67.

Borner de entrada:		Borner de salida:	
I1	S1	Q1	C_IN
I2	S2	Q2	C_OUT
I3	S3	Q3	C_UP
I4	S4	Q4	C_DW
I5	S5	Q5	L
I6	S6	Q6	
I7	AI	Q7	
I8		Q8	
I9	S7	Q9	
I10	MR	Q10	
I11	P	Q11	
I12	PE	Q12	

Figura 4.67 Nombre de conectores

<sup>2</sup> El lenguaje de programación FUP (diagrama de funciones) utiliza los símbolos gráficos del álgebra booleana para representar la. (lógica.)

La flexibilidad de trabajar con bloques permite crear grupos para controlar determinado proceso dependiendo de los requerimientos que se tiene dentro de la programación.

A continuación se indicaran los diagramas más relevantes (Véase programación completa en Anexo B):

### GRUPO 1:

Los bloques indicados en la figura 4.68 permiten ingresar valores de presión, tiempo, posición y numero de tablas fijando parámetros iniciales de trabajo.

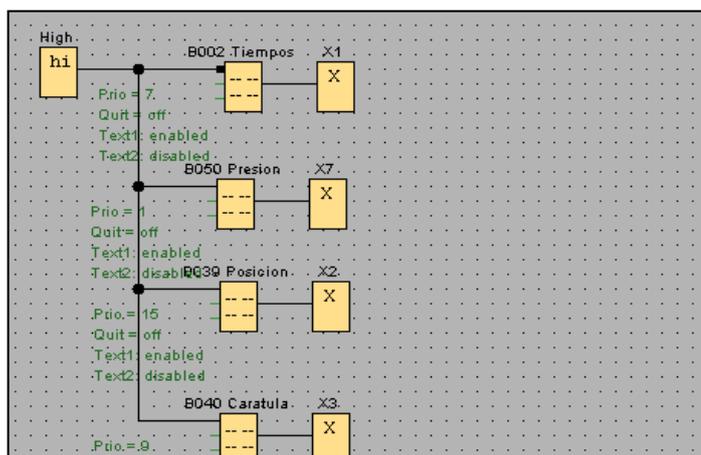
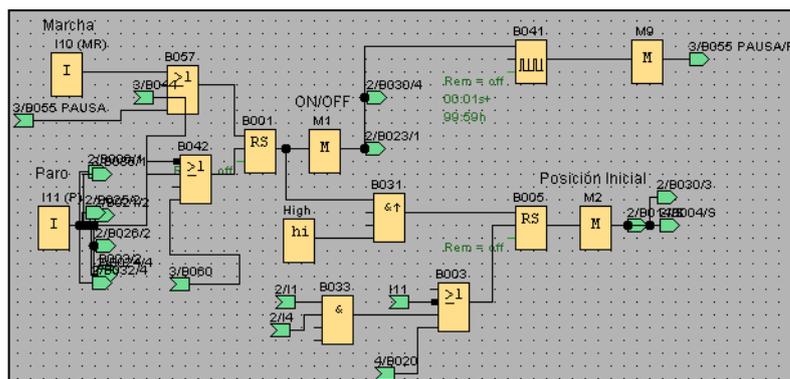


Figura 4.68 Ingreso datos mediante display logo

### GRUPO 2:

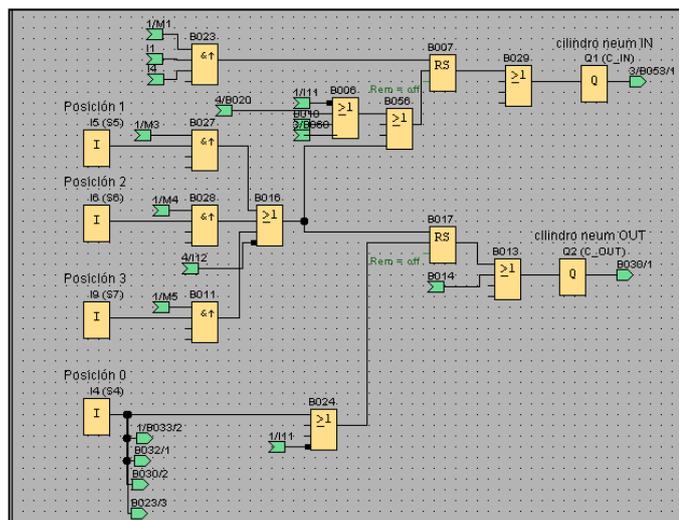
En este grupo indicado en la figura 4.69 tiene como objetivo dar inicio o paro a todo el proceso, teniendo como parámetro inicial la posición de la base móvil y del cilindro (S1 y S4 explicados en la figura 4.65), para su correcto funcionamiento.



**Figura 4.69** Habilitación del proceso e inicialización

### GRUPO 3:

Como indica la figura 4.70 estos bloques permiten la secuencia de activación de la electroválvula del cilindro neumático para el ingreso y salida del material dependiendo de la posición que se le asigne (ver figura 4.68).



**Figura 4.70** Ingreso del material

### GRUPO 4:

Este grupo indicado en la figura 4.71 es importante en vista de que desactivará el proceso de trabajo y a su vez activará las electroválvulas de la prensa y del cilindro; y por seguridad la prensa quede abierta (con su base móvil extendida hacia abajo) y el cilindro en su posición inicial dependiendo del tiempo asignado (ver figura 4.68).

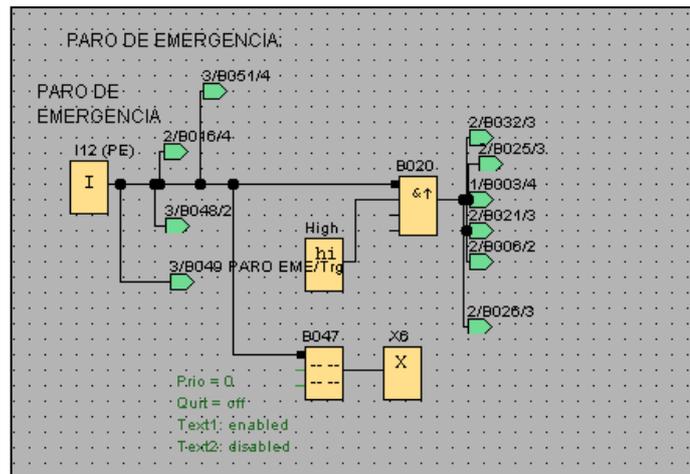


Figura 4.71 Paro de Emergencia

#### 4.7.7. Manual de usuario

### ANEXO C

## CAPÍTULO V

### 5. CONSTRUCCIÓN

La construcción del sistema general se la realizo en dos partes siendo:

- Sistema de alimentación y centrado (ver figura 4.3).
- Sistema de engomado. (ver figura 4.41).

En base a los cálculos realizados y explicados en la sección 4.4 para la construcción en general se ha elegido los siguientes materiales indicados en la tabla 5.1:

**Tabla 5.1**

***Datos de materiales utilizados***

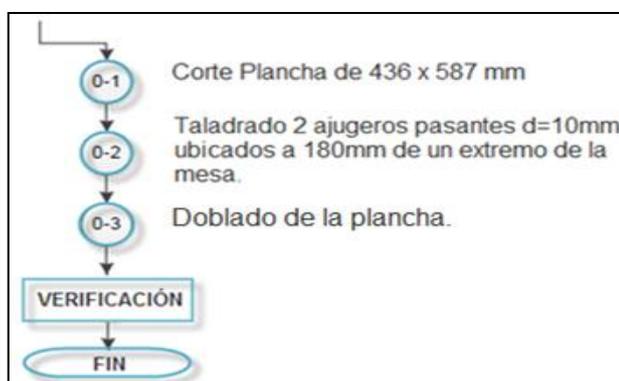
<b>Material</b>	<b>Dimensiones (mm)</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Longitud (mm)</b>
Tubo rectangular A36	50x100	2	6000
Tubo cuadrado A36	50 25.4	2 2	6000 6000
Plancha AISI 304	240x120	1.2	-
Perfil A36	25.4x25.4	1	6000
Platina A36	40	3	6000
Retazo platina Aluminio	25.4	3	1000
Plancha A36	240X122 240X122	4 6	- -
Eje Acero de trasmisión	ø=25 mm	-	700

En la construcción intervienen varios procesos de manufactura (doblar cortar, soldar, desbastar (torno), punzonar y taladrar) por que se ha decidido resumirlos en los siguientes diagramas de flujos indicados desde la figura

5.1 hasta la figura 5.7 (Todos los detalles de distancias específicas a soldar, doblar taladrar o punzonar están en sus planos respectivos del Anexo D.):

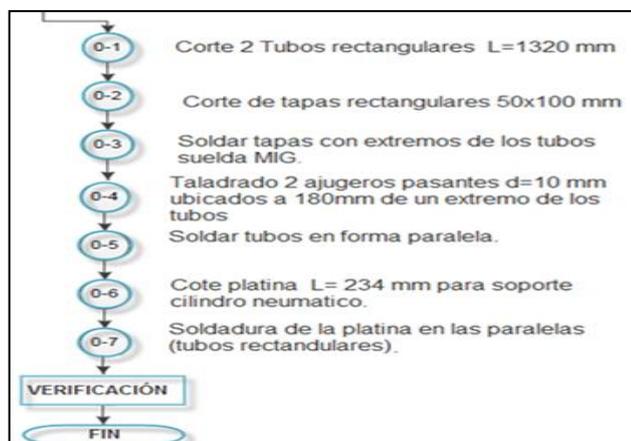
**Sistema de alimentación y centrado :**

La figura 5.1 se detalla la construcción de la estructura de alimentación (ver figura 4.5) la cual servirá para conducir el material hacia la prensa por medio del sistema neumático.



**Figura 5.1 Diagrama de flujo para la construcción de la estructura de alimentación**

La figura 5.2 detalla la construcción de la estructura de soporte general donde estará albergado la estructura de alimentación y la estructura de apilación.



**Figura 5.2 Diagrama de flujo para la construcción de la estructura de soporte general de alimentación**

La figura 5.3 detalla la construcción de la estructura de apilación, la misma que albergara las maderas a procesar.

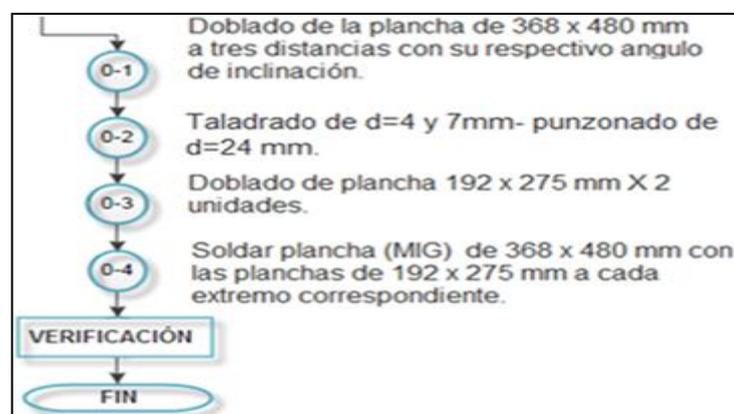


**Figura 5.3 Diagrama de flujo para la construcción de la estructura de apilación**

Esta estructura de apilación es para las maderas de (240x332 mm), para las otras maderas (302x218 mm y 435x30 mm) los planos están en el Anexo D y se sigue el mismo diagrama de flujo.

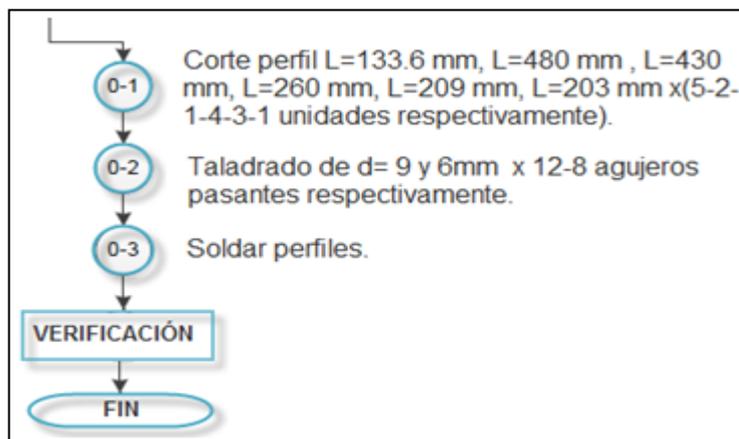
#### **Sistema de engomado :**

La figura 5.4 detalla la construcción de la estructura para engomado, la cual almacenará el pegamento y también albergará a los rodillos (principal y secundario).



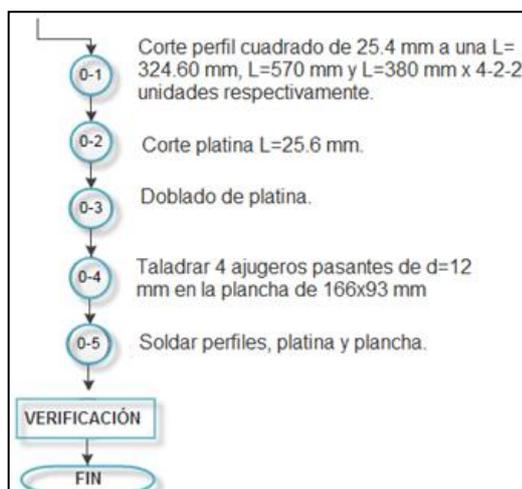
**Figura 5.4 Diagrama de flujo para la construcción de la estructura para engomado**

La figura 5.5 describe la construcción de la estructura del sistema de transmisión, información más detallada se encuentra en los planos mecánicos (Ver Anexo D).



**Figura 5.5 Diagrama de flujo para la construcción de la estructura para el sistema de transmisión**

La figura 5.6 detalla la construcción de la estructura para el soporte general, la cual soportara las dos estructuras anteriormente mencionadas y también alojará al motor.



**Figura 5.6 Diagrama de flujo para la construcción de la estructura para el soporte general**

La figura 5.7 describe la construcción del eje1 cabe recalcar que el procedimiento es similar para los demás ejes solamente hay que revisar datos de distancias del Anexo D.

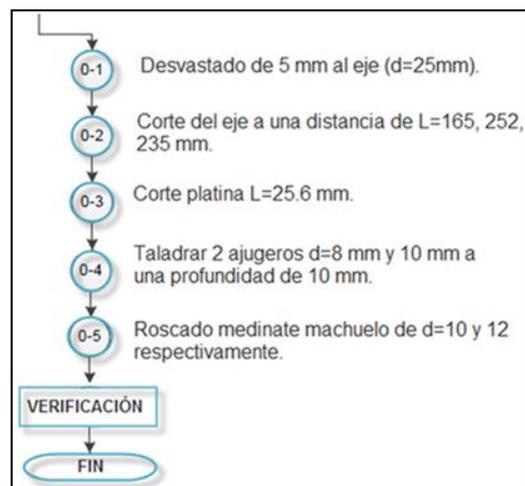


Figura 5.7 Diagrama de flujo para la construcción del eje 1

## 5.1. Planos

### ANEXO D

## 5.2. Pruebas de funcionamiento

### 5.2.1. Proceso de troquelado del marco

#### Sistema de alimentación y centrado:

Se inició las pruebas mediante la comprobación individual de los sistemas y sus componentes resumiendo en las siguientes tablas:

La tabla 5.2 hace referencia a la prueba realizada al funcionamiento aislado del sistema de alimentación, la misma que permite encontrar y corregir errores para su correcto funcionamiento.

Tabla 5.2

**Pruebas de funcionamiento del sistema de alimentación sin material**

ELEMENTOS	FUNCIONAMIENTO		OBSERVACIÓN
	OK	FALLA	
Pistón neumático		X	Ubicación de los sensores para salida del vástago.
Paleta	X		Ninguna novedad.
Estructura de Apilación	X		Ninguna novedad.

Después de corregir los errores como indica la figura 5.8 en la colocación de los sensores se procedió a ver la ubicación del centrado como indica la tabla 5.3.



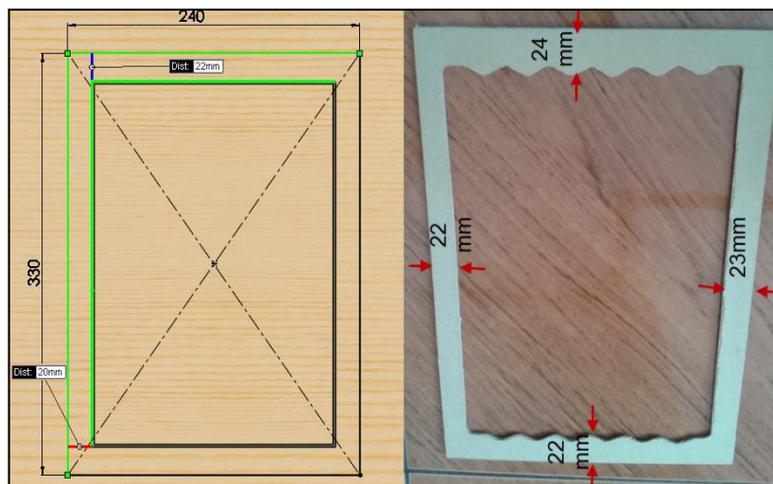
Figura 5.8 Diagrama del margen

Tabla 5.3

**Pruebas de funcionamiento del sistema de centrado con material**

POSICIONAMINETO	DISTANCIA (mm)		TAMAÑO MADERA (mm)	OBSERVACIÓN
	NOMINAL	REAL		
Base móvil con respecto al pastelón	4.5	4.5	-	Con la ayuda del sensor S1 el posicionamiento es igual al nominal.
Vástago	716	715.8	302x218	Ninguna novedad. Tolerancia de -0.2 mm
	705	704.8	330x240	Ninguna novedad. Tolerancia de -0.2 mm
	607	606.8	435x300	Ninguna novedad. Tolerancia de -0.2 mm

Con la figura 5.9, la distancia de los márgenes en el centrado es de 22 mm con una tolerancia de  $\pm 3$  mm a cada lado.



**Figura 5.9 Diagrama del margen y marco troquelado**

EL centrado esta dentro del rango aceptable.

Para verificar el programa y la sincronización del ciclo como se indica en la tabla 5.4, se realizo un ensayo con la plancha de 240x330 mm.

**Tabla 5.4**

***Verificación del programación (presión =8 bar) con material***

VERIFICACIÓN PROGRAMACIÓN	FUNCIONAMIENTO		OBSERVACIÓN
	OK	FALLA	
TIEMPO DE MANTENIMIENTO	X		Disminuir el tiempo establecido de ciclo.
BOTON MARCHA/PARO	X		Ninguna novedad.
PARO EMERGENCIA	X		Disminuir el tiempo establecido PE.
SENSORES	X		Ninguna novedad.

Para las pruebas de producción con diferentes presiones se realizó los ensayos con la plancha mediana de 240x330 mm en vista de que es la de mayor demanda y los resultados se los indica en la tabla 5.5.

Tabla 5.5

*Pruebas de resultados a diferentes presiones*

PRUEBA	# PLANCHAS	# MARCO TROQUELADO		PRESIÓN (bar)	TIEMPO (min)
		TOTAL	PARCIAL		
1	15	0	15	20	5
2	15	0	15	25	5
3	15	11	4	30	5
4	30	20	10	33	10
5	30	23	7	35	10
6	30	27	3	36	10
7	30	25	5	37	10
8	15	15	0	40	35
<b>TOTAL</b>	180	121	59	-	85

Durante las pruebas se concreto que la presión es de 36 bares para obtener un buen troquelado. Partiendo del dato obtenido se realizo nuevas pruebas con esa presión como se indica en la tabla 5.6.

Tabla 5.6

*Resultados a una presión de 36 bares*

PRUEBA	# PLANCHAS	# MARCO TROQUELADO		TIEMPO (min)
		TOTAL	PARCIAL	
1	15	15	0	5
2	30	30	0	5
3	60	51	9	5
4	80	68	12	10
5	100	85	15	10
6	180	158	22	10
<b>TOTAL</b>	465	407	58	95

**5.2.1.1. Análisis de resultados**

Se concluye que el proceso de troquelado automático del marco puede realizar 180 marcos en 1 hora como se indica en la tabla 5.7, Con la automatización se logró triplicar la producción. Es necesario recordar que la prensa producía menos de 1 marco troquelado por minuto.

El costo beneficio del sistema de troquelado se lo indica en la tabla 6.2 en vista de que también debe sumarse el sistema de engomado a todo el proceso.

Por lo tanto el sistema de troquelado satisface con los requerimientos del cliente (Ver numeral 4.1).

**Tabla 5.7**

***Tiempo y Producción***

# MARCOS TROQUELADOS	TIEMPO
3	1min
180	60 min

**5.2.2. Proceso de engomado del marco**

**Máquina engomadora:**

El funcionamiento de la máquina se hizo en vacío para encontrar defectos del sistema y se los resume en la tabla 5.8.

**Tabla 5.8**

***Prueba en Vacío***

ELEMENTOS	FUNCIONAMIENTO		OBSERVACIÓN
	OK	FALLA	
Bocín-polea	X		No se encontraron novedades
Trasmisión Piñón-cadena		X	Prisioneros no generan un buen ajuste en los piñones y se aflojan las cadenas.
Rodillos secundarios		X	Falla pasadores/sistema de trasmisión.
Rodillo Principal		X	Falla en el sistema de trasmisión

Después de corregir las fallas presentadas como se indica en la figura 5.10 se realiza pruebas y comprobación de la velocidad de salida (Vout) mediante un encoder ver figura 5.11.



Figura 5.10 Piñones del eje 4 y 5

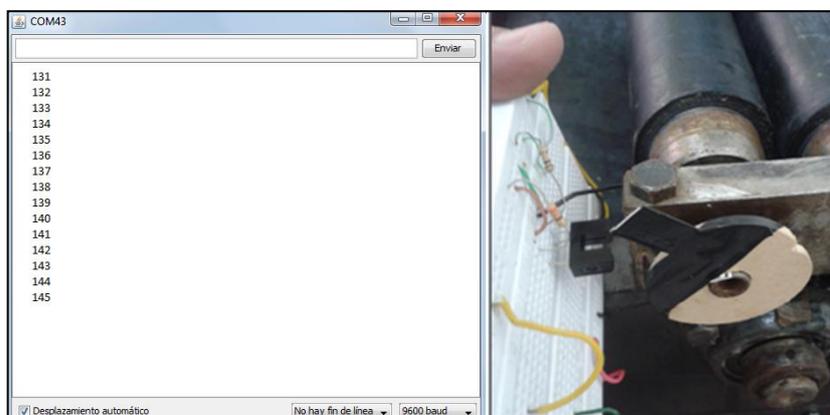


Figura 5.11 Encoder Vout

Los resultados obtenidos se los detalla en la tabla 5.9.

Tabla 5.9

**Velocidad de salida**

PARÁMETRO	VELOCIDAD CALCULADA (RPM)	VELOCIDAD REAL (RPM)	OBSERVACIONES
Velocidad de salida (Vout)	120	145	La velocidad de salida varia en 25 revoluciones más de las que se esperaba a pesar de este margen de error no afecta en su proceso.

Corrigiendo los defectos en vacío se realizó pruebas con material y los resultados se los indica en la tabla 5.10.

Tabla 5.10

**Prueba con material**

Elementos	FUNCIONAMIENTO		OBSERVACIÓN
	OK	FALLA	
Bocín-polea	X		No se encontraron novedades
Trasmisión Piñón-cadena	X		Ninguna
Rodillos secundarios	X		Ninguna
Rodillo Principal		X	Demasiada Goma en el rodillo principal.

Ajustando ciertos detalles de la máquina se supero los problemas con el rodillo principal de la superficie teniendo un engomado suficiente y regular y los resultados finales se los indica en la tabla 5.11.

Tabla 5.11

**Resultados**

Prueba	# Marcos	# ENGOMADO DE DE LA SUPERFICIE DEL MARCO		CONSUMO DE GOMA (L)	Tiempo (min)
		TOTAL	PARCIAL		
1	20	16	4	-	0.26
2	50	35	15	-	0.66
3	150	132	18	0.125	3
4	400	373	27	0.5	6
5	700	582	118	1	12
6	1500	1197	303	2	25
7	3000	2490	510	2.5	45
8	4500	3712	788	3	70
<b>TOTAL</b>	<b>10320</b>	<b>8537</b>	<b>1783</b>	<b>9.125</b>	<b>161</b>

Tanto el engomado parcial como el engomado total se los indica en la figura 5.12 y la figura 5.13 respectivamente.



**Figura 5.12 Engomado parcial del marco**



**Figura 5.13 Engomado total del marco y plancha**

### 5.2.2.1. Análisis de resultados

La máquina alcanzó una eficiencia del 83%. Mientras que el engomado parcial de la superficie total alcanzó menos del 20%, es decir la mayor parte de la superficie fue engomada y se comprobó al finalizar el proceso.

Cabe recalcar que este procedimiento lo realizaban de 5 a 6 personas y les llevaba 6 horas de trabajo engomando los marcos de manera manual. La máquina es eficiente, compacta y su costo es relativamente económico (ver tabla 6.3) comparando con otras a nivel nacional e internacional (Ver anexo F).

Por lo tanto la máquina cumple con los requerimientos del cliente en vista de que engoma 4500 tablas por hora. El costo beneficio se lo detalla en la tabla 6.8.

### 5.3. Integración del sistema

Mediante el siguiente diagrama se indica la finalización total del proceso de troquelado y engomado.



**Figura 5.14 Integración del sistema**

1. Sistema de Alimentación y centrado.
2. Prensa Hidráulica-Proceso de troquelado.
3. Máquina engomadora.
4. Tablero de control.

En el sistema de alimentación y centrado consta de los siguientes elementos indicados en la figura 5.15:



**Figura 5.15 Sistema de alimentación y Centrado**

1. Estructura de Apilación.
2. Estructura de Alimentación.
3. Estructura de soporte General.

Los elementos se acoplan en orden descendente (para una mejor comprensión se puede revisar los planos del Anexo D) y tienen como referencia el centro de la prensa hidráulica.

Dentro de la estructura de soporte general de alimentación y centrado se alberga el sistema neumático como se indica en la figura 5.16.

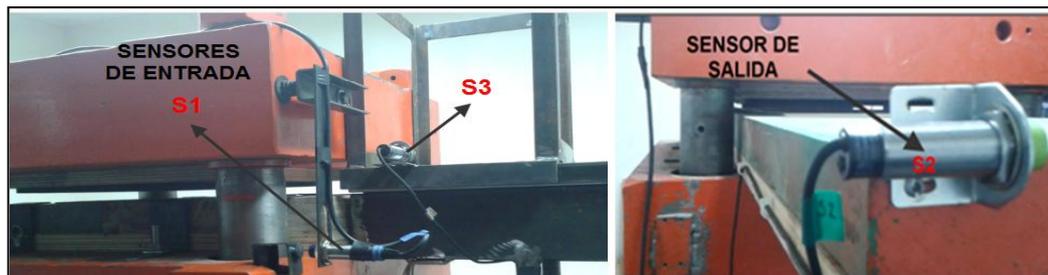


**Figura 5.16 Sistema Neumático Instalado**

1. Electroválvula 5/3-vías.
2. Cilindro Neumático.
3. Paleta.

Los mismos que se acoplan después de lo explicado en la figura 5.15.

En la prensa Hidráulica los elementos que se colocan son los sensores con sus respectivos soportes al ingreso y salida de la misma como se indica en la figura 5.17.



**Figura 5.17 Soportes y sensores instalados**

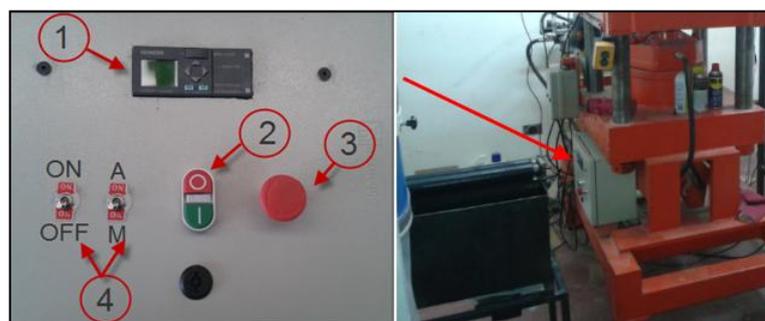
El transductor de presión se encuentra ubicado a un lado del motor de la prensa hidráulica indicado en la figura 5.18.



**Figura 5.18 Transductor de presión instalado**

La máquina engomadora se la ubica en la parte izquierda de la salida de la prensa como se indica en la figura 5.14, teniendo espacio suficiente para trabajar en el engomado después de obtener la madera troquelada.

Finalizando con el tablero de control indicado en la figura 5.19.



**Figura 5.19 Tablero de control instalado**

1. Logo! Siemens
2. Botones de Marcha-Paro.
3. Paro de Emergencia.
4. Selectores (On-Off Tablero y Auto-Manual Del proceso).

## **CAPÍTULO VI**

### **6. ESTUDIO FINANCIERO**

Previo al análisis de los costos totales de la línea de producción para el troquelado y engomado se describirán las mejoras obtenidas en base al análisis del costo-beneficio que obtiene ROMPECABEZAS IDEAL:

- El proceso de troquelado automático tiene mayor versatilidad para la creación de diferentes diseños sean complejos (mapas, figuras geométricas o contornos detallados) o sencillos (marcos o piezas) en vista de que el troquel pueden tener mayor o menor detalle con el mismo tiempo de producción.
- La producción automática es de 180 marcos por hora (ver tabla 5.7).
- La máquina engomadora puede trabajar engomando 4500 piezas (planchas o marcos) por hora (ver tabla 5.11).
- Una producción en línea de troquelado y engomado en vista de que en 1 hora obtendrá 180 marcos con su respectiva plancha terminada (ver figura 2.10).

Antes de que se desarrollara el proyecto el operario realizaba su trabajo por lotes de 2500 planchas mediante una caladora en grupo de 4 tablas y el tiempo de producción aumenta o disminuye dependiendo del diseño, es decir si el diseño es complejo debe tener mayor concentración y cuidado con los detalles, cabe recalcar que cada rompecabezas es único.

La producción del operario previo al desarrollo del se resume en la siguiente tabla:

**Tabla 6.1*****Tiempo y producción de un operario***

PRODUCTO	# DE PIEZAS	TAMAÑO MADERA (mm)	PRODUCCIÓN		MARCOS- PIEZAS POR HORA
			# PLANCHAS	TIEMPO (min)	
<b>Diseño sencillo:</b>					
	12	302x218	4	1	240
	25	330x240	4	1.5	160
	50	435x300	4	2.5	96
<b>Diseño complejo:</b>					
	(12-15)	302x218	4	3	80
	(20-25)	330x240	4	4	60
	(50-60)	435x300	4	6.5	37

Se debe tener en cuenta que el número de tablas producidas son ideales es decir dependiendo de la habilidad del obrero, tanto el estado físico, emocional y psicológico, puede influir y variar la producción.

Como dato analítico-financiero se tiene que:

Tomando el punto más crítico donde el operario supera la producción de troquelado automático ( $240-180=60$  marcos de diferencia) será:

**Operario:**

Después de terminar un lote de 2500 marcos continua con el proceso de engomado manual donde le lleva terminar todo en un tiempo de 6 horas trabajando 5 personas a la vez.

La producción mejora en vista de que la línea de troquelado y engomado continuo realiza en 1 hora 180 marcos troquelados y engomados es decir alcanzara los 2500 marcos terminados en 14 horas mientras que antes lo realizaban en 15 horas utilizando más personal y horas laborables extras como se indica en la tabla 6.2 y la tabla 6.3.

**Tabla 6.2*****Comparación de tiempo y producción***

COMPARACIÓN TIEMPO DE PRODUCCIÓN	# MARCOS	TIEMPO (h)	2500 MARCOS (h)	OTRO OPERARIO (h)	PROCESO FINALIZADO	
					TROQUELADO	ENGOMADO
Operario	240	1	11	5.5	X	-
Sistema de troquelado y engomado	180	1	14	-	X	X

El tiempo total para la finalización del proceso de troquelado y engomado para el operario se lo indica en la siguiente tabla:

**Tabla 6.3*****Tiempo total proceso troquelado y engomado***

AYUDA EXTRA AL OPERARIO	PROCESO FINALIZADO		TIEMPO EXTRA (h)	TOTAL (h)
	TROQUELADO (h)	ENGOMADO (h)		
Operario	5.5	6	3	14.5

Por lo tanto el sistema de troquelado y engomado es eficiente y rentable.

**Réditos generales por el sistema:**

Asumiendo un valor de 2 USD por producto finalizado (empacado y listo para entregar), considerando una jornada laboral de 8 horas por 4 días, para completar un lote 2500 (2 días de producción y dos días de empacado), se indica en la tabla 6.4:

**Tabla 6.4*****Ingreso USD días de producción***

DÍAS DE PRODUCCIÓN	USD	CANTIDAD DE PRODUCTO FINALIZADO	USD TOTAL
4	2	2500	5000
5	2	3125	6250
<b>20</b>	<b>2</b>	<b>12500</b>	<b>25000</b>
40	2	25000	50000

Suponiendo una cantidad neta al mes de 15000 USD (10000 USD por gastos generales), reteniendo un 25% (3750 USD) mensual a los 4 meses tendrá valor de 15000 USD cantidad y tiempo suficiente para recuperar una inversión de automatización dentro del mercado nacional.

**6.1. Presupuesto referencial****Máquina engomadora:**

Los gastos indicados en la tabla 6.5 son de la materia prima obtenida en el mercado nacional para la realización de la misma mientras que la tabla 6.6 indica los gastos de construcción es decir mano obra ,diseño, transporte entre otros.

Tabla 6.5

**Costo de elementos Maquina Engomadora**

ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR (USD)
1	TUBO CUADRADO 25,4 MM X2MM	10,50
3	BOCINES ROSCADOS TORNO	10,00
4	MATERIAL TORNO (ACERO DE TRASMISIÓN PARA EJE ,PLATINA Y BARILLA CUADRADA)	50,00
5	PERNO INOX MM 8X80 MM	3,36
6	CADENA PASO 35MM 3/8"	20,69
7	EJE ENGANAJE POLEA, EJES SISTEMSA DE TRASMISIÓN	34,80
8	ENCHUFE	2,51
9	TAPON3/4	0,27
10	PERNO ACERO 10X40MM TUERCA ACERO 10X1.25MM	4,50
11	RODAMIENTOS	20,00
12	JUEGO DE PIÑONES PEQUEÑOS AJUSTE ENTRADA MATERIAL	25,00
13	ROSCADO DE EJES DE 1/2"	5,60
14	1 PLATINA DE ALUMINIO	10,80
15	TUERCA HIERRO Y RODELA PLANA 1/2"	0,50
16	PRISIONEROS	0,39
17	4 RODAMINETOS 608	16,00
18	PLANCHA 4MM	84,20
19	JUEGO DE PIÑONES PEQUEÑOS SALIDA DE MATERIAL	25,00
20	4 PIÑONES SENCILLOS 35B14T PIÑON SENCILLO 35B40, 5 CANDADOS SENCILLOS	58,97
21	PERNOS 3/16X1/" PARA SOPORTE 2DO RODILLO	2,25
22	MATERIAL SOPORTE RODILLO SECUNDARIOS	80,00
23	A.25 BANDA	3,00
24	8PERNOS 3/8 " X 1/2"	1,43
25	MANO OBRA AUXILIAR	70,00
26	CODO Y NEPLO DE 1/2"	3,28
27	1 PLATINA DE ALUMINIO	30,00
28	PLANCHA 6MM	134,32
29	ALQUILER TALLER SERVICIOS METALMECANICOS (HERRAMIENTA, SUELDA, CORTE DOBLADO, PUNZONADO,ETC.)	143,81
<b>TOTAL</b>		<b>851,18</b>

**Tabla 6.6****Costo de fabricación**

<b>DETALLE</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>HORAS TRABAJO</b>	<b>TOTAL (USD)</b>
DISEÑO MAQUINA CAD-CAM	7	50	350
TRANSPORTE	5	46	230
GASTOS DE OFICINA	1	45	45
IMPREVISTOS	-	-	105
<b>CONSTRUCCIÓN MÁQUINA</b>	<b>2,82</b>	<b>35</b>	<b>98,7</b>
<b>INGENIERO MECÁNICO-ELÉCTRICO</b>	<b>3,06</b>	<b>4</b>	<b>12,24</b>
<b>INSPECTOR DE OBRA</b>	<b>3,03</b>	<b>305</b>	<b>924,15</b>
<b>SOLDADOR</b>	<b>2,58</b>	<b>18</b>	<b>46,44</b>
<b>Tornero</b>	<b>2,58</b>	<b>64</b>	<b>165,12</b>
<b>TOTAL</b>			<b>1976,65</b>

Fuente: (Contraloria G.E., 2015, pág. Color Celeste)

**Sistema de alimentación y centrado:**

De igual manera la tabla 6.7 indica los gastos de la materia prima encontrados en el mercado nacional para la construcción de dicho sistema y la tabla 6.8 indica los gastos de su construcción.

**Tabla 6.7****Costo de elementos Alimentación y Centrado**

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>VALOR (USD)</b>
1	CONECTOR PALETA	35,00
2	TOOL PLACAS	45
3	RIEL DIN	5,00
4	CABLES TERMINALES	13,09
5	CABLE NUMRO 20 DOS HILOS	45,00
6	CABLE NUMERO 18 TRES HILOS	48,15
7	MATERIAELECTRICO (RELES,BRAKER, TAPE,SWITCH)	73,27
8	CANALETAS	6,27
9	PERNOS,TUERCAS TORNILLOS	20,00
10	HERRAMIENTA MACHUELO M10	10,64
11	HERRAMIENTA MACHUELO M8	12,14
12	RODELAS	5,91
13	PALETA	89,60
14	MADERAS PEQUEÑAS	15,00
15	CODOS NEPLOS CONEXIÓN HIDRALICAS	46,72
16	SOPORTES REGULADORES	5,60
17	TRANSDUCTOR PRESION	243,00
18	BORNERAS 2 Y TRES PISOS,PORTAFUSIBLES,FUSIBLES	68,00
19	CONTROLADOR(SENORES INDUCTIVO,CAPACITIVO,FUENTE MODULO EXT )	762,50
20	SISTEMA HIDRAULICO (SENORES MAGNETICOS, CILINDRO ELECTROVALVULA, VALVULAS REGULADORAS MANGUERAS)	675,00
21	PERNOS SUJECCION	20,00
22	PINTURA	20,00
23	TABLERO	40,00
24	TUBO RECTANGULAR 100X50X2MM	31,90
25	TUBO CUADRADO 50X2MM	21,00
26	PLANCHA AISI 304 INOX 1.2MM	126,00
27	PLATINA 38 X 3MM	5,46
28	ALQUILER TALLER SERVICIOS METALMECANICOS (HERRAMIENTA, SUELDA, CORTE DOBLADO, PUNZONADO, ETC.)	187,58
<b>TOTAL</b>		<b>2676,83</b>

**Tabla 6.8****Costo de fabricación**

DETALLE	COSTO HORA	Horas Trabajo	TOTAL
DISEÑO MÁQUINA	10	185	1850
TRANSPORTE	10	90	900
GASTOS DE OFICINA	2	55	110
IMPREVISTOS	-	-	100
CONSTRUCCIÓN MÁQUINA	2,82	194	547,08
INGENIERO MECÁNICO- ELÉCTRICO	3,06	95	290,7
INSPECTOR DE OBRA	3,03	474	1436,22
SOLDADOR	2,58	20	51,6
TORNERO/ARTESANO			
MADERA	2,58	25	64,5
<b>TOTAL</b>			<b>5350,1</b>

Fuente: (Contraloría G.E., 2015, pág. Color Celeste)

En la tabla 6.9 se resume el costo total del sistema de troquelado y engomado como se indica a continuación:

**Tabla 6.9****Costo Total**

	COSTO ELEMENTOS (USD)	COSTO DE FABRICACIÓN (USD)	TOTAL (USD)
PROCESO DE ENGOMADO	851,18	1976,65	2827,83
PROCESO DE TROQUELADO	2676,83	5350,1	8026,93
<b>TOTAL(USD)</b>			<b>10854,76</b>

## CAPÍTULO VII

### 7. CONCLUSIONES

- La construcción de la máquina de engomado así como el sistema de alimentación y centrado tiene sustento de la investigación previa de mecanismos similares.
- La máquina de engomado aparte de ser compacta, desmontable para mantenimiento y fácil de transportar es capaz de procesar 4500 tablas por minuto satisfaciendo parámetros del cliente.
- El sistema de alimentación y centrado es capaz de ingresar tres tablas diferentes de 3mm de espesor hacia la prensa hidráulica.
- El proceso de troquelado y el sistema de alimentación centrado tienen un control automático mediante un controlador (LOGO! Siemens).
- El control de presión para el proceso de troquelado es programable ofreciendo así flexibilidad y garantizando un correcto corte de la madera.
- Mediante interfaz HMI se puede ingresar parámetros de presión, tamaños de madera, número de tablas a procesar y tiempos de funcionamiento cumpliendo con los objetivos y requerimientos expuestos.
- El proceso de troquelado puede producir 3 tablas por minuto triplicando la producción anterior a esta automatización.
- El costo total de la línea de producción semiautomática de troquelado y engomado es la mitad de costos cotizados a nivel nacional e internacional.

- Los planos y el manual de usuario fueron entrados al auspiciante para un mejor manejo del sistema general.
- La construcción del sistema de troquelado y engomado logró satisfacer todos los requerimientos del cliente.

### **7.1. Recomendaciones**

- Con fines de mejorar la cantidad de producción de troquelado se deberá repotenciar la prensa hidráulica.
- Mantenimiento mensual del sistema de transmisión de la máquina engomadora (lubricación cadenas piñones, ajuste de prisioneros, polea, piñones, banda y el bocín).
- Tener en cuenta la posición de los sensores para el control del vástago neumático si se realiza una limpieza externa del cilindro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Advameg. (2015). *madehow*. Obtenido de <http://www.madehow.com/Volume-4/Jigsaw-Puzzle.html>
- Advameg. (2015). *Madehow*. Obtenido de <http://www.madehow.com/Volume-4/Jigsaw-Puzzle.html>
- Advemeg. (2015). *Madehow*. Obtenido de <http://www.madehow.com/Volume-4/Jigsaw-Puzzle.html#2030#ixzz2lIPjU5lf>
- Aesyesa. (16 de Noviembre de 2011). *aesyesa*. Obtenido de <http://iaesyesa.com/Sensores%20Inductivos%20y%20Capacitivos.html>
- Airtac. (Abril de 2010). *atcmexico*. Obtenido de <http://www.atcmexico.com.mx/pdf/SE%20CILINDRO.pdf>
- AirTac. (2010). *Atcmexico*. Obtenido de <http://www.atcmexico.com.mx/pdf/PDF-43-4V200.pdf>
- Ardanuy, T. P. (2014). *insht*. Obtenido de [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/101a200/ntp\\_150.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/101a200/ntp_150.pdf)
- Ardanuy, T. P. (2014). *Insht*. Obtenido de [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/101a200/ntp\\_150.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/101a200/ntp_150.pdf)
- B., L. p. (s.f.). ANEXO.
- Calvoselectronic. (2014). *calvoselectronic*. Obtenido de <http://www.calvoselectronica.com/licuadoras/318-licuadora-amarilla.html>
- cilindros, M. M.-C.-c. (s.f.).
- Contraloria G.E. (Enero de 2015). *contraloria.gob*. Obtenido de [http://www.contraloria.gob.ec/documentos/SAL-0115\\_16%20ENERO%202015.pdf](http://www.contraloria.gob.ec/documentos/SAL-0115_16%20ENERO%202015.pdf)
- D, A. (s.f.). Todos los detalles de distancias específicas a soldar, doblar taladrar o punzonar están en sus planos respectivos del.
- Derby, S. J. (2004). *Design of Automatic Machinery*. New York: Marcel Dekker.
- Directindustry. (2014). *directindustry*. Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/euchner-gmbh-co-kg/interruptores-seta-parada-emergencia-7337-953889.html>
- E., H. t. (s.f.).
- E., H. T. (s.f.).
- E., H. T. (s.f.).
- Ed., N. 1. (s.f.). Diseño de Maquinas Robert L. .
- Empresa Masisa. (s.f.). *MASISA*. Obtenido de <http://www.masisa.com/mex/productos/masisanatural/mdf/equivalente>), (. e. (s.f.). Formula del catálogo de los rodamientos NTN .
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Mecanismo\\_de\\_transferencia](http://es.wikipedia.org/wiki/Mecanismo_de_transferencia). (s.f.).
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Tablero\\_de\\_fibra\\_de\\_densidad\\_media](http://es.wikipedia.org/wiki/Tablero_de_fibra_de_densidad_media). (s.f.).
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Troquelaci%C3%B3n>. (s.f.).
- [http://www.karl-traenklein.de/es/encoladoras\\_dos\\_rodillos.html](http://www.karl-traenklein.de/es/encoladoras_dos_rodillos.html). (s.f.).
- <http://www.madehow.com/Volume-4/Jigsaw-Puzzle.html#2030#ixzz2lIPjU5lf>. (s.f.).

- Juvanall, R. C. (s.f.). Fundamentos de Diseño para Ingeniería Mecánica . 3ra Ed. Karl-traenklein. (s.f.). *www.karl-traenklein.de*. Obtenido de [http://www.karl-traenklein.de/es/encoladoras\\_dos\\_rodillos.html](http://www.karl-traenklein.de/es/encoladoras_dos_rodillos.html)
- lógica., E. I. (s.f.).
- Machinerychina. (2014). *Machinerychina*. Obtenido de <http://machinerychina.es/14h-single-action-press.html>
- McCormac, J. (2003). *Diseño de estructuras de acero*. Mexico: Alfaomega.
- Mecánica, F. d. (s.f.).
- Metalmaq S.A. (2014). *Interempresas*. Obtenido de <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/FeriaVirtual/Producto-Escuadra-movil-de-apoyo-1297.html>
- Metalmaq S.A. (s.f.). *Interempresas*. Obtenido de <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/FeriaVirtual/Producto-Escuadra-movil-de-apoyo-1297.html>
- Microautomacion. (2014). *Microautomacion*. Obtenido de <http://www.microautomacion.com/catalogo/Actuadores.pdf>
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos y Maquinas* (4ta ed.). Mexico: Prentice Hall.
- Mott, R. L. (s.f.). *Diseño elementos y maquinas* .
- Mott., R. L. (2006). *Diseño de elementos y maquinas* (4ta ed.). Mexico: Prentice Hall.
- Mott., R. L. (s.f.). *Diseño de elementos y Maquinas*. 4ta Ed. .
- Mott., R. L. (s.f.). *Diseño de elementos y Maquinas* . 4ta Ed.
- Norton, R. (2005). *Diseño de Máquinas* (Tercera ed.). Mexico: MCGRAW-HILL.
- NTN. (2015). *Ntnamerica*. Obtenido de [http://www.ntnamericas.com/en/website/documents/brochures-and-literature/catalogs/ntn\\_2202-ixe.pdf](http://www.ntnamericas.com/en/website/documents/brochures-and-literature/catalogs/ntn_2202-ixe.pdf)
- NTN. (2015). *Ntnamericas*. Obtenido de [http://www.ntnamericas.com/en/website/documents/brochures-and-literature/catalogs/ntn\\_2202-ixe.pdf](http://www.ntnamericas.com/en/website/documents/brochures-and-literature/catalogs/ntn_2202-ixe.pdf)
- Proviaceros. (2015). *Proviaceros*. Obtenido de <http://www.proviaceros.com/tuberias.html>
- Rapidair. (2000). *Logismarket*. Obtenido de [http://www.logismarket.co.uk/wrapping-machines/vertical-stretch-wrapping-machine-with-rotating-ring\\_aetna-group\\_p](http://www.logismarket.co.uk/wrapping-machines/vertical-stretch-wrapping-machine-with-rotating-ring_aetna-group_p)
- Robert, C. J. (1999). *Fundamentos de Diseño para Ingeniería Mecánica* (3ra ed.). Mexico: LIMUSA.
- Robopac. (2014). *Logismarket*. Obtenido de [http://www.logismarket.co.uk/wrapping-machines/vertical-stretch-wrapping-machine-with-rotating-ring\\_aetna-group\\_p](http://www.logismarket.co.uk/wrapping-machines/vertical-stretch-wrapping-machine-with-rotating-ring_aetna-group_p)
- Schneider Relay. (2007). *aliexpress*. Obtenido de <http://www.aliexpress.com/popular/telemecanique-relay-socket.html>
- Sensing. (10 de Marzo de 2015). *sensores-de-medida*. Obtenido de [http://www.sensores-de-medida.es/sensing\\_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES\\_35/Sensores-de-presi%C3%B3n\\_107/Sensores-de-presi%C3%B3n-industriales\\_108/Transductor-de-presi%C3%B3n-amplificado-con-alta-linealidad-AEP-TP12\\_143.html](http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensores-de-presi%C3%B3n_107/Sensores-de-presi%C3%B3n-industriales_108/Transductor-de-presi%C3%B3n-amplificado-con-alta-linealidad-AEP-TP12_143.html)

- Siemens. (Abril de 2012). *swe.siemens*. Obtenido de <https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores/Documents/Catalogo%20ST70N%20Abr12.pdf>
- Siemens. (2015). *automation.siemens*. Obtenido de [www.automation.siemens.com](http://www.automation.siemens.com)
- Solé, A. C. (2007). *Neumática e Hidráulica* (1ra ed.). Barcelona: Marcombo S.A.
- Troquelaci. (2014). *Wikipedia*. Obtenido de <http://es.wikipedia.org/wiki/Troquelaci%C3%B3n>
- Vaderluck. (2012). *Wikipedia*. Obtenido de [http://en.wikipedia.org/wiki/Medium-density\\_fibreboard#mediaviewer/File:MDF\\_Sample.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/Medium-density_fibreboard#mediaviewer/File:MDF_Sample.jpg)
- Varimotorca. (2010). *varimotorca*. Obtenido de [www.varimotorca.com/info\\_equi\\_elec-siemens.html](http://www.varimotorca.com/info_equi_elec-siemens.html)
- wikipedia. (2014). *es.wikipedia*. Obtenido de [http://es.wikipedia.org/wiki/Tablero\\_de\\_fibra\\_de\\_densidad\\_media](http://es.wikipedia.org/wiki/Tablero_de_fibra_de_densidad_media)
- Wikipedia. (Mayo de 2014). *Wikipedia*. Obtenido de [http://es.wikipedia.org/wiki/Mecanismo\\_de\\_transferencia](http://es.wikipedia.org/wiki/Mecanismo_de_transferencia)

### **TESIS CONSULTADAS:**

Albán, R. & Del Hierro, P. (2013). Diseño y construcción de un prototipo de máquina vending inversa para la aceptación, compactación y almacenamiento de botellas Pet de 250 a 3000 cm<sup>3</sup> para SEBRA Cia.Ltda. (Proyecto de Titulación Previo a la obtención del Título de Ingeniero en Mecatrónica). UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE.

LLanos, A. & Suntaxi, B. (2013). Diseño e implementación de un módulo complementario al robot kuka kr16 para la adaptación de una celda flexible de manufactura en el laboratorio de robótica industrial de la espe.(Proyecto de Titulación Previo a la obtención del Título de Ingeniero en Mecatrónica). UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE.

Iza, M. & Medina, A. (2013). Diseño y construcción de una máquina dosificadora y empacadora controlada por PLC para la línea de producción de snacks de la empresa ECUAMEX S.A. (Proyecto de Titulación Previo a la obtención del Título de Ingeniero en Mecatrónica). UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE.

### **ANEXOS:**

Véase en CD-ROM adjunto.