

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE UN SISTEMA  
SEMIAUTOMÁTICO TOLVA – BASCULA PARA EL PESAJE,  
COMPACTACIÓN Y EMPACADO DE FIBRA DE POLIETILENO;  
CONTROLADO Y SUPERVISADO DESDE UNA INTERFACE HUMANO -  
MAQUINA (IHM).**

**Línea Investigación:  
AUTOMATIZACION INDUSTRIAL**

**Autores:  
CIRO ANDRES DIAZ RODRIGUEZ  
JORGE ELIECER MERCHAN PINEDA**

**Director Investigación:  
CARLOS FORERO**

**Asesor:  
JOHN FABBER ARCHILA**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERIA FISICO-MECANICAS  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BUCARAMANGA**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Presidente Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

## AGRADECIMIENTOS

Nuestros agradecimientos van dirigidos a todas las personas que estuvieron presentes brindándonos apoyo durante nuestra formación como ingenieros mecánicos, también a quienes nos dieron alientos para seguir adelante y cumplir con cada uno de nuestros propósitos.

A Dios por la sabiduría, por la salud, por la fortaleza, por permitirnos estar en este punto de nuestras vidas, por enseñarnos a ser perseverantes y constantes en nuestros ideales.

A nuestras familias por su apoyo, ayuda y paciencia recibida durante toda nuestra formación como personas y profesionales; sus consejos y enseñanza, para que cada día tuviéramos la esperanza de continuar trabajando en alcanzar y cumplir con nuestro reto de ser profesionales.

A nuestro decano y docente Dr. Germán Oliveros, por su asesoría, paciencia y dedicación desde el inicio de este proyecto hasta su culminación.

A todos los docentes que estuvieron involucrados durante el desarrollo de este proyecto: Dr. Faustino Muñoz, Ing. Carlos Forero, Ing. Mauricio Jaimes, Ing. Jhon Faber Archila.

A cada uno de los docentes que durante el transcurso de la carrera, nos aportaron conocimientos primordiales para el desarrollo de este proyecto.

A Tec. Mauricio Suárez, por sus aportes, sugerencias, conocimientos y ayuda incondicional durante la carrera y elaboración de este proyecto.

## DEDICATORIA

*A Dios, por darnos la vida y las capacidades que nos llevaron a este punto de nuestras vidas,  
A nuestros padres, que nos apoyaron a través de todas las dificultades que atravesamos, y nos  
animaron cada día para que siguiéramos adelante,  
A nuestros maestros, que nos guiaron en nuestra formación profesional y  
en la culminación de esta meta,  
A nuestros amigos y compañeras sentimentales, que nos tuvieron paciencia,  
nos apoyaron y nos mantuvieron despiertos  
cuando el sueño parecía hacernos sucumbir.*

*A todos, ¡Gracias!*

## CONTENIDO

## PÁGINA

LISTA DE FIGURAS .....	7
LISTA DE GRÁFICOS.....	10
LISTA DE TABLAS .....	11
GLOSARIO DE SIGLAS .....	14
INTRODUCCION.....	16
OBJETIVOS.....	18
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	20
ANTECEDENTES .....	21
PARAMETROS DEL PROYECTO.....	21
1.1 FIBRATEX .....	22
1.2 AUTOMATIZACION.....	24
1.2.1 OBJETIVOS DE LA AUTOMATIZACIÓN.....	25
1.3 HARDWARE.....	26
1.3.1 PLC.....	26
1.3.1.1 CAMPOS DE APLICACION .....	36
1.3.1.2 SIMATIC S7-200.....	37
1.3.1 MODULO DE PESAJE .....	39
1.3.3 CELDAS DE CARGA.....	40
1.3.4 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN.....	43
1.3.5 CABLEADO ESTRUCTURADO .....	46
1.3.6 PROTECCION ELECTRICA.....	50
1.3.7 PANTALLAS TACTILES .....	52

<b>1.4 SOFTWARE.....</b>	<b>57</b>
1.4.1 INTERFACE HMI .....	57
1.4.1.2 WINCC FLEXIBLE.....	58
1.4.2 SIWAREX MS.....	59
<b>2.1 ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>61</b>
<b>3. DISEÑO MECATRÓNICO .....</b>	<b>64</b>
<b>3.1 DISEÑO MECANICO .....</b>	<b>68</b>
3.1.1 PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO .....	69
3.1.1.1 PRUEBA DE COMPRESION PESO MUERTO.....	70
3.1.1.2 PRUEBA DE COMPRESION Y RECUPERACION MEDIANTE UN SISTEMA NEUMATICO – MECANICO.....	84
3.1.1.3 PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCIÓN UTILIZANDO UN PLANO INCLINADO. .....	101
3.1.1.3.1 PRUEBA COEFICIENTE DE FRICCION FIBRATEX – ACRILICO .....	103
3.1.1.3.2 PRUEBA COEFICIENTE DE FRICCION FIBRATEX – ALUMINIO .....	114
3.1.1.3.3 PRUEBA COEFICIENTE DE FRICCION FIBRATEX – ACERO COLD ROLL.....	115
3.1.2 DISEÑO DE LA TOLVA DE COMPRESIÓN Y EMPACADO DE FIBRA: .....	116
3.1.2.1 PROTOTIPO MODELO CAD (DISEÑO ASISTIDO COMPUTARIZADO).....	122
3.1.2.2 PROTOTIPO MODELO CAD FINAL .....	133
<b>3.2 DISEÑO ELECTRONICO .....</b>	<b>135</b>
3.2.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA FUENTE DE PODER .....	136
3.2.2 SISTEMAS DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA.....	137
3.2.3 ASIGNACIÓN DE CONEXIONES EN EL PLC .....	138
3.2.4 Buses De Comunicación.....	140
<b>3.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL .....</b>	<b>141</b>
3.3.1 DIAGRAMA DE FLUJO .....	143
3.3.2 VARIABLES DEL PROGRAMA.....	149
<b>4. CONSTRUCCION Y PRUEBAS .....</b>	<b>150</b>
<b>4.1 PRUEBAS Y RESULTADOS.....</b>	<b>151</b>
<b>5. REDISEÑO .....</b>	<b>155</b>
<b>5.1 DISEÑO DE LOS PISTONES .....</b>	<b>155</b>
5.1.2 CALCULO DE LOS PISTONES .....	155
<b>5.2 CONSTRUCCION, PRUEBAS Y RESULTADOS .....</b>	<b>159</b>
<b>5.3 PROGRAMA DE CONTROL .....</b>	<b>161</b>

5.3.1 INTERFACE HUMANO – MÁQUINA .....	173
5.4 DESCRIPCION DE LA SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO.....	177
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>182</b>
<b>CRONOGRAMA .....</b>	<b>184</b>
<b>PRESUPUESTO .....</b>	<b>185</b>
<b>BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS DE INTERNET .....</b>	<b>186</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>188</b>
<b>ANEXO A: PLANOS MECÁNICOS DE LA TOLVA EMPACADORA CON MECANISMO MANIVELA - VIELA - CORREDERA .....</b>	<b>189</b>
<b>ANEXO B: PLANOS ELECTRÓNICOS DE LAS CONEXIONES DE LOS INSTRUMENTOS DE LA TOLVA MECANISMO MANIVELA –VIELA – CORREDERA.....</b>	<b>190</b>
<b>ANEXO C: PLANOS ELECTRO-NEUMÁTICOS DE LAS CONEXIONES DE LOS INSTRUMENTOS DE LA TOLVA MECANISMO CON PISTON NEUMÁTICO. ....</b>	<b>1191</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fibratex .....	23
Figura 2: Producto empacado.....	23
Figura 3: Comparación de los efectos de la fibra .....	24
Figura 4: Módulos en un PLC .....	28
Figura 5: Fuente de Alimentación del PLC .....	29
Figura 6: Entradas discretas de C.D. en un PLC .....	31
Figura 7: Entradas discretas de CA .....	32
Figura 8: Salidas discretas de CD .....	33
Figura 9: Salidas discretas de CA.....	34
Figura 10: Módulo de salidas analógicas.....	36
Figura 11: Familia de los S7-200 y sus posibles ampliaciones .....	38
Figura 12: Celdas de carga .....	41
Figura 13: Los niveles OSI – niveles de organización de los sistemas de comunicación .....	46
Figura 14: Diferencias entre el cableado normal y el cableado estructurado .....	48
Figura 15: Ubicación en el sistema de interacción Hombre-Máquina.....	57
Figura 16: Módulo Siwarex MS.....	59
Figura 17: Algunos fabricantes mundiales de sistemas de dosificación y empacado .....	61
Figura 18: Sistemas de Pesaje y empacado que se encuentran en el mercado. ..	62
Figura 19: Diagrama de integración de la ingeniería Mecatrónica .....	64
Figura 20: Esquema del diseño en cascada en forma de diagrama de flujo .....	65
Figura 21: Prueba de compresión con peso muerto .....	70
Figura 22: Elementos Utilizados En La Prueba De Compresión Mediante Un Sistema Neumático – Mecánico .....	85
Figura 23: Mecanismo Y Circuito Electro-neumático Del Sistema para la prueba de compresión.....	85
Figura 24: Plano Inclinado Que Se Utilizo Para La Prueba.....	102
Figura 25: Versión Inicial De La Tolva .....	122
Figura 26: Acercamiento De La Tolva Vista Horizontal, Con Medidas Acomodadas Para Cumplir La Ley De Grashov. ....	123
Figura 27: Medidas de las barras del mecanismo vertical.....	125
Figura 28: Version Final De La Tolva Empacadora, Vista Isometrica .....	133
Figura 29: Version Final De La Tolva Empacadora, Vista Lateral.....	134
Figura 30: Version Final De La Tolva Empacadora, Vista Posterior.....	134
Figura 31: Prototipo de cartón de la tolva .....	135



Figura 32: Diagrama De Los Componentes Eléctricos Y Electrónicos Del Sistema .....	136
Figura 33: Esquema De Las Conexiones De Las Entradas Digitales Del PLC Para La Tolva Empacadora .....	138
Figura 34: Esquema De Las Conexiones De Las Salidas Digitales Del PLC Para La Tolva Empacadora .....	139
Figura 35: Inicio Diagrama De Flujo Lógica Principal De Control Del Sistema.....	143
Figura 36: Fin Diagrama De Flujo Lógica Principal De Control Del Sistema .....	146
Figura 37: Diagrama de flujo lógica parada de emergencia .....	147
Figura 38: Diagrama De Flujo Lógica De Interrupción Para La Parada De Emergencia .....	148
Figura 39: Algunas piezas del mecanismo de compactación del sistema. ....	150
Figura 40: Laminas curvas para la tolva de pesaje .....	151
Figura 41: Mecanismo manivela - biela - corredera para la compactación del producto en la tolva. ....	152
Figura 42: Mecanismo de compactación bloqueado .....	153
Figura 43: Pistón neumático construido artesanalmente .....	158
Figura 44: Pistones ensamblados a la tolva.....	159
Figura 45: Etapa de pintura .....	159
Figura 46: Sistema parcialmente construido y ensamblado. ....	160
Figura 47: bloques de configuración de la báscula 1, se presentan los bloques, la descripción general de la función de cada uno, y las variables involucradas junto con sus direcciones de memoria. ....	162
Figura 48: bloques de configuración de la báscula 2, se presentan los bloques, la descripción general de la función de cada uno, y las variables involucradas junto con sus direcciones de memoria. ....	163
Figura 49: bloque de configuración de la pantalla TP177A. se presentan las variables que se usaron y las direcciones de memoria correspondientes.....	164
Figura 50: Sección funcional del programa de pesaje y empaquetado del SPEF; cada bloque está comentado, y posee la información necesaria para entender el programa. Las variables están relacionadas en las tablas de cada bloque, con su nombre, descripción y espacio. ....	172
Figura 51: Pantalla de bienvenida del panel de operador de la SPEF v 1.0; cuando la báscula no se encuentra calibrada, el botón de control de empaquetado se muestra en negro, indicando que el sistema no está listo para el empaquetamiento. ....	173
Figura 52: Pantalla de monitoreo de balanza; en esta pantalla se muestra el peso neto que está detectando la báscula, y datos de interés, como si el peso medido es estable o si el sistema está protegido contra escritura. ....	174

Figura 53: Pantalla de bienvenida. Nótese que el botón de control de empaquetado se encuentra en gris, mostrando el texto del botón; esto indica que el sistema está listo. ....	175
Figura 54: Pantalla de control de empaquetado. En esta pantalla se pueden apreciar diferentes elementos que permiten controlar y monitorear el estado de la báscula durante la operación.....	176
Figura 55: Pedal para el inicio de la secuencia.....	177
Figura 56: Etapa de pesaje.....	178
Figura 57: Celda de carga modelo CAD .....	178
Figura 58: Etapa de compactación. ....	179
Figura 59: Etapa de empaquetado. ....	180
Figura 60: Fin de ciclo. ....	181

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Peso ejercido VS distancia para los pesos probados .....	82
Gráfico 2: curva de respuesta de la fibra, para 600 gr de material, ilustrada en presión vs altura final de la fibra. Eje x: presión aplicada; eje y: altura del material en la caja de compresión.....	98
Gráfico 3: curva de respuesta de la fibra, para 1000gr de material, ilustrada en presión vs altura final de la fibra. Eje x: presión aplicada; eje y: altura del material en la caja de compresión.....	99

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1: Características CPU S7-224.....	39
TABLA 2: resultados de las pruebas de compresión con 300 gr y 600 gr de fibra, usando una masa de compresión de 1 kg. ....	71
TABLA 3: resultados de las pruebas de compresión con 300 gr y 600 gr de fibra, usando una masa de compresión de 2 kg. ....	72
TABLA 4: resultados de las pruebas de compresión con 300 gr y 600 gr de fibra, usando una masa de compresión de 3 kg. ....	73
TABLA 5: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION CON 300 gr Y 600 gr DE FIBRA, USANDO UNA MASA DE COMPRESION DE 4 Kg. ....	74
TABLA 6: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION CON 300 gr Y 600 gr DE FIBRA, USANDO UNA MASA DE COMPRESION DE 5 Kg. ....	75
TABLA 7: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION CON 300 gr Y 600 gr DE FIBRA, USANDO UNA MASA DE COMPRESION DE 6 Kg. ....	76
TABLA 8: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION CON 300 gr Y 600 gr DE FIBRA, USANDO UNA MASA DE COMPRESION DE 7 Kg. ....	77
TABLA 9: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION CON 300 gr Y 600 gr DE FIBRA, USANDO UNA MASA DE COMPRESION DE 8 Kg. ....	78
TABLA 10: PARÁMETROS Y RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPRESIBILIDAD CON 300 gr DE FIBRA .....	79
TABLA 11: PARÁMETROS Y RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPRESIBILIDAD CON 600 gr DE FIBRA .....	80
<i>Tabla 12: Datos finales obtenidos para una masa de 300gr .....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 13: Datos finales obtenidos para una masa de 600gr .....</i>	<i>81</i>
TABLA 14: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 600gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 4 Bar. ....	86
TABLA 15: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 600gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 5 Bar. ....	87
TABLA 16: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 600gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 6 Bar. ....	88
TABLA 17: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 600gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 7 Bar. ....	89
TABLA 18: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 600gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 8 Bar. ....	90
TABLA 19: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 600gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 9.5 Bar. ....	91

TABLA 20: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 1000gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 4 Bar. ....	92
TABLA 21: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 1000gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 5 Bar. ....	93
TABLA 22: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 1000gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 6 Bar. ....	94
TABLA 23: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 1000gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 7 Bar. ....	95
TABLA 24: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 1000gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 8 Bar. ....	96
TABLA 25: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 1000gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 9.5 Bar.....	97
TABLA 26: PROMEDIO GENERAL DE LA PRUEBA DE COMPRESION Y RECUPERACION USANDO EL MECANISMO DE PALANCA/PISTON. ....	100
TABLA 27: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCION CON LA MUESTRA A DE FIBRA. ....	103
TABLA 28: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCION CON LA MUESTRA B DE FIBRA. ....	104
TABLA 29: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCION CON LA MUESTRA C DE FIBRA. ....	105
TABLA 30: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCION CON LA MUESTRA D DE FIBRA. ....	106
TABLA 31: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCION CON LA MUESTRA E DE FIBRA. ....	107
TABLA 32: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCION CON LA MUESTRA F DE FIBRA.....	108
TABLA 33: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCION CON LA MUESTRA G DE FIBRA. ....	109
TABLA 34: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCION CON LA MUESTRA H DE FIBRA. ....	110
TABLA 35: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCION CON LA MUESTRA I DE FIBRA. ....	111
TABLA 36: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCION CON LA MUESTRA J DE FIBRA. ....	112
TABLA 37: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCION CON SUPERFICIE DE ROZAMIENTO DE ALUMINIO .....	114
TABLA 38: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCION CON SUPERFICIE DE ROZAMIENTO DE ACERO COLD ROLL .....	115

TABLA 39: EVALUACION DE SOLUCIONES POR MEDIO DEL SISTEMA DE PONDERACION POR PESOS ..... 120

## GLOSARIO DE SIGLAS

IPA, API	<b>Interfaz de programación de aplicaciones</b> o API (del inglés Application Programming Interface)
CA, AC	<b>Corriente alterna</b> o AC (del inglés Alternative current)
CD, DC	<b>Corriente directa</b> o DC (del inglés Direct current)
CPU, UPC	<b>Central Processing Unit</b> (unidad de procesamiento central)
EA, AI	Entrada Análogica (Analogic input)
ED, DI	Entrada digital (Digital input)
EEPROM	<b>Electrically-erasable programmable read-only memory</b> (memoria de solo lectura, programable y electricamente borrrable)
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia
KOP	Lenguaje de programación gráfica utilizando lógica de contactos.
ONBOARD	Integrado al sistema principal
OSI	Interconexión de Sistemas Abiertos ( <b>Open System Interconnection</b> )
PLC	<b>Programmable Logic Controller</b> o Controlador lógico programable
SA, AO	Salida Analógica (Analogic Output)

SD, DO Salida Digital (Digital Output)

SIWAREX  
MS Módulo de expansión que integra una balanza electrónica al PLC S7-200

TRIAC Tríodo para Corriente Alterna

TTL Transistor-Transistor Logic o "Lógica Transistor a Transistor".

TPV Terminal punto de venta

VCA Voltaje Corriente Alterna

VCD Voltaje Corriente Directa



## INTRODUCCION

Al observar el entorno, se puede ver que ya nada es completamente mecánico, electrónico o virtual; todo lo que se utiliza cada día es producto de una integración de estos elementos. Por ejemplo, el computador, dispositivo que hace parte ya casi integral de la vida moderna: este no es un sistema que pueda existir sólo con una de las disciplinas; utiliza sensores para detectar las ordenes que se le dan (el teclado, el mouse, el scanner), utiliza circuitos eléctricos para distribuir la electricidad que se le provee, y utiliza motores para diferentes periféricos (CD, scanner, impresora). Ya no es posible decir que la electrónica, la mecánica y los sistemas son disciplinas independientes; éstas ahora se entrelazan y se combinan para formar las soluciones a los problemas modernos.

Además, los consumidores se han tornado más conocedores de los productos que adquieren, son más curiosos, y exigen nuevas soluciones a las empresas dedicadas a satisfacer cada una de las necesidades que surgen, ya sea para mejorar la calidad de vida, o para mejorar la forma en que llevan a cabo los procesos de producción, dependiendo del campo de acción de quien tenga la necesidad antes mencionada.

Se espera que, a lo largo de este documento, se pueda ver cómo puede beneficiarse la industria de las capacidades de los ingenieros mecatrónicos, y que se entienda que esta disciplina nació como un llamado de la industria para dar solución a los problemas que se presentan hoy en día.

Este no es, ni por mucho, un intento de decir que las ingenierías clásicas o especializadas no son necesarias, o que los ingenieros mecatrónicos reemplazan a cualquier otro ingeniero en su labor; es, por el contrario, una demostración de que los ingenieros mecatrónicos poseen habilidades únicas, que los diferencian de los otros ingenieros.

En este caso, una empresa manufacturera de textiles sintéticos de talla internacional, TEJIDOS SINTETICOS DE COLOMBIA S.A. (TESICOL S.A.), la cual presenta soluciones en: Agroindustria, Avicultura, Construcción, Transporte, Ganadería y Artesanías; y cuenta con una amplia gama de productos para la solución de diversas necesidades como: mallas plásticas, telas sintéticas, cuerdas, sogas, fibras y clips, desea mejorar uno de sus procesos de producción, en respuesta al aumento de la demanda de el producto resultante.

El diseño en general del proyecto desde la concepción de este hasta su puesta en marcha se encuentra en este documento y se presenta de la siguiente manera: una primera parte habla de los conceptos básicos que se tuvieron en cuenta para el diseño del prototipo; en la segunda parte, se indica el proceso de diseño en los diferentes aspectos y como se integraron; la tercera parte es un compendio de las pruebas, y muestra los resultados y el análisis de estas mismas; y en la parte final de este documento se encuentran las observaciones, conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron de todo este proceso, y cómo la formación como ingenieros mecatrónicos permite tener una visión integral del proyecto.

## OBJETIVOS

### GENERAL

Diseñar y construir un prototipo de para el pesaje, compactación y empaado de fibra de polietileno; controlado y supervisado desde una interface humano - maquina (IHM).

### ESPECIFICOS

- Diseñar y realizar pruebas que permitan parametrizar algunas características del comportamiento de la fibra necesarias para el desarrollo del sistema.
- Analizar los resultados obtenidos de las pruebas y establecer los parámetros de diseño; determinando la viabilidad del diseño y la construcción del prototipo.
- Diseñar el sistema mecánico y/o mecanismos necesarios para el pesaje, la compactación y el empaado, e implementar los dispositivos seleccionados para tal fin.
- Dimensionar y seleccionar los diferentes dispositivos, elementos y/o sensores que se utilizarán en el sistema.
- Seleccionar los diferentes circuitos eléctricos y electrónicos para controlar y/o acondicionar los diferentes subsistemas al sistema principal.

- Dimensionar el panel de control del sistema e instalar los diferentes componentes implementados utilizando técnicas de cableado estructural.
- Diseñar y construir la estructura física con la cual se sostendrá el sistema en conjunto del prototipo (el pesaje, la compactación y el empacado de la fibra sintética).
- Diseñar y programar el software que será instalado en el PLC para controlar el sistema.
- Diseñar, programar e implementar el sistema IHM del sistema; permitiendo al usuario el control de la dosificación.

## DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Actualmente, TESICOL S.A. amplió su portafolio de productos para la construcción y ha estado comercializando un novedoso producto que hace parte de la mezcla de concreto en las obras de arquitectura.

Así como el concreto y los morteros presentan una gran cantidad de bondades para su utilización en la construcción, también se pueden observar ciertas deficiencias.

Es por esto que la adición de fibras poliméricas, más específicamente, las fibras de polipropileno para refuerzo del concreto, que se han convertido en una innovación en este sector, y que día a día ganan más terreno, aumentando la demanda de este producto, debido a que estas fibras causan una mayor compactación del cemento y extiende la vida útil de este muy significativamente.

Este aumento en la demanda genera algunos inconvenientes en la etapa de dosificación y empaque, pues es difícil para un operario cubrir el incremento en la demanda haciendo uso de los métodos tradicionales de dosificación y empackado; además que se producen pérdidas de material por la poca precisión de la medida del peso en la dosificación, pues esta es realizada manualmente con una balanza convencional.

Este proyecto se realizará con el fin de diseñar un sistema automatizado parcialmente, el cual pueda dosificar el producto con un mínimo trabajo en mano de obra y que genere las menores pérdidas posibles del material, cumpliendo con la demanda del producto.

## ANTECEDENTES

La investigación de desarrollo de este sistema, surge como parte de un proyecto mayor; el cual, ya había sido desarrollado por el grupo de trabajo en el que se quería desarrollar una maquina semiautomática que se encargara del transporte, dosificación, pesaje, compactación y empaçado; en el cual no se obtuvieron los resultados esperados, por lo que se requirió un rediseño del sistema en el que se está trabajando actualmente desarrollado un sistema encargado del pesaje, la compactación y empaçado.

## PARAMETROS DEL PROYECTO

- ⊙ Se busca una máquina que pueda empaquetar, por lo menos, cuatro bolsas de fibra, de un tamaño de 300g, por minuto.
- ⊙ Los niveles de tensión, corriente y ruido, deben estar dentro de los límites permitidos para un establecimiento residencial:
  - Alimentación a 120-240V
  - Consumo de potencia que no supere los 45 KVh (Decreto 1555 de 1990)
  - Ruido inferior a 65 decibelios. (Convenio de asociación No. 038/04, IDEAM)
- ⊙ La máquina está también limitada en tamaño, por los espacios disponibles en una residencia familiar.
  - Altura máxima: 1.9m
  - Ancho máximo: 3m
  - Profundidad máxima: 0.9m

## MARCO TEORICO

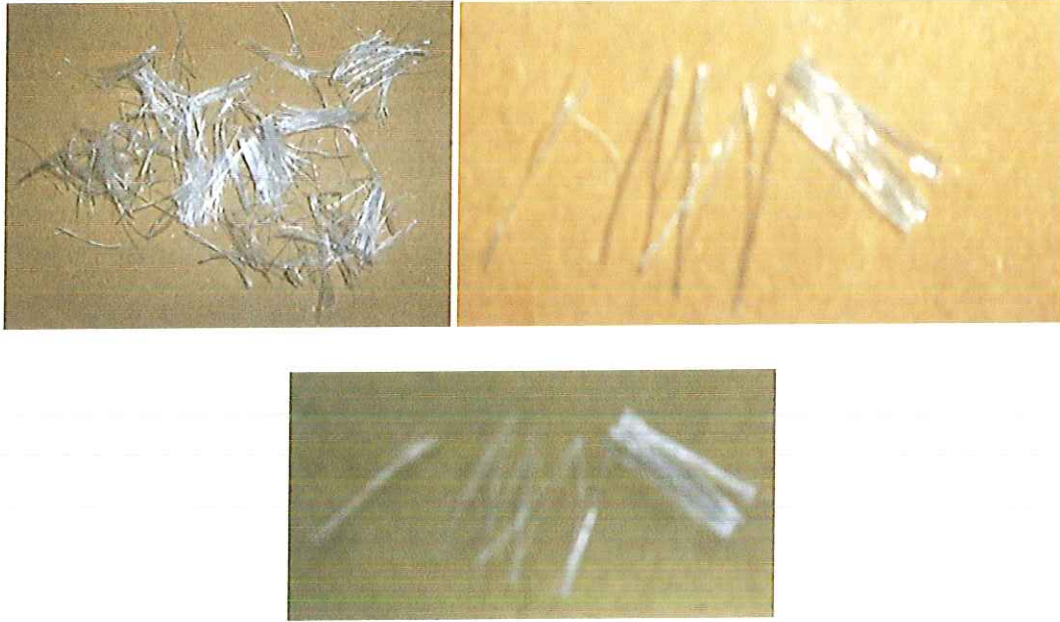
### 1.1 FIBRATEX

FIBRATEX son fibras sintéticas de polipropileno que se añaden a la mezcla de concreto para prevenir la ruptura y rápido envejecimiento causado por la acción del tiempo y cambios bruscos de temperatura.

Estas fibras en forma de arreglos fibrilados y cortados en longitudes predeterminadas, son de particular interés para el refuerzo del concreto por su relativo bajo costo y su alta durabilidad.

Las fibras de polipropileno FIBRATEX poseen propiedades que las hacen muy compatibles para mezclar en matrices de concreto.

Estas fibras son empacadas en bolsas de papel y selladas con almidón, al llegar al punto de mezcla se introduce al mezclador con todo y bolsa; la bolsa no produce ningún efecto nocivo para la mezcla, debido a que es de papel y se tritura en el mezclador, dejando libre la fibra para que esta se mezcle y cumpla con su objetivo (dar compactación y durabilidad al cemento) después de aplicado y secado del cemento.



**Figura 1: Fibratex**

**En esta figura se muestra el producto y se puede apreciar la estructura de malla, que se extiende cuando el producto se mezcla con el cemento.**

(Fuente: Autores)



**Figura 2: Producto empacado.**

**En esta figura se visualiza el producto empacado (bolsas de papel selladas con almidón)**

(Fuente: Autores)





**Figura 3: Comparación de los efectos de la fibra.**

**En esta figura se observa la diferencia en la calidad del concreto puro, comparada con la brindada por Fibratex cuando es aplicado en el cemento.**

(Fuente: Autores)

## 1.2 AUTOMATIZACION

En el griego antiguo automatización industrial significa: "guiado por uno mismo"; en la actualidad, se conoce como el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales, substituyendo a operadores humanos. Es decir, es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos, a un conjunto de elementos tecnológicos.

Lo que se busca con la automatización, más que mecanizar los procesos es ayudar al ser humano a reducir ampliamente la necesidad sensorial y mental del humano, así como el esfuerzo que tiene que ejercer para cumplir ciertas labores.

La automatización, como una disciplina de la ingeniería, es más amplia que un mero sistema de control; abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores y transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.

Los computadores que permiten programar estos sistemas, se conocen como Controladores lógicos programables, o por sus siglas, PLC en inglés, son utilizadas frecuentemente para sincronizar el flujo de entradas de sensores y eventos, con el flujo de salidas a los actuadores y eventos. Con los PLC se pueden controlar acciones precisas que permitan un control estrecho de cualquier proceso industrial.

Las interfaces Hombre-Máquina (HMI) o interfaces Hombre-Computadora (CHI), formalmente conocidas como interfaces Hombre-Máquina, son comúnmente empleadas para comunicarse con los PLC's y otras computadoras, para labores tales como: introducir y monitorear temperaturas o presiones para controles automáticos, o dar respuesta a mensajes de alarma. Las personas de servicio que monitorean y controlan estas interfaces son conocidos como ingenieros de estación.

### **1.2.1 OBJETIVOS DE LA AUTOMATIZACIÓN**

- ⊙ Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- ⊙ Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.

- ⊙ Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- ⊙ Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- ⊙ Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- ⊙ Integrar la gestión y producción.

## **1.3 HARDWARE**

### **1.3.1 PLC**

Un autómatas programable industrial (API) o Programmable logic controller (PLC), es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales.

Un PLC trabaja con base en la información recibida por los captadores y el programa lógico interno, actuando sobre los actuadores de la instalación.

Para que un PLC cumpla con su función de controlar, es necesario programarlo con cierta información acerca de los procesos que se quiere secuenciar. Esta información es recibida por captadores, que gracias al programa lógico interno, logran implementarla a través de los actuadores de la instalación.

Un PLC es un equipo comúnmente utilizado en maquinarias industriales de fabricación de plástico, en máquinas de embalajes, entre otras; en fin, son posibles de encontrar en todas aquellas maquinarias que necesitan controlar procesos secuenciales, así como también, en aquellas que realizan maniobras de instalación, señalización y control.

Dentro de las funciones que un PLC puede cumplir se encuentran operaciones como las de detección y de mando, en las que se elaboran y envían datos de acción a los preactuadores y actuadores. Además, cumplen la importante función

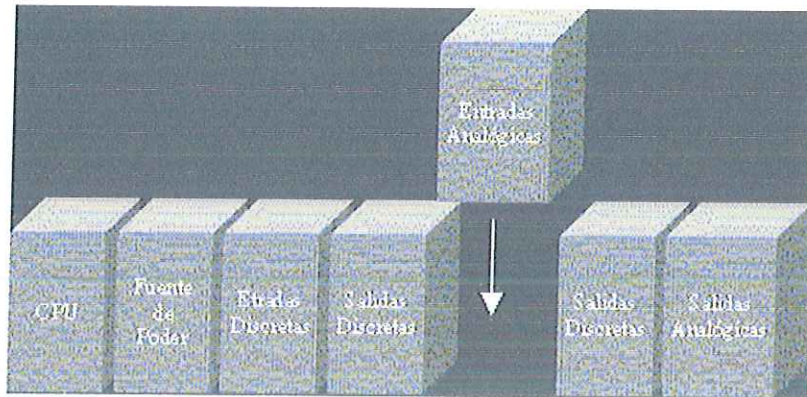
de programación, pudiendo introducir, crear y modificar las aplicaciones del programa.

Dentro de las ventajas que estos equipos poseen se encuentra que, gracias a ellos, es posible ahorrar tiempo en la elaboración de proyectos, pudiendo realizar modificaciones sin costos adicionales. Por otra parte, son de tamaño reducido y mantenimiento de bajo costo, además permiten ahorrar dinero en mano de obra y la posibilidad de controlar más de una máquina con el mismo equipo. Sin embargo, y como sucede en todos los casos, los controladores lógicos programables, o PLCs, presentan ciertas desventajas como es la necesidad de contar con técnicos calificados y adiestrados específicamente para ocuparse de su buen funcionamiento.

Los sistemas de relevadores son del tipo de sistema de "lógica cableada". Esto quiere decir que cuando un sistema de control basado en relevadores se diseñaba, este servía única y exclusivamente para resolver el problema para el cual fue pensado. Si por alguna razón el proceso debía cambiar, era necesario volver a hacer un análisis matemático para obtener la lógica de control y además se debía modificar el cableado de los relevadores. En el peor de los casos era necesario rehacer toda la instalación del sistema de relevadores.

Por el contrario, un PLC es un sistema de microprocesador. En cierta forma se puede decir que es una computadora de tipo industrial. Un PLC tiene una CPU (Unidad central de procesamiento), fuente de alimentación, interfaces para comunicación y puertos de entradas y salidas de tipo analógico o digital que se fabrican en tarjetas o módulos. Tanto el CPU y sus periféricos, que son los módulos de entradas y salidas, se interconectan mediante un bus del sistema que en algunos modelos de PLC's está hecho sobre una placa con ranuras (Slots) en donde se insertan uno por uno, del mismo modo en que se insertan las tarjetas de expansión en la placa base de una computadora personal. De hecho, muchos

modelos de PLC actualmente instalados en todo el mundo fueron realizados con microprocesadores.



**Figura 4: Módulos en un PLC**

**La figura visualiza algunos de los módulos que utiliza un PLC y su facilidad de montaje**

(Fuente: <http://mx.geocities.com/imenator/td/PLC.htm>)

## CPU

El PLC tiene un sistema operativo hecho por su fabricante. La memoria en donde el PLC almacena el programa con la lógica de control es de tipo EEPROM. Esto es, Memoria Programable de Solo Lectura Eléctricamente Borrable (Electrically Erased Programmable Read Only Memory) de modo que cuando el PLC pierde energía su programación y algunos datos indispensables para su correcto funcionamiento no se pierden. El PLC también cuenta con memoria RAM en donde guarda una "imagen" de las señales de entrada y las señales de salida.

En general, los CPU's de los PLC's realizan una serie de tareas cuya ejecución es repetida de forma indefinida:

- Realizar un diagnóstico del sistema.
- Leer los valores de las señales de entrada de cada uno de los módulos de entrada y generar en la memoria RAM una "imagen de sus estados".
- Ejecutar las instrucciones del programa, usando las imágenes en

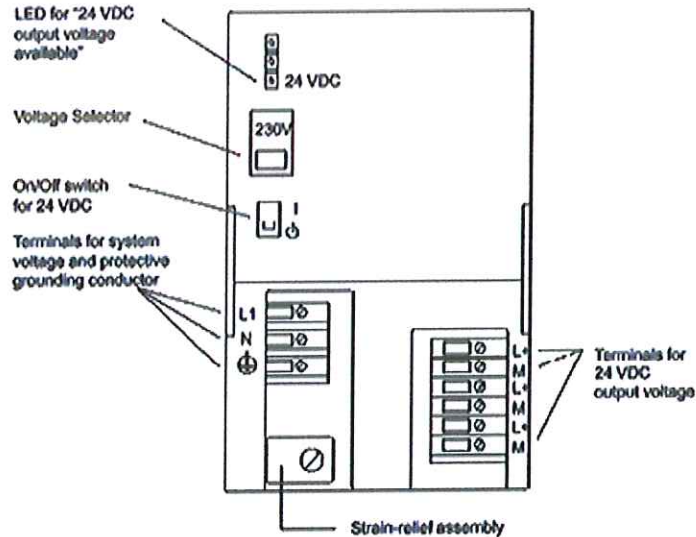
memoria de las entradas, y obteniendo así una "imagen en memoria" de señales de salida.

- Actualizar las salidas de los módulos para que correspondan a los resultados obtenidos del programa.
- Atender todos los servicios de comunicación con el dispositivo de programación o algún sistema de control supervisor.

## Fuente de poder

La fuente de poder del PLC es el componente que energiza al CPU y alimenta a los módulos que pudiese tener instalados. Normalmente las fuentes de PLC's tienen una salida de C.D.

Cuando elegimos la fuente de poder del PLC debemos saber cuánta corriente máxima puede llegar a consumir cada módulo, sumar las corrientes y así determinamos la capacidad de la fuente de poder necesaria.



**Figura 5: Fuente de Alimentación del PLC**

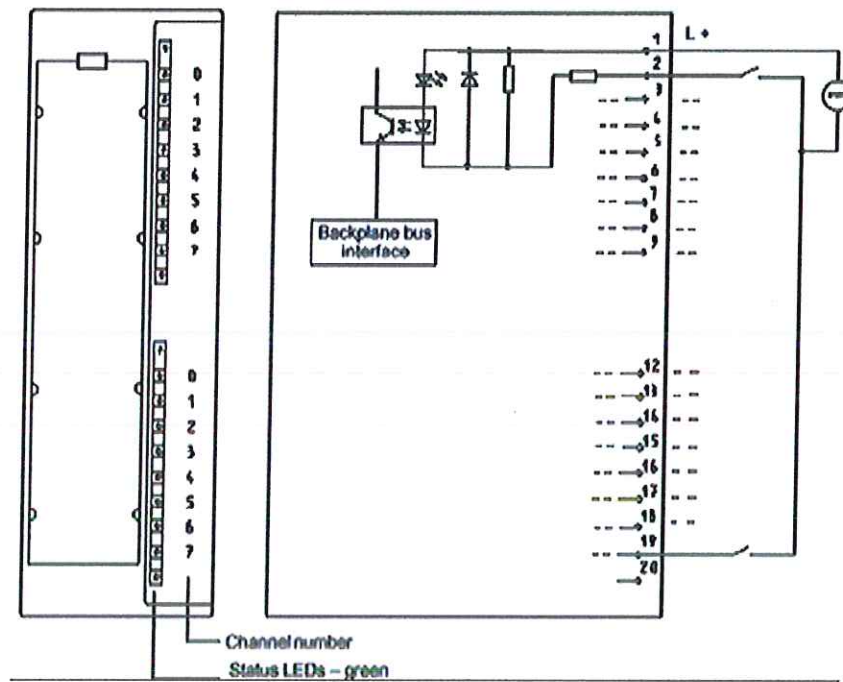
**En esta figura se puede ver una fuente de alimentación para el PLC, y la descripción de cada indicador, switch o conector.**

(Fuente: <http://mx.geocities.com/imenator/td/PLC.htm>)

### **Módulos de entradas discretas de C.D.**

Estos módulos son usualmente de 8, 16 o 32 entradas para niveles de voltaje de 0 a 24VCD que es el rango de voltajes típico a la salida de los sensores comerciales, aunque también existen módulos que soportan voltajes superiores. La etapa de entrada de los módulos está aislada del bus interno del PLC mediante optoaisladores que convierten los niveles de 0 a 24 VCD a niveles TTL o inferiores. Usualmente una de las dos terminales de cada optoaislador se conectan a un punto común, de modo que para un módulo de 16 entradas, en lugar de manejar  $16 \times 2 = 32$  terminales, solo se tienen [16 Señales de entrada] + [1 Terminal Común] + [1 Terminal para aterrizar] = 18 terminales. En algunas ocasiones las entradas de un mismo módulo se conectan en dos grupos con nodo común independiente, de modo que se tenga una mayor versatilidad.

Podemos ver claramente que los sensores, botones, relevadores, etc. funcionarán como interruptores conectados en serie con las entradas del PLC.



**Figura 6: Entradas discretas de C.D. en un PLC**

La figura visualiza un módulo de entradas discretas de C.D. en un PLC, la explicación de sus indicadores y forma de conexión.

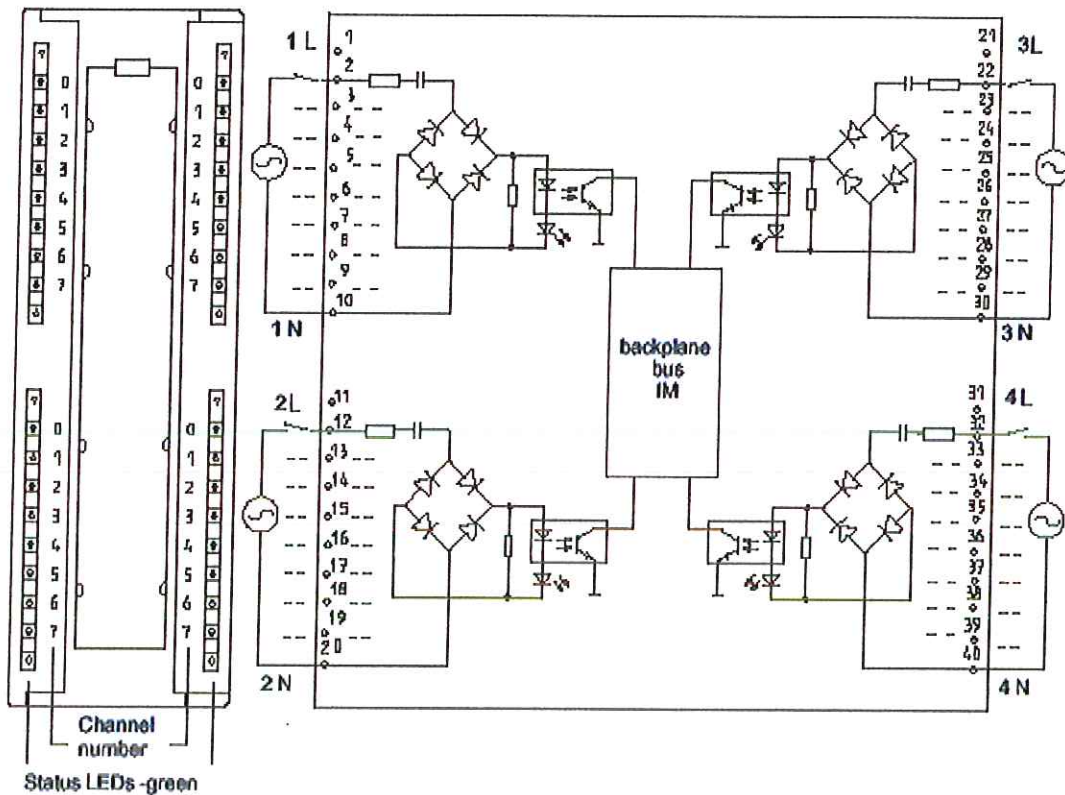
(Fuente: <http://mx.geocities.com/imenator/td/PLC.htm>)

### Módulos de entradas discretas de C.A.

En estos módulos también existe un optoaislamiento entre el bus del PLC y la circuitería externa. Solo que por manejarse voltajes alternos de 120/240 VCA se utilizan arreglos de diodos tipo puente para obtener un pulso directo a la entrada del optoaislador. Igualmente se tiene módulos con un punto común a todas las señales o bien varios grupos de señales con una terminal común para dar versatilidad al módulo. Así, una señal alterna de 120/240 VCA produce internamente un voltaje de C.D. y se considera que la entrada está activada.

(Bibliografía ítem 17)





**Figura 7: Entradas discretas de CA**

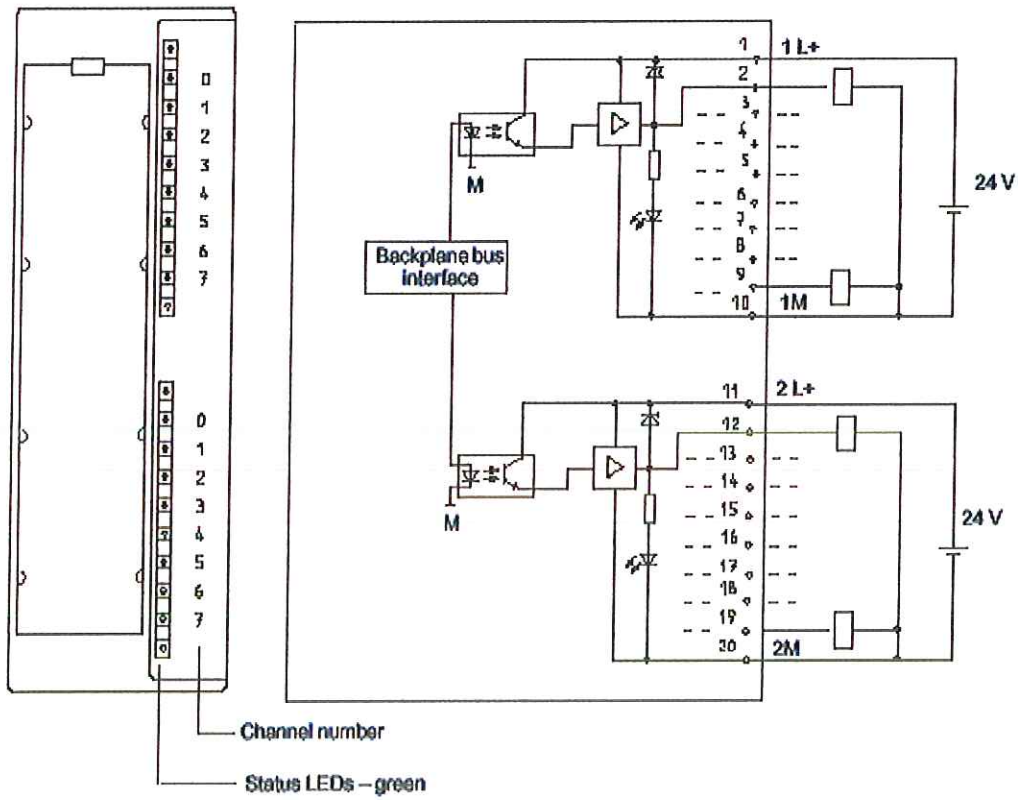
En esta figura se puede ver un módulo de entradas discretas de C.A. en un PLC, la explicación de sus indicadores y forma de conexión.

(Fuente: <http://mx.geocities.com/imenator/td/PLC.htm>)

### Módulos de salidas discretas de C.D.

La etapa de salida de estos módulos se implementa acoplando un optoaislador al bus del PLC y conectando la salida del optoaislador a través de un transistor de potencia que soporta cargas del orden de entre 0.5 y 2A o superiores. Nuevamente se presenta una conexión común para cada transistor de salida lo cual reduce la cantidad de terminales necesarias.

De este modo, las salidas del PLC funcionan como interruptores conectados en serie con los actuadores.



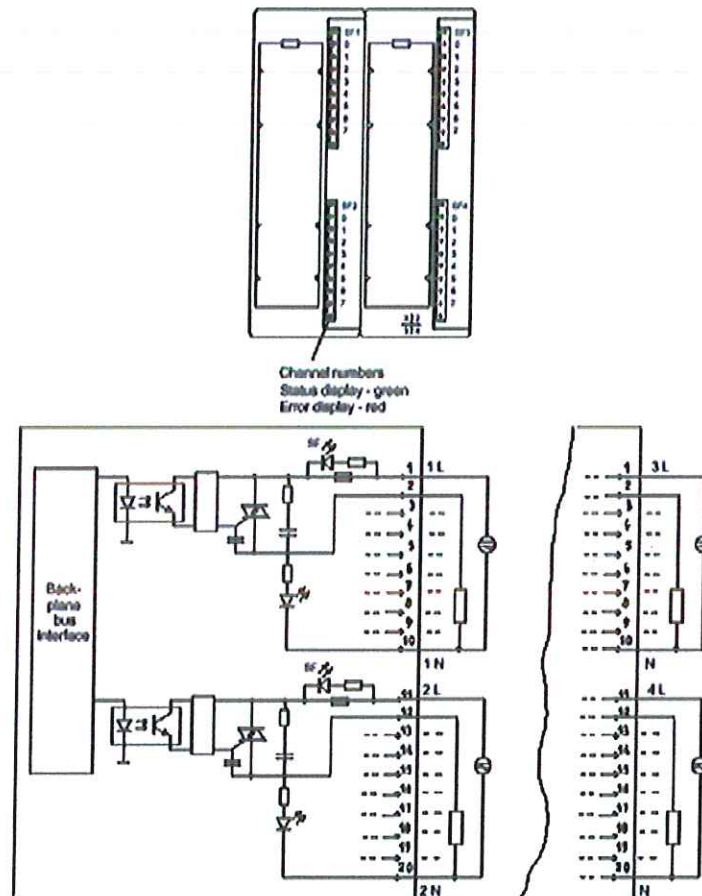
**Figura 8: Salidas discretas de CD**

*La figura representa un modulo salidas discretas de C.D. en un PLC, la explicación de sus indicadores y forma de conexión.*

(Fuente: <http://mx.geocities.com/imenator/td/PLC.htm>)

## Módulos de salidas discretas de C.A.

La etapa de salida de estos módulos se implementa acoplado un optoaislador al bus del PLC y conectando la salida del optoaislador a la compuerta de un TRIAC a través de una etapa de potencia. Un TRIAC es un dispositivo semiconductor que funciona como un circuito abierto cuando su compuerta no está energizada y como circuito cerrado cuando su compuerta sí está energizada.



**Figura 9: Salidas discretas de CA**

**La figura muestra un modulo salidas discretas de C.A. en un PLC, la explicación de sus indicadores y forma de conexión.**

(Fuente: <http://mx.geocities.com/imenator/td/PLC.htm>)

## **Módulos de entradas analógicas**

Como el PLC es esencialmente un sistema digital, es necesario realizar una conversión analógico/digital, de modo que una variable física obtenida a través de un sensor pueda ser representada como un número binario y así realizar las operaciones necesarias. Los módulos de entrada analógicos tienen integrado un conjunto de convertidores analógico/digital y lo que entregan al CPU del PLC es un número binario. Las representaciones típicas son de 12 bits, aunque existen módulos con capacidades de hasta 16 bits. Algunos más sofisticados pueden configurarse para resoluciones desde 8 hasta 16 bits. A cada entrada de señal analógica se le llama canal. Usualmente encontramos módulos de entradas analógicas de cuatro canales.

Atendiendo a la gran variedad de sensores y a sus distintas naturalezas, los fabricantes de PLC's diseñan módulos para medición de voltaje (+/- 10 V típicos), corriente (0 a 20 mA típicos), y resistencia (termistores).

## **Módulos de salidas analógicas**

Actualmente los módulos de salidas analógicas de los PLC's son muy sofisticados. Algunos módulos pueden configurarse como salidas de voltaje o como salidas de corriente, según nuestras necesidades.

Como el CPU del PLC manipula números binarios, cuando se escribe el valor de una salida, este número entra a un **DAC (Convertidor Digital Analógico)**. Por supuesto, la salida de un DAC es un voltaje "escalonado". Algunos modelos incorporan un filtro en sus etapas de salida, de modo que el voltaje a la salida sea "suavizado".

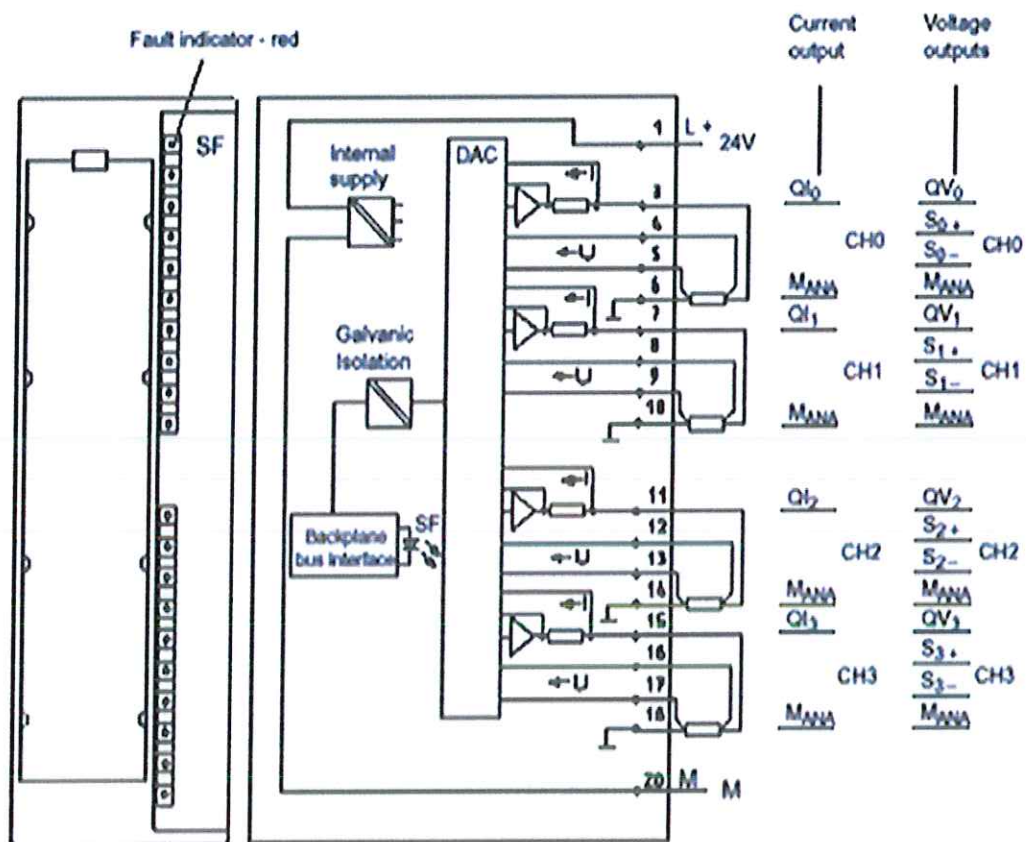


Figura 10: Módulo de salidas analógicas

La figura visualiza un módulo de salidas analógicas, y las etapas que llevan a la señal digital que sale del PLC a convertirse en una señal analógica por medio de los convertidores AD

(Fuente: <http://mx.geocities.com/imenator/td/PLC.htm>)

### 1.3.1.1 CAMPOS DE APLICACION

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

### 1.3.1.2 SIMATIC S7-200

Este PLC hace parte de la familia SIMATIC S7, la cual cuenta con una clasificación de sus productos mediante gamas:

- Gama alta
- Gama media
- Gama baja
  - Esta gama, también llamada microautómatas hace referencia a la línea de PLC S7-200, los autómatas básicos de SIEMENS, los cuales se pueden aplicar a sistemas pequeños de bajas prestaciones en los que se necesite manejar una mínima cantidad de datos.
  - En estas gamas se encuentran varios tipos de autómatas con diferentes prestaciones, las cuales se deben dimensionar para hacer la elección del autónoma de forma correcta y no se sobredimensione este dispositivo o viceversa.

(Fuente: Siemens)


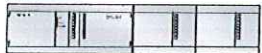

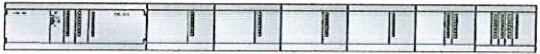
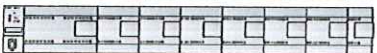


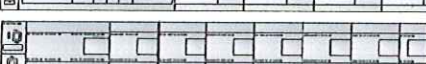
#### Ampliación de la CPU

Las CPUs S7-22x se pueden ampliar con módulos de ampliación **con excepción de la CPU S7-221**. Si en la instalación se necesitan más señales de periferia de las que se disponen ONBOARD, las señales de la CPU se pueden ampliar con entradas y salidas digitales y analógicas adicionales. Además, también se disponen de diferentes módulos de función.

Las CPUs 224 / 226 y 226 XM se pueden ampliar con 7 módulos de ampliación.

En ello, no es fundamental el tipo del módulo de ampliación. Un factor determinante para el número máximo de módulos de ampliación que se pueden conectar es el **balance de potencias** de la CPU. Cada CPU del S7-200 suministra una tensión en continua de 5V y 24V DC. La CPU dispone de una alimentación para captadores a 24V DC que alimenta las entradas integradas y las bobinas de los relés de los módulos de ampliación con 24V DC

### Posibilidades de ampliación del SIMATIC S7-200

		ED Integ.	SD Integ.	Max. n° canales
CPU 221		6 ED	4 SD	10 ED/SD no ampliable
CPU 212		8 ED	6 SD	78 ED/SD 6 EA ó 4 SA
CPU 222		8 ED	6 SD	46 ED/SD 6 EA u./o. 4 SA
CPU 214		14 ED	10 SD	120 ED/SD 12 EA ó 14 SA
CPU 224		14 ED	10 SD	128 ED/SD 28 EA ó 14 SA
CPU 215		14 ED	10 SD	120 ED/SD 12 EA ó 14 SA
CPU 216		24 ED	16 SD	128 ED/SD 12 EA ó 14 SA
CPU 226		24 SD	16 SD	248 ED/SD 28 EA ó 14 SA

**Figura 11: Familia de los S7-200 y sus posibles ampliaciones**

*La figura visualiza la Familia de los S7-200, sus prestaciones y características.*

(Fuente: Siemens)

<b>CPU S7-224</b>	
E/S integradas	14 DI/ 10 DO
Máx. n° E/S con Ems	80/64
Máx. n° de canales	168
CHs. Analógicos E/S/CHs	28/14/35
Mem. de programa/datos	8 KB/ 5 KB
Tiempo de ejecución/instruc.	0,37 µs
Marcas/contad./temporiz.	256/256/256
Contadores rápidos	6 * 30 KHz
Reloj en tiempo real	Si
Salidas de impulsos	2 * 20 KHz
Puertos de comunicaciones	1 * RS 485
Potenciómetros	2

**TABLA 1: Características CPU S7-224**

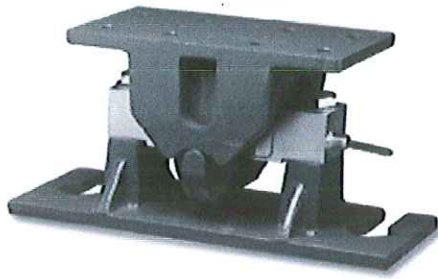
*En la tabla se visualiza las características de la CPU S7-224 seleccionada para controlar el prototipo de tolva-báscula para fibra.*

(Fuente: Siemens)

### **1.3.1 MODULO DE PESAJE**

En muchas aplicaciones se deben llevar a cabo tareas de pesaje y dinamométricas. SIWAREX MS es un modulo que permite integrar galgas extensométricas como células de carga, sensores dinamométricos o ejes torsiométricos, y se integra con un autómata SIMATIC S7-200.





**Figura 12: Celdas de carga**

(Fuente: Internet)

### **Forma y funcionamiento de la celda de carga**

Se trata de un trozo de metal, que o bien puede ser de aluminio o bien de acero. El mismo debe presentar una muy buena calidad, casi óptima, puesto que su función es la de permitir que la balanza comience a realizar sus operaciones. Al trozo de metal, es imperativo que se le practique una perforación o incisión, justamente para poder debilitar algún punto específico de su estructura general. Luego de llevar a cabo esta tarea, lo que hay que realizar es una colocación de pequeños circuitos

resistivos variables, que a su vez padecerán una alteración física o geométrica, más que nada en cuanto a su hilo conductor.

Dichos circuitos se adhieren a la carga aplicada, es decir, a los pesos que se colocan sobre los platos de la báscula para obtener los resultados de la medición

El conductor es el encargado, como ya se ha adelantado, de transmitir una señal que deberá ser proporcional a la deformación, pero siempre y cuando al circuito se le aplique un voltaje denominado "de excitación". Los circuitos, por su parte, reciben el nombre de "gages" o bien "strain gages" y pueden presentar numerosas variedades, siempre dependiendo del uso que se les quiera dar. En cuanto a la señal emitida, la misma se encontrará indefectiblemente deformada. Por esta razón, tendrá que ser posteriormente procesada, tarea que realizará el indicador electrónico. Éste, a su vez, podrá tener características que lo clasifiquen como análogo, así como también rasgos que lo definan como digital. Cualquiera sea el caso, permitirá la obtención de la lectura del peso.

Por otro lado, hay otro principio de funcionamiento de las galgas de las celdas de carga, que se va a basar en la deformación de otros elementos: los semiconductores. La alteración, en este caso, va a repercutir no solo en la longitud sino también en la sección. En lo que respecta a estos semiconductores, los mismos poseen un factor de galga mucho más elevado que aquel que estaba constituido por el hilo metálico.

### **1.3.4 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN**

En este momento los procesos de manufactura, el desarrollo tecnológico y la automatización desempeñan un papel importante. La necesidad actual de las empresas por elevar su eficiencia productiva y facilitar el desarrollo de la ingeniería a distancia, han exigido la aplicación de los buses de campo como una solución de comunicación a nivel industrial, para satisfacer las nuevas exigencias de flujo de información entre los diferentes niveles de un proceso automatizado.

#### **Modelo de referencia OSI**

La ISO reglamentó el modelo OSI de 7 capas, para definir el comportamiento de un sistema de comunicación. Cada capa se fundamenta en la anterior, extrayendo la información de control necesaria para su funcionamiento y enviando los datos a la siguiente. Allí la comunicación se lleva a cabo usando un protocolo y una interfaz que permite el intercambio de información entre capas adyacentes.

#### **Capa Física (Capa 1)**

La Capa Física es la que se encarga de las conexiones físicas: cable de par trenzado, fibra óptica, etc., y la forma en la que se transmite la información (codificación de señal, niveles de tensión/intensidad de corriente eléctrica, modulación, tasa binaria, etc.), si esta es unidireccional o bidireccional (simplex, half-dúplex o full-dúplex).

#### **Capa de enlace de datos (Capa 2)**

Debe crear y reconocer los límites de las tramas, así como resolver los problemas derivados del deterioro, pérdida o duplicidad de las tramas. La capa de enlace de datos se ocupa del direccionamiento físico, de la topología de la red, del acceso a la red, de la notificación de errores, de la distribución ordenada de tramas y del control del flujo. Ejemplos: Ethernet, Token Ring, ATM, FDDI.

### **Capa de red (Capa 3)**

Se encarga de encontrar un camino manteniendo una tabla de enrutamiento y atravesando los equipos que sea necesario, para hacer llevar los datos al destino. Los equipos encargados son los "encaminadores" (*routers* o enrutadores).

Adicionalmente la capa de red debe gestionar la congestión de red, que es el fenómeno que se produce cuando una saturación de un nodo tira abajo toda la red. Un ejemplo clásico de la capa de red es el protocolo IP, que ordena las direcciones de las terminales de una red por medio de un conjunto de números binarios de 4 bytes.

### **Capa de transporte (Capa 4)**

Capa encargada de efectuar el transporte de los datos (que se encuentran dentro del paquete) de la máquina origen a la destino, independizándolo del tipo de red física que se esté utilizando. Todo el servicio que presta la capa está gestionado por las cabeceras que agrega al paquete a transmitir. Los ejemplos más comunes son el TCP, y el UDP, que se encargan de que la comunicación sea fiable desde su origen hasta su destino.

### **Capa de sesión (Capa 5)**

Se encarga de: 1 Control de la sesión a establecer entre el emisor y el receptor (quién transmite, quién escucha y seguimiento de ésta); 2. Control de la concurrencia (que dos comunicaciones a la misma operación crítica no se efectúen al mismo tiempo); 3. Mantener puntos de verificación (checkpoints), que sirven para que, ante una interrupción de transmisión por cualquier causa, la misma se pueda reanudar desde el último punto de verificación en lugar de repetirla desde el principio.

### **Capa de presentación (Capa 6)**

El objetivo de la capa de presentación es encargarse de la representación de la información, de manera que aunque distintos equipos puedan tener diferentes representaciones internas de caracteres (ASCII, Unicode, EBCDIC), números, sonido o imágenes, los datos lleguen de manera reconocible.

Esta capa también permite cifrar los datos y comprimirlos.

### **Capa de aplicación (Capa 7)**

Ofrece a las aplicaciones (de usuario o no) la posibilidad de acceder a los servicios de las demás capas y define los protocolos que utilizan las aplicaciones para intercambiar datos, como correo electrónico (POP y SMTP), gestores de bases de datos y servidor de ficheros (FTP). El usuario normalmente no interactúa directamente con el nivel de aplicación. Así por ejemplo un usuario no manda una petición "HTTP/1.0 GET index.html" para conseguir una página en html, ni lee directamente el código html/xml.

### **Bus de Campo**

Sistema de comunicación digital, bidireccional y multipunto, montado sobre un bus serie que actúa como sistema de intercambio de información entre dispositivos de campo, control y supervisión. Ofrece ventajas como la reducción de costos de instalación, mantenimiento y operación; asegurando la compatibilidad entre instrumentos de diferentes fabricantes.



**Figura 13: Los niveles OSI – niveles de organización de los sistemas de comunicación**

*La figura describe los niveles de la pila OSI (interconexión de sistemas abiertos)*

(Fuente: <http://frikeando007.wordpress.com/2008/07/14/modelo-osi/>)

### 1.3.5 CABLEADO ESTRUCTURADO

Es el conjunto de elementos pasivos, flexible, genérico e independiente, que sirve para interconectar equipos activos, de diferentes o igual tecnología permitiendo la integración de los diferentes sistemas de control, comunicación y manejo de la información, sean estos de voz, datos, video, así como equipos de conmutación y otros sistemas de administración.

En un sistema de cableado estructurado, cada estación de trabajo se conecta a un punto central, facilitando la interconexión y la administración del sistema, esta disposición permite la comunicación virtualmente con cualquier dispositivo, en cualquier lugar y en cualquier momento.

Cableado estructurado trata de especificar una "Estructura" o "Sistema" de cableado para empresas y edificios que sean:

- Común y a la vez independiente de las aplicaciones
- Documentada (Identificación adecuada)
- Proyectada a largo plazo (> 10 años)

### **Ventajas del cableado estructurado**

- Menores fallas en la red respecto a un sistema convencional, por lo tanto se tiene menos tiempos improductivos.
- El costo inicial de un sistema de cableado estructurado puede resultar alto, pero este hará ahorrar dinero durante la vida útil del sistema.
- La administración y gestión de la red es sencilla.

En este sentido hay que tener en cuenta las limitaciones de diseño que impone la tecnología de red de área local que se desea implantar:

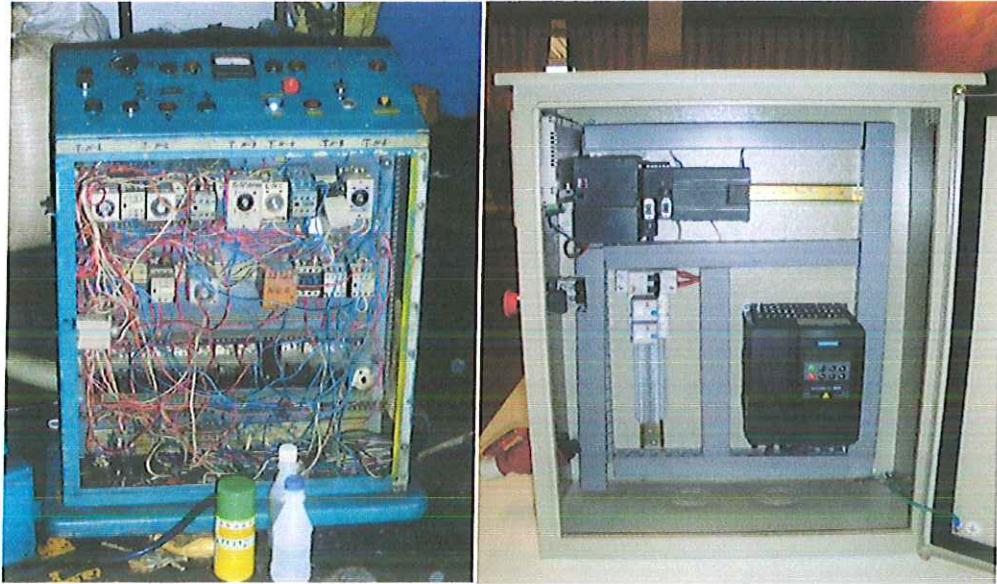
- La segmentación del tráfico de red.
- La longitud máxima de cada segmento de red.
- La presencia de interferencias electromagnéticas.
- La necesidad de redes locales virtuales.

Salvando estas limitaciones, la idea del cableado estructurado es simple:

- Tender cables en cada planta de la industria.
- Interconectar los cables de cada planta.

**SIN CABLEADO ESTRUCTURADO**

**CABLEADO ESTRUCTURADO**



**Figura 14: Diferencias entre el cableado normal y el cableado estructurado**

**La figura visualiza la diferencia organización de un sistema de control cuando se aplican normas de cableado estructurado**

(Fuente: Autores)

### **Cableado horizontal o "de planta"**

Todos los cables se concentran en el denominado **armario de distribución de planta** o **armario de telecomunicaciones**. Se trata de un bastidor donde se realizan las conexiones eléctricas (o "empalmes") de unos cables con otros. En algunos casos, según el diseño que requiera la red, puede tratarse de un elemento activo o pasivo de comunicaciones, es decir, un hub o un switch. En cualquier caso, este armario concentra todos los cables procedentes de una misma planta. Este subsistema comprende el conjunto de medios de transmisión (cables, fibras, coaxiales, etc.) que unen los puntos de distribución de planta con el conector o conectores del puesto de trabajo. Ésta es una de las partes más importantes a la hora del diseño debido a la distribución de los puntos de conexión en la planta, que no se parece a una red convencional.



### **Cableado vertical, troncal o backbone**

Después hay que interconectar todos los armarios de distribución de planta mediante otro conjunto de cables que deben atravesar verticalmente el edificio de planta a planta. Esto se hace a través de las canalizaciones existentes en el edificio. Si esto no es posible, es necesario habilitar nuevas canalizaciones, aprovechar aberturas existentes (huecos de ascensor o escaleras), o bien, utilizar la fachada del edificio (poco recomendable). En los casos donde el armario de distribución ya tiene electrónica de red, el cableado vertical cumple la función de red troncal. Obsérvese que éste agrega el ancho de banda de todas las plantas. Por tanto, suele utilizarse otra tecnología con mayor capacidad. Por ejemplo, FDDI o Gigabit Ethernet.

### **Cuarto principal de equipos y de entrada de servicios**

El cableado vertical acaba en una sala donde, de hecho, se concentran todos los cables del edificio. Aquí se sitúa la electrónica de red y otras infraestructuras de telecomunicaciones, tales como pasarelas, puertas de enlace, cortafuegos, central telefónica, recepción de TV por cable o satélite, etc., así como el propio Centro de proceso de datos (si se aplica).

### **Subsistemas de Cableado Estructurado**

El cableado estructurado está compuesto de varios subsistemas:

- Sistema de cableado vertical.
- Sistema de cableado horizontal.
- Salida de área de trabajo.
- Cuarto o espacio de telecomunicaciones.
- Cuarto o espacio de equipo.
- Cuarto o espacio de entrada de servicios.
- Administración, etiquetado y pruebas.
- Sistema de puesta a tierra para telecomunicaciones.

El sistema de canalizaciones puede contener cableado vertical u horizontal.

### **1.3.6 PROTECCION ELECTRICA**

En todo sistema eléctrico o electrónico es necesario diseñar algunas protecciones tecnológicas para estos sistemas, contra los diferentes factores de riesgo que se pueden presentar y que podrían averiar algunos elementos que quizá sean costosos o difíciles de adquirir.

#### **Objetivos de un sistema de protección eficiente contra perturbaciones eléctricas.**

- Protección y seguridad para la vida humana.
- Protección y seguridad en la operación electromecánica y electrónica.
- Alta eficiencia mecatrónica, (automatización, robótica, informática.), evitando paradas y fuera de servicio.
- Continuidad de operación y cumplimiento puntual con los programas de aseguramiento de la calidad. Reducción de los costos de mantenimiento.
- Compatibilidad electromagnética (mínimos niveles de interferencia y contaminación entre equipos, aparatos, componentes, accesorios y seres humanos).
- Alta eficiencia eléctrica. (Disminución del factor de pérdidas, minimizando las pérdidas de energía eléctrica, lo cual se traduce en ahorro de energía).
- Calidad de operación y equilibrio ecológico.

Protecciones de transitorios y perturbaciones eléctricas en:

- *Telecomunicaciones*
- *Industria*
- *Broadcasting*
- *Laboratorios*
- *Centros de Cómputos*

### **1.- Tierra de funcionamiento. (T. F.)**

Conductor de retomo y referencia para un gradiente de potencial óptimo. Comúnmente denominado "Xo" o "Neutro", la cual se conecta en los transformadores de potencia en el "Xo" del devanado conectado en estrella o en los centros de carga en la barra denominada Neutro.

### **2.- Tierra de protección, (T. P.)**

Conductor denominado "tierra física", cuya misión es proteger la vida humana, el cual se deberá conectar a las partes metálicas no energizadas.

### **3.- Tierra electrónica. (T. E.)**

Conductor denominado en inglés "Ground", encargado de ofrecer "0" lógico a potenciales de masa de circuitos y componentes electrónicos, para su operación óptima de acuerdo a sus especificaciones de diseño.

### **4.- Protección por conexión equipotencial (P.C.E.)**

Conductor destinado a unir masas metálicas no energizadas de un conjunto determinado conteniendo circuitos eléctricos, con el propósito de cancelar gradientes de potencial entre ellas.

### **5.- Tierra de confinamiento de descargas atmosféricas (T. C. D. A.)**

Conductor con destino a tierra, concebido para amortiguar y confinar impulsos electromagnéticos, (NEMP), conocidos como descargas atmosféricas (rayos).

Todas las áreas interconectadas y, acopladas por medio de cables aislados y conectores de alta eficiencia, integran junto a los dispositivos de protección

primarios y secundarios, una alta eficiencia eléctrica, electromecánica y electrónica.

## ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE PROTECCIÓN EFICIENTE

- **Electrodo de puesta a tierra.** Este permite enviar las corrientes indeseables.
- **Protectores Primarios.** Tienen la capacidad de filtrar grandes corrientes (50 [KA]) y una disipación de energía superior a 1900 Joules [J] por medio de varistores sin proporcionarnos desconexión de los equipos conectados en la red eléctrica. Estos deben de ser conectados en paralelo en las cuchillas o bien en el centro de carga en cada una de las fases de la instalación eléctrica.
- **Protectores secundarios.** Tienen capacidad de eliminar disturbios y transitorios eléctricos creando una barrera activa de protección y aislando los circuitos que alimentan los equipos electrónicos sensibles. Elimina de raíz los “comportamientos erróneos” y fallas detectados en computadoras, PLCs, CNCs, sistemas automatizados, Sistemas de alarma, Centrales telefónicas, transmisores, sistemas de comunicaciones, etc. Creando un sistema “estanco” libre de perturbaciones.

### 1.3.7 PANTALLAS TÁCTILES

Una **pantalla táctil** (*touchscreen* en inglés) es una pantalla que mediante un contacto directo sobre su superficie permite la entrada de datos y órdenes al dispositivo. A su vez, actúa como periférico de salida, mostrando los resultados introducidos previamente. Este contacto también se puede realizar con lápiz u otras herramientas similares. Actualmente hay pantallas táctiles que pueden instalarse sobre una pantalla normal. Así pues, la pantalla táctil puede actuar como *periférico de entrada y periférico de salida* de datos.

Las pantallas táctiles se han ido haciendo populares desde la invención de la interfaz electrónica táctil en 1971 por el Dr. Samuel C. Hurst. Han llegado a ser

comunes en TPV's, en cajeros automáticos y en PDA's donde se suele emplear un estilo para manipular la interfaz gráfica de usuario y para introducir datos. La popularidad de los teléfonos inteligentes, las PDAs, los vídeos consolas portátiles o de los navegadores de automóviles está generando la demanda y la aceptación de las pantallas táctiles. (Bibliografía ítem 15)

El HP-150 fue, en 1983, uno de los primeros ordenadores comerciales del mundo que disponía de pantalla táctil. En realidad no tenía una pantalla táctil en el sentido propiamente dicho, sino una pantalla de tubo Sony de 9 pulgadas rodeada de transmisores y receptores infrarrojos que detectaban la posición de cualquier objeto no-transparente sobre la pantalla.

Las pantallas táctiles de última generación consisten en un cristal transparente donde se sitúa una lámina que permite al usuario interactuar directamente sobre esta superficie, utilizando un proyector para lanzar la imagen sobre la pantalla de cristal. Se sale de lo que hasta hoy día se entendía por pantalla táctil que era básicamente un monitor táctil.

Las pantallas táctiles son populares en la industria pesada y en otras situaciones, tales como exposiciones de museos donde los teclados y los ratones no permiten una interacción satisfactoria, intuitiva, rápida, o exacta del usuario con el contenido de la exposición.

## **Tecnologías**

Hay diferentes tecnologías de implementación de las pantallas táctiles:

### **Resistiva**

Una pantalla táctil resistiva está formada por varias capas. Las más importantes son dos finas capas de material conductor entre las cuales hay una pequeña separación. Cuando algún objeto toca la superficie de la capa exterior, las dos capas conductoras entran en contacto en un punto concreto. De esta forma se

produce un cambio en la corriente eléctrica que permite a un controlador calcular la posición del punto en el que se ha tocado la pantalla midiendo la resistencia. Algunas pantallas pueden medir, aparte de las coordenadas del contacto, la presión que se ha ejercido sobre la misma. (Bibliografía ítem 15)

### **De Onda Acústica Superficial**

La tecnología de onda acústica superficial (denotada a menudo por las siglas SAW, del inglés *Surface Acoustic Wave*) utiliza ondas de ultrasonidos que se transmiten sobre la pantalla táctil. Cuando la pantalla es tocada, una parte de la onda es absorbida. Este cambio en las ondas de ultrasonidos permite registrar la posición en la que se ha tocado la pantalla y enviarla al controlador para que pueda procesarla.

El funcionamiento de estas pantallas puede verse afectado por elementos externos. La presencia de contaminantes sobre la superficie también puede interferir con el funcionamiento de la pantalla táctil.

### **Capacitivas**

Una pantalla táctil capacitiva está cubierta con un material, habitualmente óxido de indio y estaño que conduce una corriente eléctrica continua a través del sensor. El sensor por tanto muestra un campo de electrones controlado con precisión tanto en el eje vertical como en el horizontal, es decir, adquiere capacitancia. El cuerpo humano también se puede considerar un dispositivo eléctrico en cuyo interior hay electrones, por lo que también dispone de capacitancia. Cuando el campo de capacitancia normal del sensor (su estado de referencia) es alterado por otro campo de capacitancia, como puede ser el dedo de una persona, los circuitos electrónicos situados en cada esquina de la pantalla miden la 'distorsión' resultante en la onda senoidal característica del campo de referencia y envía la información acerca de este evento al controlador para su procesamiento matemático. Los sensores capacitivos deben ser tocados con un dispositivo conductivo en contacto directo con la mano o con un dedo, al contrario que las

pantallas resistivas o de onda superficial en las que se puede utilizar cualquier objeto. Las pantallas táctiles capacitivas no se ven afectadas por elementos externos y tienen una alta claridad, pero su complejo procesamiento de la señal hace que su coste sea elevado.

### **Infrarrojos**

Las pantallas táctiles por infrarrojos consisten en una matriz de sensores y emisores infrarrojos horizontales y verticales. En cada eje los receptores están en el lado opuesto a los emisores de forma que al tocar con un objeto la pantalla se interrumpe un haz infrarrojo vertical y otro horizontal, permitiendo de esta forma localizar la posición exacta en que se realizó el contacto. Este tipo de pantallas son muy resistentes por lo que son utilizadas en muchas de las aplicaciones militares que exigen una pantalla táctil.

### **Imagen Óptica**

Es un desarrollo relativamente moderno en la tecnología de pantallas táctiles, dos o más sensores son situados alrededor de la pantalla, habitualmente en las esquinas. Emisores de infrarrojos son situados en el campo de vista de la cámara en los otros lados de la pantalla. Un toque en la pantalla muestra una sombra de forma que cada par de cámaras puede triangular las imágenes para localizar el punto de contacto. Esta tecnología está ganando popularidad debido a su escalabilidad, versatilidad y asequibilidad, especialmente para pantallas de gran tamaño.

### **Tecnología de Señal Dispersiva**

Introducida en el año 2002, este sistema utiliza sensores para detectar la energía mecánica producida en el cristal debido a un toque. Unos algoritmos complejos se encargan de interpretar esta información para obtener el punto exacto del contacto. Esta tecnología es muy resistente al polvo y otros elementos externos, incluidos arañazos. Como no hay necesidad de elementos adicionales en la

pantalla también proporciona unos excelentes niveles de claridad. Por otro lado, como el contacto es detectado a través de vibraciones mecánicas, cualquier objeto puede ser utilizado para detectar estos eventos, incluyendo el dedo o uñas. Un efecto lateral negativo de esta tecnología es que tras el contacto inicial el sistema no es capaz de detectar un dedo u objeto que se encuentre parado tocando la pantalla.

### **Reconocimiento de Pulso Acústico**

Introducida en el año 2006, estos sistemas utilizan cuatro transductores piezoeléctricos situados en cada lado de la pantalla para convertir la energía mecánica del contacto en una señal electrónica. Esta señal es posteriormente convertida en una onda de sonido, la cual es comparada con el perfil de sonido preexistente para cada posición en la pantalla. Este sistema tiene la ventaja de que no necesita ninguna malla de cables sobre la pantalla y que la pantalla táctil es de hecho de cristal, proporcionando la óptica y la durabilidad del cristal con el que está fabricada. También presenta las ventajas de funcionar con arañazos y polvo sobre la pantalla, de tener unos altos niveles de precisión y de que no necesita ningún objeto especial para su utilización. (Bibliografía ítem 15)

### **Ergonomía**

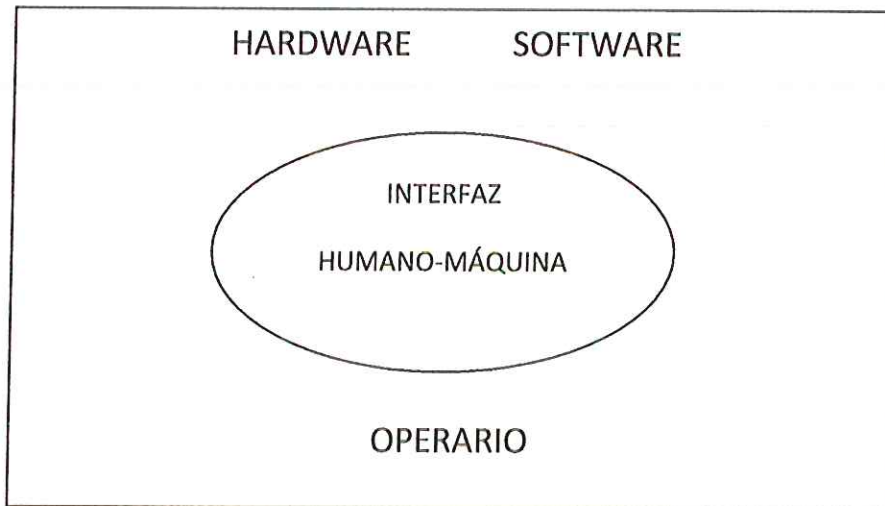
Respecto a la ergonomía, un problema que se presenta a menudo en las pantallas táctiles es que los dedos se cansan cuando el usuario utiliza el dispositivo durante un tiempo prolongado, sobre todo cuando es necesaria una presión significativa sobre la pantalla y además esta no es flexible. Se puede aliviar este problema con el uso de un lapicero u otro dispositivo similar, aunque en algunas situaciones la introducción de estos elementos puede resultar problemática (por ejemplo en quioscos públicos).



## 1.4 SOFTWARE

### 1.4.1 INTERFACE HMI

Un ordenador ayudado de un sistema de información consiste en tres principales componentes: hardware, software y usuario. La interacción de estos componentes es una de las más importantes partes del sistema: el interfaz hombre-máquina.



**Figura 15: Ubicación en el sistema de interacción Hombre-Máquina**

**La interfaz humano máquina es un puente entre el usuario, y los dispositivos mecánicos y electrónicos.**

(Fuente: Autores)

El interfaz hombre-máquina es un canal comunicativo entre el usuario y el ordenador.

Es decir, cuando el sistema esta automatizado el hombre no interviene físicamente en el proceso para controlarlo, sino que gracias a la HMI puede hacer el control desde un PC mediante una interface virtual en la cual se visualiza y/o se actúa sobre cada proceso y su variable.

#### 1.4.1.2 WINCC FLEXIBLE

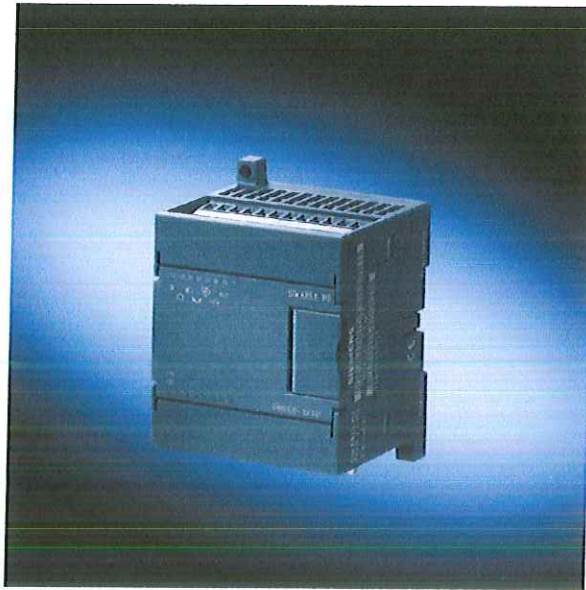
SIMATIC HMI (Human Machine Interface) tiene dos familias de software.

SIMATIC WinCC flexible: software de Manejo y visualización a pie de máquina y a pie de proceso. Este sistema es ejecutable en Windows, y está diseñado para todas las aplicaciones a pie de máquina en el ámbito de la construcción de maquinaria, maquinaria de serie e instalaciones. La gama de paneles de mando abarca desde los Micro Panels, que están pensados para aplicaciones con controladores SIMATIC S7-200, hasta soluciones locales con SIMATIC Panel PC o PC.

WinCC maneja varias herramientas de configuración: librerías con objetos preprogramados, bloques gráficos reutilizables, herramientas inteligentes, y la traducción de textos automatizada para proyectos multilingües. La funcionalidad de runtime disponible en los equipos SIMATIC depende de la clase a la que pertenece cada equipo.

Los conceptos basados en los denominados Sm@rtClient/Server permiten un acceso desde toda la instalación a variables e imágenes, estaciones de operador distribuidas, así como el manejo remoto y el diagnóstico a través de la web, también en conexión con paneles SIMATIC.

## 1.4.2 SIWAREX MS



**Figura 16: Módulo Siwarex MS**

**La figura visualiza la interface de comunicación entre la celda de carga y el PLC**

(Fuente: Siemens)

SIWAREX MS es un módulo de pesaje universal para implementar aplicaciones de pesaje automatizadas o monitoreadas electrónicamente.

En SIMATIC ST-200 se pueden formar, junto con SIWAREX MS, sistemas modulares y programables de pesaje con una o varias básculas, que se adaptan a discreción a los requisitos inherentes al servicio. Con la ventaja de que se puede ampliar el sistema, integrando otras básculas mediante la reutilización de los ajustes de una báscula ya instalada. En el CD de instalación de la herramienta SIWATOOL MS, se encuentra un proyecto predeterminado para configurar una báscula, que ayudó para configurar los módulos usados en el sistema de tolva-báscula para la dosificación de Fibratex.

La tarea primordial de SIWAREX MS consiste en medir la tensión en los transductores de pesaje y traducirla en un valor de peso. Además de medir el

peso, SIWAREX MS permite monitorizar dos valores límite parametrizables (a elegir mín./máx.) y , en caso de rebasarse, lo notifica a la CPU SIMATIC.

Por otro lado, los módulos se pueden reemplazar sin que ello suponga tener que recalibrar.

SIWAREX MS dispone de dos interfaces serie:

- **Interfaz TTY** para conexión de visualizadores remotos digitales
- **Interfaz RS 232** para conexión de un PC para parametrizar SIWAREX MS

SIWAREX MS se integra en el software del sistema de automatización por medio de STEP 7-Micro/WIN. Con el software SIWATOOL MS se pueden ajustar los módulos de pesaje SIWAREX por medio de una interfaz Windows. En el modo en línea se pueden localizar errores en el sistema con las opciones de diagnóstico de SIWATOOL MS.

## 2.1 ESTADO DEL ARTE

Actualmente en el mercado existe un sin número de empresas dedicadas al diseño de estos sistemas para las empresas manufactureras de productos varios que van desde los sólidos hasta los gases en sus diferentes formas y presentaciones.

A continuación se mencionaran algunas de estas empresas y algunos de sus sistemas:



**Figura 17: Algunos fabricantes mundiales de sistemas de dosificación y empaçado**

**La figura visualiza algunos de los fabricantes a nivel mundial de estos sistemas.**

(Fuente: <http://www.directindustry.es/>)



**Figura 18: Sistemas de Pesaje y empaquetado que se encuentran en el mercado.  
La figura visualiza algunos de los sistemas existentes.**

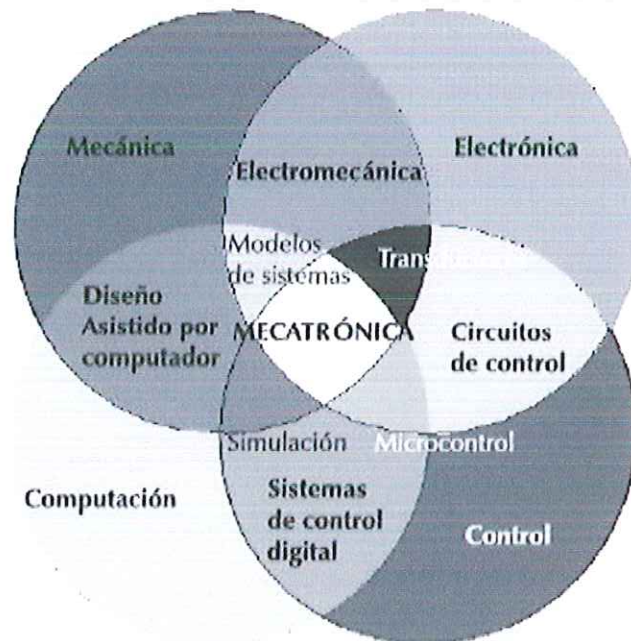
(Fuente: <http://www.directindustry.es/>)

En el mercado se encuentra una gran variedad de estos sistemas para líquidos viscosos y no viscosos, sólidos en forma de polvo y granos y para productos en estado gaseosos; pero actualmente, no se encuentra en el mercado un sistema para el producto objeto de la práctica que se documenta en este libro.

### 3. DISEÑO MECATRÓNICO

La ingeniería mecatrónica orgullosamente se diferencia de otras ramas de la ingeniería, pues tiene una naturaleza sinérgica, y fue concebida como una integración de disciplinas que la hacen única, y capaz de atender a los requerimientos que exigen los problemas que se presentan en la industria.

A continuación se presenta el conocido diagrama de la integración de disciplinas de la ingeniería mecatrónica, que muestra cómo ésta ingeniería toma de varios aspectos de la ingeniería elementos para constituirse, y como se integran para lograr soluciones óptimas a los problemas de la ingeniería, según Córdoba [8]:



**Figura 19: Diagrama de integración de la ingeniería Mecatrónica**

**La figura visualiza la integración de conocimientos de la ingeniería mecatrónica.**

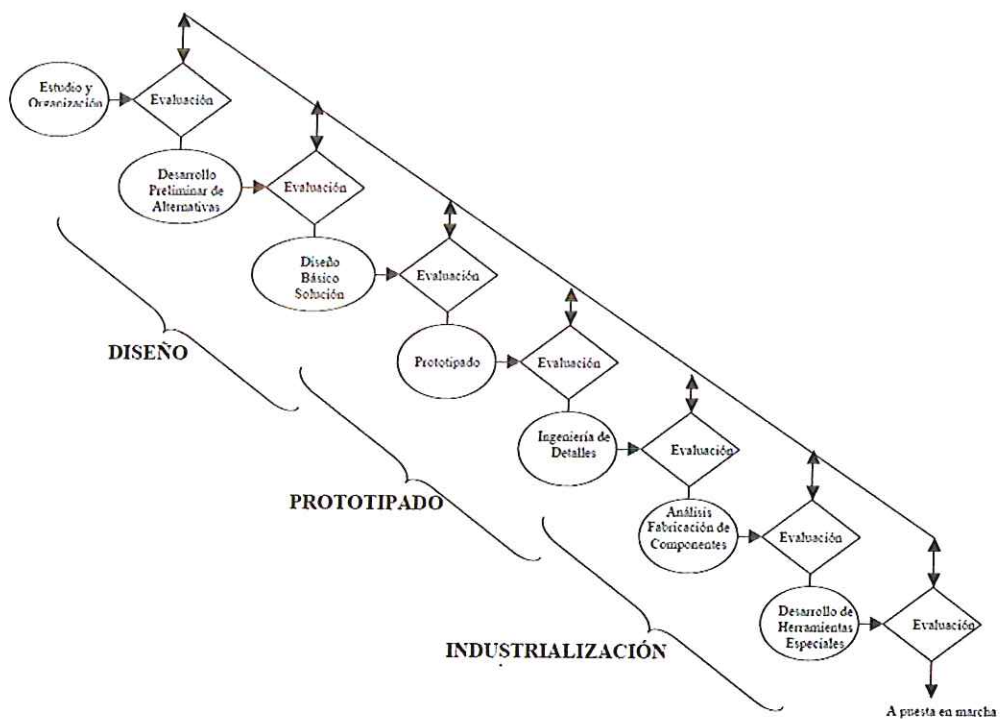
(Fuente: CÓRDOBA, ERNESTO.) – Bibliografía ítem 8

La integración de disciplinas no es algo nuevo, y en la actualidad es muy común que los ingenieros de una rama especializada del campo (mecánicos, electrónicos, de sistemas), vean algunos conceptos de otras disciplinas de la ingeniería, pues ahora el diseño integrado es la meta y una condición de las soluciones tecnológicas; se busca que las soluciones de ingeniería logren una sinergia, en la cual se refleje un organismo viviente, en el cual, cada componente, cada pieza del sistema, trabaja en armonía con el resto del sistema para lograr la máxima efectividad y un óptimo funcionamiento.



Como cualquier proceso de diseño, en la mecatrónica se lleva a cabo un proceso iterativo, que refleja al método científico, donde, a partir de un fenómeno observado se extrae una hipótesis, la cual se prueba, y si ésta resulta ser verdadera, se convierte en una tesis o conclusión, y se realizan observaciones a partir de esta. Si la hipótesis no puede ser comprobada, o resulta errónea, se explica por qué fue errónea si es posible, y se vuelve a la etapa de observación, para extraer una nueva hipótesis a ser evaluada.

De manera similar, en el proceso de diseño de ingeniería mecatrónica existe una naturaleza iterativa en cada paso del proceso, desde el diseño conceptual de la solución, pasando por la construcción de prototipos y terminando en la puesta en marcha de la solución terminada, en cualquier momento se puede retroceder al paso anterior, o incluso varios pasos, para atender a variables que se presenten en el proceso, y que no se hayan notado antes por cualquier motivo.



**Figura 20: Esquema del diseño en cascada en forma de diagrama de flujo**

**La figura muestra las 3 etapas del diseño mecatrónico y su naturaleza iterativa, mediante un diagrama de flujo**

(Fuente: Chiang, Luciano) Bibliografía Ítem 5

De acuerdo con la figura 20, se puede observar que el diseño mecatrónico está "dividido" en tres etapas, aunque el inicio y final de estas etapas se desvanecen en la siguiente y la anterior, por la misma naturaleza del diseño: Según Chiang [5], el proceso inicia con el diseño conceptual de la solución, donde se idea como va a ser el producto final, a partir de los parámetros que se han provisto (limitaciones tecnológicas, de dimensiones y/o de consumo de energía, presupuesto, etc.; aplicación de un método específico de manufactura, un estándar de comunicación, entre otros), y se sientan las bases para la siguiente fase.

El proceso continúa con el prototipado, que incluye la construcción y prueba de la solución, ciñéndose a lo propuesto en el diseño en la mayor medida posible. Teniendo el prototipo, se somete a pruebas para demostrar su validez y verificar si se puede pasar a la siguiente fase, y según los resultados de estas pruebas, se hacen cambios al prototipo para optimizar su funcionamiento y eliminar posibles inconvenientes.

La parte final del proceso consiste en la industrialización del producto, en la cual se definen los procesos que van a intervenir en la fabricación del producto que se ha concebido, y como se hará el montaje para que su construcción sea lo más eficiente y barata posible, sin comprometer la calidad del producto. En esta etapa es importante que la solución esté ceñida a estándares de producción y calidad, de manera que no sea difícil diseñar un proceso de construcción alrededor del producto, y que las partes sean fácilmente intercambiables.

En el rediseño del sistema de pesaje y empaquetado, se encaminó el diseño del proceso completamente alrededor del material que se trabaja, y en base a las propiedades de éste, se buscaron los mecanismos que funcionaran mejor, y se probaron las hipótesis que se extrajeron de observar el comportamiento del material.

El procedimiento que se siguió para diseñar la tolva de empaquetamiento de fibra, comenzó con la caracterización del material, determinando sus propiedades mecánicas de este mediante experimentos que se hicieron con varias muestras de material, y cuyos datos y resultados se incluyen en las siguientes páginas de este informe; se continuó determinando qué mecanismo es más efectivo para el empaquetamiento del material, pues hay diferentes formas en que se puede lograr el mismo resultado, y existen limitaciones dadas por las condiciones iniciales del proyecto, que se explican en el apartado “parámetros del proyecto” en este libro; después, teniendo definido el mecanismo que se utilizará, y con un diseño mecánico ya en proceso, se observó qué variables puede tener el proceso, y se determinó una estrategia de control apropiada para llevar a cabo el proceso con mínima intervención de un operario.

Con todo lo anterior ya cubierto, se procedió a crear una interfaz de operación, de manera que el operario tenga todos los datos que necesite a su alcance y pueda manipular la máquina con facilidad. Los dispositivos y/o elementos dimensionados y seleccionados para este diseño, fueron la base para el diseño mecánico del sistema. Cabe resaltar que estos componentes se enumerarán en la sección de diseño electrónico, pero, estando fuera del alcance de este proyecto, no se entrará en detalle en su funcionamiento o características.

En todo este proceso, se han tenido en cuenta, tanto la comodidad como la seguridad del operario y cualquier persona que entre en contacto con el sistema, además se buscó que la máquina fuera lo más modular y fácil de montar o desmontar posible, de manera que sea fácilmente transportable a cualquier lugar donde sea necesario utilizarla.

Otro punto que es importante notar es que, debido a que se ha tratado de hacer la máquina de fácil servicio y reparación, no se han añadido circuitos “hechos en casa” (diseñados directamente por el equipo), sino que se han seleccionado alrededor de las necesidades que tiene el sistema en el aspecto de control, de

manera que si algún componente llega a fallar, el usuario del sistema sólo tenga que llamar al fabricante del componente, y pida un servicio técnico o un reemplazo si éste es necesario. Por esta razón, resultó conveniente fusionar el diseño electrónico con el de control, por la relación que existe entre los dos aspectos en este proyecto.

En lo mencionado más arriba, esa combinación de disciplinas que se presenta refleja la naturaleza interdisciplinaria de la ingeniería mecatrónica; la búsqueda de soluciones a los problemas, no solo desde el aspecto físico, o una variante de control, o a través de un sistema electrónico, desarrollados independientemente y después mezclados, sino, una visión holística del problema, que tome en cuenta todas las características desde un principio, de manera que el sistema resultante sea una solución más eficiente, económica y efectiva al problema, que no sufre las limitaciones que tienen las soluciones diseñadas independientemente, sin tener en cuenta los diferentes aspectos que están involucrados en el problema.

En el caso de la solución que se concibió en el proyecto de tolva-báscula para pesaje y empaclado de fibra, las tres etapas del proceso de diseño mecatrónico - (Figura 20)- estuvieron presentes, ya fuera en menor o mayor medida, desde el comienzo. El parámetro más importante a tener en cuenta fueron las características mecánicas de la fibra que se empaqueta, pues es esta la que define qué mecanismos se pueden utilizar, y determina el grado de dificultad del proyecto. Por esta razón, una parte del diseño está dedicado a explicar las características del material, y las pruebas que se ejecutaron para determinarlas.

### **3.1 DISEÑO MECANICO**

Como se mencionó en el apartado anterior, la clave de este proyecto, a diferencia de lo que se pensó al principio, es el material que se empaquetará, pues éste tiene características únicas, que lo hacen extremadamente difícil de dosificar y

FIBRATEX	
PRUEBA DE COMPRESION	
PESO (gr):	300
LONGITUD:	3/4"
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)	2
PESO TAPA (Kg)	1,1
ALTURA INICIAL (Cm)	16
# MUESTRA	ALTURA COMPRIMIDA [Cm]
1	13,8
2	14,4
3	15
4	14,5
5	15,2
6	14,7
7	14
8	15,1
9	14,9
10	14,8
PROMEDIO [Cm]	14,64
ALT. COMP. PROM [Cm]	1,36
% COMPRIMIDO	9,29

FIBRATEX	
PRUEBA DE COMPRESION	
PESO (gr):	600
LONGITUD:	3/4"
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)	2
PESO TAPA (Kg)	1,1
ALTURA INICIAL (Cm)	30
# MUESTRA	ALTURA COMPRIMIDA [Cm]
1	25,3
2	23,8
3	23,9
4	24,6
5	24,4
6	24,2
7	24,7
8	25,2
9	25,3
10	25,6
PROMEDIO [Cm]	24,7
ALT. COMP. PROM [Cm]	5,3
% COMPRIMIDO	21,46

**TABLA 3: resultados de las pruebas de compresión con 300 gr y 600 gr de fibra, usando una masa de compresión de 2 kg.**

FIBRATEX	
PRUEBA DE COMPRESION	
PESO (gr):	300
LONGITUD:	3/4"
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)	3
PESO TAPA (Kg)	1,1
ALTURA INICIAL (Cm)	16
# MUESTRA	ALTURA COMPRIMIDA [Cm]
1	13,6
2	13,4
3	13,5
4	13,1
5	13,8
6	13,5
7	13,2
8	13,9
9	13,6
10	14,3
PROMEDIO [Cm]	13,59
ALT. COMP. PROM [Cm]	2,41
% COMPRIMIDO	17,73

FIBRATEX	
PRUEBA DE COMPRESION	
PESO (gr):	600
LONGITUD:	3/4"
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)	3
PESO TAPA (Kg)	1,1
ALTURA INICIAL (Cm)	30
# MUESTRA	ALTURA COMPRIMIDA [Cm]
1	23,2
2	23,6
3	23,6
4	23,1
5	23,5
6	22,9
7	22,3
8	22,9
9	23,3
10	23,7
PROMEDIO [Cm]	23,21
ALT. COMP. PROM [Cm]	6,79
% COMPRIMIDO	29,25

**TABLA 4: resultados de las pruebas de compresión con 300 gr y 600 gr de fibra, usando una masa de compresión de 3 kg.**

FIBRATEX	
PRUEBA DE COMPRESION	
PESO (gr):	300
LONGITUD:	3/4"
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)	4
PESO TAPA (Kg)	1,1
ALTURA INICIAL (Cm)	16
# MUESTRA	ALTURA COMPRIMIDA [Cm]
1	12,2
2	13,3
3	12,7
4	12,6
5	12,8
6	13,3
7	12,7
8	12,3
9	12,4
10	12,9
PROMEDIO [Cm]	12,72
ALT. COMP. PROM [Cm]	3,28
% COMPRIMIDO	25,79

FIBRATEX	
PRUEBA DE COMPRESION	
PESO (gr):	600
LONGITUD:	3/4"
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)	4
PESO TAPA (Kg)	1,1
ALTURA INICIAL (Cm)	30
# MUESTRA	ALTURA COMPRIMIDA [Cm]
1	22,8
2	21,1
3	21
4	20,8
5	21,4
6	21,5
7	22,2
8	21,5
9	21
10	21,4
PROMEDIO [Cm]	21,47
ALT. COMP. PROM [Cm]	8,53
% COMPRIMIDO	39,73

**TABLA 5: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION CON 300 gr Y 600 gr DE FIBRA, USANDO UNA MASA DE COMPRESION DE 4 Kg.**

FIBRATEX	
PRUEBA DE COMPRESION	
PESO (gr):	300
LONGITUD:	3/4"
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)	5
PESO TAPA (Kg)	1,1
ALTURA INICIAL (Cm)	16
# MUESTRA	ALTURA COMPRIMIDA [Cm]
1	12,2
2	12
3	11,7
4	12,2
5	11,8
6	11,9
7	11,5
8	11,6
9	11,7
10	11,3
PROMEDIO [Cm]	11,79
ALT. COMP. PROM [Cm]	4,21
% COMPRIMIDO	35,71

FIBRATEX	
PRUEBA DE COMPRESION	
PESO (gr):	600
LONGITUD:	3/4"
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)	5
PESO TAPA (Kg)	1,1
ALTURA INICIAL (Cm)	30
# MUESTRA	ALTURA COMPRIMIDA [Cm]
1	19,1
2	20,5
3	20,3
4	19,8
5	18,3
6	19
7	18,4
8	19,2
9	18,8
10	18,9
PROMEDIO [Cm]	19,23
ALT. COMP. PROM [Cm]	10,77
% COMPRIMIDO	56,01

**TABLA 6: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION CON 300 gr Y 600 gr DE FIBRA, USANDO UNA MASA DE COMPRESION DE 5 Kg.**



FIBRATEX	
PRUEBA DE COMPRESION	
PESO (gr):	300
LONGITUD:	3/4"
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)	6
PESO TAPA (Kg)	1,1
ALTURA INICIAL (Cm)	16
# MUESTRA	ALTURA COMPRIMIDA [Cm]
1	11
2	11,4
3	12,2
4	11,7
5	11,6
6	11,3
7	11
8	11,6
9	11,2
10	11
PROMEDIO [Cm]	11,4
ALT. COMP. PROM [Cm]	4,6
% COMPRIMIDO	40,35

FIBRATEX	
PRUEBA DE COMPRESION	
PESO (gr):	600
LONGITUD:	3/4"
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)	6
PESO TAPA (Kg)	1,1
ALTURA INICIAL (Cm)	30
# MUESTRA	ALTURA COMPRIMIDA [Cm]
1	18
2	18,5
3	17,8
4	18,7
5	19
6	19,7
7	19,6
8	19,6
9	20,3
10	18,8
PROMEDIO [Cm]	19
ALT. COMP. PROM [Cm]	11
% COMPRIMIDO	57,89

**TABLA 7: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION CON 300 gr Y 600 gr DE FIBRA, USANDO UNA MASA DE COMPRESION DE 6 Kg.**

FIBRATEX	
PRUEBA DE COMPRESION	
PESO (gr):	300
LONGITUD:	3/4"
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)	7
PESO TAPA (Kg)	1,1
ALTURA INICIAL (Cm)	16
# MUESTRA	ALTURA COMPRIMIDA [Cm]
1	10,6
2	10,1
3	10,6
4	10,5
5	10,6
6	11
7	12
8	10,6
9	10,6
10	10,6
PROMEDIO [Cm]	10,72
ALT. COMP. PROM [Cm]	5,28
% COMPRIMIDO	49,25

FIBRATEX	
PRUEBA DE COMPRESION	
PESO (gr):	600
LONGITUD:	3/4"
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)	7
PESO TAPA (Kg)	1,1
ALTURA INICIAL (Cm)	30
# MUESTRA	ALTURA COMPRIMIDA [Cm]
1	18,9
2	17
3	18,8
4	19,5
5	19,6
6	18,6
7	19,7
8	20,5
9	19,3
10	19,6
PROMEDIO [Cm]	19,15
ALT. COMP. PROM [Cm]	10,85
% COMPRIMIDO	56,66

**TABLA 8: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION CON 300 gr Y 600 gr DE FIBRA, USANDO UNA MASA DE COMPRESION DE 7 Kg.**

FIBRATEX	
PRUEBA DE COMPRESION	
PESO (gr):	300
LONGITUD:	3/4"
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)	8
PESO TAPA (Kg)	1,1
ALTURA INICIAL (Cm)	16
# MUESTRA	ALTURA COMPRIMIDA [Cm]
1	9,4
2	10
3	9,7
4	9,8
5	10,8
6	9,9
7	9,5
8	9,8
9	9,6
10	10,5
PROMEDIO [Cm]	9,9
ALT. COMP. PROM [Cm]	6,1
% COMPRIMIDO	61,62

FIBRATEX	
PRUEBA DE COMPRESION	
PESO (gr):	600
LONGITUD:	3/4"
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)	8
PESO TAPA (Kg)	1,1
ALTURA INICIAL (Cm)	30
# MUESTRA	ALTURA COMPRIMIDA
1	18,7
2	18,2
3	19,3
4	19
5	19,3
6	18
7	19
8	17,6
9	17,6
10	19,3
PROMEDIO [Cm]	18,6
ALT. COMP. PROM [Cm]	11,4
% COMPRIMIDO	61,29

**TABLA 9: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION CON 300 gr Y 600 gr DE FIBRA, USANDO UNA MASA DE COMPRESION DE 8 Kg.**

MASA: 300gr; LONGITUD: 3/4"											
Kg	AREA [cm <sup>2</sup> ]	MASA FIBRA [g]	VOLUMEN INICIAL [cm <sup>3</sup> ]	DENSIDAD INICIAL [g/cm <sup>3</sup> ]	VOLUMEN FINAL [cm <sup>3</sup> ]	DENSIDAD FINAL [g/cm <sup>3</sup> ]	PRESION [Kg/cm <sup>2</sup> ]	ALTURA (Cm) INICIAL PROMEDIO	ALTURA (Cm) COMPRIMIDA PROMEDIO	% COMPRIMIDO - ALTURA INICIAL	% COMPRIMIDO - VOLUMEN
1	891	300	14256	0,0210	12296	0,0244	0,0011	14,2	1,78	12,52	15,94
2	891	300	14256	0,0210	12831	0,0234	0,0022	14,6	1,36	9,29	11,11
3	891	300	14256	0,0210	12118	0,0248	0,0034	13,6	2,41	17,73	17,65
4	891	300	14256	0,0210	12029	0,0249	0,0045	12,7	3,28	25,79	18,52
5	891	300	14256	0,0210	12920	0,0232	0,0056	11,8	4,21	35,71	10,34
6	891	300	14256	0,0210	12742	0,0235	0,0067	11,4	4,6	40,35	11,89
7	891	300	14256	0,0210	13187	0,0227	0,0079	10,7	5,28	49,25	8,11
8	891	300	14256	0,0210	12563	0,0239	0,0090	9,9	6,1	61,62	13,48
PROM GEN.	891	300	14256	0,0210	12586	0,0239	0,0051	12,4	3,6	31,53	13,38

**TABLA 10: PARÁMETROS Y RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPRESIBILIDAD CON 300 gr DE FIBRA**

**La tabla visualiza los resultados promedios obtenidos en las pruebas de compresión mencionadas anteriormente y el promedio general como datos finales para masa de 300 gr.**

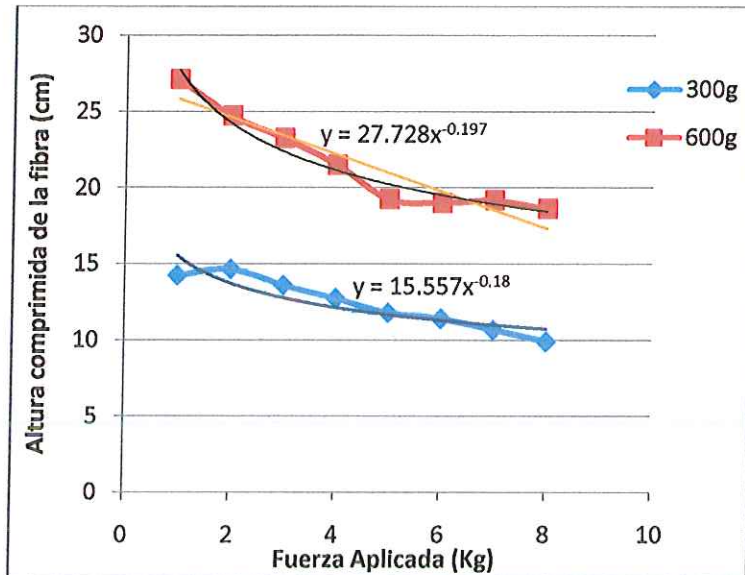
DENSIDAD INICIAL PROM. 300 gr $\frac{3}{4}$ "	0,0210433 [g/cm <sup>3</sup> ]
DENSIDAD FINAL PROM. 300 gr $\frac{3}{4}$ "	0,0238588 [g/cm <sup>3</sup> ]
VOLUMEN INICIAL PROM. 300 gr $\frac{3}{4}$ "	14256, 32 [cm <sup>3</sup> ]
VOLUMEN FINAL PROM. 300 gr $\frac{3}{4}$ "	12585, 658 [cm <sup>3</sup> ]
PRESION PROM. 300 gr $\frac{3}{4}$ "	0,0050504 [Kg/cm <sup>2</sup> ]

**Tabla 12: Datos finales obtenidos para una masa de 300gr**

DENSIDAD INICIAL PROM. 600 gr $\frac{3}{4}$ "	0,0224462 [g/cm <sup>3</sup> ]
DENSIDAD FINAL PROM. 600 gr $\frac{3}{4}$ "	0,0372435 [g/cm <sup>3</sup> ]
VOLUMEN INICIAL PROM. 600 gr $\frac{3}{4}$ "	26730, 6 [cm <sup>3</sup> ]
VOLUMEN FINAL PROM. 600 gr $\frac{3}{4}$ "	23935, 025 [cm <sup>3</sup> ]
PRESION PROM. 600 gr $\frac{3}{4}$ "	0,0050504 [Kg/cm <sup>2</sup> ]

**Tabla 13: Datos finales obtenidos para una masa de 600gr**

Se puede ver que la compresión del material fue aproximadamente de 10%, utilizando el máximo peso muerto disponible (8Kg).



**Gráfico 1: Peso ejercido VS distancia para los pesos probados**

*En este gráfico se observa la tendencia de compresión de la fibra con respecto a la fuerza aplicada en un ambiente controlado.*

De las pruebas de compresión se obtuvieron las siguientes ecuaciones que caracterizan el comportamiento del material en cuanto a la distancia comprimida (Y) cuando se le aplica una presión (X).

$$Y = 15.557x^{-0.18}$$

ECUACION 1: COMPRESION PARA 300 gr

$$Y = 27.728x^{-0.197}$$

ECUACION 2: COMPRESION PARA 600 gr

Estas ecuaciones son de tipo exponencial, porque el material, a medida que aumenta el grado de compresión, aumenta también su resistencia a seguir siendo comprimido, por lo cual no se puede modelar como una ecuación lineal.

Con estas alturas, sabiendo que el área del cubo se mantendrá constante, se puede calcular el porcentaje de compresión del material, utilizando la altura calculada como una de las aristas de la ecuación de un prisma:

$$V = Lx \times AxH$$

ECUACION 3: volumen del solido

Donde L corresponde a largo, A a ancho, y H a altura; H es la variable en esta ecuación.

Sabiendo que la compresión a la que se desea llegar es del 35% en volumen para todas las bolsas, y conociendo el volumen inicial de la fibra ( $V_0$ ), se puede calcular el volumen que necesitamos ( $V_{req}$ ), y por consiguiente, la altura a la que se debe llegar con la acción de compresión ( $H_{req}$ ):

Para 300gr:

$$V_0 = 14250 \text{ cm}^3$$

$$V_{req} = V_0 \times 65\% = 9262 \text{ cm}^3$$

$$V = L \times A \times H;$$

Si  $V = V_{req}$ , entonces:

$$H_{req} = 9262 \text{ cm}^3 / 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} = 10.3 \text{ cm}$$

Si se tiene que la altura inicial en las pruebas, ( $H_0$ ), fue en promedio de 16cm, entonces:

$$\text{Compresión [\%]} = (H_0 - H_{req}) \times 100 / H_0 = (16 - 10.3) \times 100 / 16 = 35\%$$

Para 600gr:

$$V_0 = 26730 \text{ cm}^3$$

$$V_{req} = V_0 \times 65\% = 17374 \text{ cm}^3$$

$$H_{req} = 17374 / 30 \times 30 = 19.03 \text{ cm}$$

Compresión [%]=(27-19)x100/27=29%

Es decir, se requiere una compresión en un solo eje de 32% en promedio.

Para eliminar el componente de error por histéresis en la mayor medida posible, se automatizó el experimento, utilizando un pistón neumático a diferentes presiones, conectado a un mecanismo simple para aumentar la carrera total en una relación de 1:3, y se hicieron las mismas pruebas.

### **3.1.1.2 PRUEBA DE COMPRESION Y RECUPERACION MEDIANTE UN SISTEMA NEUMATICO – MECANICO**

Esta prueba consiste en tomar dos muestras de FIBRATEX de diferente peso (600 gr y 1000 gr) y depositarla dentro de una caja de madera (30 x 29,8 x 29,9), de tal forma que quede a una altura determinada uniforme promedio X1, y posteriormente, mediante el mecanismo de barra, el pistón generará una fuerza sobre la tapa, y esta a su vez, una presión sobre el material para comprimirlo una distancia X2. Luego, se libera la presión en el sistema y se dejar libre la fibra durante un minuto y se registra la altura X3 a la cual el material se recuperó.

La presión para las pruebas oscila desde los 4 bar hasta 9,5 bar.

Mediante esta prueba se calcula qué tanto se comprime y se recupera el material y este resultado se registra en porcentajes.

A continuación se muestra el mecanismo que se utilizó; se trata de un simple mecanismo de palanca, en el que el fulcro se encuentra puesto como pivote, de manera que la distancia recorrida en el lado que tiene el pistón se multiplica en el lado al que se le colocó la prensa; de esta manera, se tiene una distancia más



grande, sin embargo, se pierde fuerza en una relación igual a la ganancia de recorrido. Este mecanismo se diseñó para una ganancia de 1:3, lo que quiere decir que la prensa se mueve el triple de distancia que el pistón, pero con un tercio de la fuerza.



**Figura 22: Elementos Utilizados En La Prueba De Compresión Mediante Un Sistema Neumático – Mecánico**

(Fuente: Autores)



**Figura 23: Mecanismo Y Circuito Electro-neumático Del Sistema para la prueba de compresión**

**Las figuras muestran el montaje del sistema eléctrico, neumático y mecánico para la prueba de compresión y recuperación del producto**

(Fuente: Autores)

FIBRATEX			DATOS ADQUIRIDOS		% PROM	
PRUEBA DE COMPRESION			% COMPRIMIDO		17,090	
PESO (gr):	600	% RECUPERADO RESPECTO AL COMPRIMIDO			114,59	
LONGITUD:	3/4"	% RECUPERADO RESPECTO AL INICIAL			97,822	
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)		TODAS LAS DISTANCIAS ESTAN DADAS EN [Cm]				
PRESION PISTON (bar)	4					
PESO TAPA (Kg)	1,1					
# MUESTRA	ALTURA (Cm)	30	ALTURA COMPRIMIDA	ALTURA DE RECUPERACION		
1	22,4		19,9	23,5		
2	25,6		21,1	27		
3	25		21,7	22,7		
4	26,7		22,3	23,7		
5	23,2		19,8	22,8		
6	25,7		21,6	24,7		
7	25		21,5	24		
8	24		21	24		
9	26		22,2	26		
10	25,1		21,3	25		
PROMEDIO		24,87	PROMEDIO	21,24	PROMEDIO	24,34
ALT. COMP. PROM			ALT. COMP. PROM	3,63	ALT. COMP. PROM	3,1

**TABLA 14: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 600gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 4 Bar.**

FIBRATEX			DATOS ADQUIRIDOS		% PROM	
PRUEBA DE COMPRESION			% COMPRIMIDO		25,9427	
PESO (gr):	600	% RECUPERADO RESPECTO AL COMPRIMIDO			123,731	
LONGITUD:	3/4"	% RECUPERADO RESPECTO AL INICIAL			98,2121	
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)		TODAS LAS DISTANCIAS ESTAN DADAS EN [Cm]				
PRESION PISTON (bar)	5					
PESO TAPA (Kg)	1,1					
# MUESTRA	ALTURA INICIAL (Cm)	30	ALTURA COMPRIMIDA	ALTURA DE RECUPERACION		
1	24		19,8	24		
2	25,3		20,9	24		
3	24,8		19,6	25,3		
4	22,8		19,3	24,4		
5	24,6		20,7	24,5		
6	25,5		19,6	25,8		
7	26		19,3	25,3		
8	26,1		20,5	25		
9	26,2		20,6	24,5		
10	25,2		18,6	23,3		
PROMEDIO		25,05	PROMEDIO	19,89	PROMEDIO	24,61
ALT. COMP. PROM			ALT. COMP. PROM	5,16	ALT. COMP. PROM	4,72

**TABLA 15: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 600gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 5 Bar.**

FIBRATEX			DATOS ADQUIRIDOS		% PROM	
PRUEBA DE COMPRESION			% COMPRIMIDO		25,8911	
PESO (gr):	600		% RECUPERADO RESPECTO AL COMPRIMIDO		120,842	
LONGITUD:	3/4"		% RECUPERADO RESPECTO AL INICIAL		95,8214	
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)		TODAS LAS DISTANCIAS ESTAN DADAS EN [Cm]				
PRESION PISTON (bar)	6					
PESO TAPA (Kg)	1,1					
# MUESTRA	ALTURA (Cm)	30	ALTURA COMPRIMIDA	ALTURA DE RECUPERACION		
1	25,4		19,6	24,1		
2	25		19,5	24		
3	25		20,5	24,2		
4	25,6		20,5	24,5		
5	25,4		21,2	24,3		
6	26,3		19,7	24,3		
7	26		20,8	25		
8	26		20,2	24,7		
9	25,1		20,7	24,5		
10	24,5		19,3	24,5		
PROMEDIO		25,43	PROMEDIO	20,2	PROMEDIO	24,41
ALT. COMP. PROM			ALT. COMP. PROM	5,23	ALT. COMP. PROM	4,21

**TABLA 16: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 600gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 6 Bar.**

FIBRATEX			DATOS ADQUIRIDOS		% PROM	
PRUEBA DE COMPRESION			% COMPRIMIDO		31,9598	
PESO (gr):	600		% RECUPERADO RESPECTO AL COMPRIMIDO		123,015	
LONGITUD:	3/4"		% RECUPERADO RESPECTO AL INICIAL		92,7288	
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)			TODAS LAS DISTANCIAS ESTAN DADAS EN [Cm]			
PRESION PISTON (bar)	7					
PESO TAPA (Kg)	1,1					
# MUESTRA	ALTURA (Cm)	30	ALTURA COMPRIMIDA	ALTURA DE RECUPERACION		
1	25		19,5	24		
2	26,3		19,4	24,3		
3	26,8		19,8	24,7		
4	25,9		19,2	24,5		
5	26,5		19,5	24,8		
6	26,5		20,4	24,5		
7	26,8		20,2	25,1		
8	26,4		20,3	23,3		
9	26,4		20,4	24,6		
10	26		20,3	25		
PROMEDIO		26,26	PROMEDIO	19,9	PROMEDIO	24,48
ALT. COMP. PROM			ALT. COMP. PROM	6,36	ALT. COMP. PROM	4,58

**TABLA 17: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 600gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 7 Bar.**

FIBRATEX			DATOS ADQUIRIDOS		% PROM	
PRUEBA DE COMPRESION			% COMPRIMIDO		32,9363	
PESO (gr):	600		% RECUPERADO RESPECTO AL COMPRIMIDO		125,427	
LONGITUD:	3/4"		% RECUPERADO RESPECTO AL INICIAL		94,0132	
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)			TODAS LAS DISTANCIAS ESTAN DADAS EN [Cm]			
PRESION PISTON (bar)	8					
PESO TAPA (Kg)	1,1					
# MUESTRA	ALTURA (Cm)	30	ALTURA COMPRIMIDA	ALTURA DE RECUPERACION		
1	25,8		19,8	24,3		
2	25,2		19,4	24,8		
3	25,2		18,4	23,8		
4	26,2		20,2	26		
5	25,4		18,8	23		
6	25,1		18,2	23,4		
7	25,2		20,6	25		
8	27,4		19,2	23,8		
9	25,8		19,2	24,2		
10	25,4		19,3	23,9		
PROMEDIO		25,67	PROMEDIO	19,31	PROMEDIO	24,22
ALT. COMP. PROM			ALT. COMP. PROM	6,36	ALT. COMP. PROM	4,91

**TABLA 18: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 600gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 8 Bar.**

FIBRATEX			DATOS ADQUIRIDOS			% PROM
PRUEBA DE COMPRESION			% COMPRIMIDO			45,2287
PESO (gr):		600	% RECUPERADO RESPECTO AL COMPRIMIDO			133,653
LONGITUD:		3/4"	% RECUPERADO RESPECTO AL INICIAL			91,3392
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)			TODAS LAS DISTANCIAS ESTAN DADAS EN [Cm]			
PRESION PISTON (bar)		9,5				
PESO TAPA (Kg)		1,1				
# MUESTRA	ALTURA (Cm)	30	ALTURA COMPRIMIDA		ALTURA DE RECUPERACION	
1	27,4		17,6		23,4	
2	26		18,2		23,9	
3	25,2		17,7		23,6	
4	25,6		17,7		23,8	
5	25,3		17,7		23,9	
6	25,4		17,5		24,3	
7	25,3		17,7		22,9	
8	25,7		17,7		23,1	
9	25,7		17,7		23,8	
10	25,6		17,6		24	
PROMEDIO		25,72	PROMEDIO	17,71	PROMEDIO	23,67
ALT. COMP. PROM			ALT. COMP. PROM	8,01	ALT. COMP. PROM	5,96

**TABLA 19: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 600gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 9.5 Bar.**

FIBRATEX			DATOS ADQUIRIDOS			% PROM
PRUEBA DE COMPRESION			% COMPRIMIDO			5,13401
PESO (gr):		1000	% RECUPERADO RESPECTO AL COMPRIMIDO			107,059
LONGITUD:		3/4"	% RECUPERADO RESPECTO AL INICIAL			101,798
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)			TODAS LAS DISTANCIAS ESTAN DADAS EN [Cm]			
PRESION PISTON (bar)		4				
PESO TAPA (Kg)		1,1				
# MUESTRA	ALTURA (Cm)	30	ALTURA COMPRIMIDA		ALTURA DE RECUPERACION	
1	28,3		27,1		29,3	
2	28,5		26,2		29,1	
3	28,2		26,5		28,6	
4	27,7		26,8		28,3	
5	27,7		26,5		28,7	
6	27,5		26,5		28,1	
7	27,6		26,7		28,1	
8	27,7		26,1		27,8	
9	27,5		26,3		27,8	
10	27,8		26,2		27,8	
PROMEDIO		27,85	PROMEDIO	26,49	PROMEDIO	28,36
ALT. COMP. PROM			ALT. COMP. PROM	1,36	ALT. COMP. PROM	1,87

**TABLA 20: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 1000gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 4 Bar.**



FIBRATEX			DATOS ADQUIRIDOS		% PROM	
PRUEBA DE COMPRESION			% COMPRIMIDO		9,08376	
PESO (gr):	1000	% RECUPERADO RESPECTO AL COMPRIMIDO		110,145		
LONGITUD:	3/4"	% RECUPERADO RESPECTO AL INICIAL		100,964		
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)		TODAS LAS DISTANCIAS ESTAN DADAS EN [Cm]				
PRESION PISTON (bar)	5					
PESO TAPA (Kg)	1,1					
# MUESTRA	ALTURA (Cm)	30	ALTURA COMPRIMIDA	ALTURA DE RECUPERACION		
1	27,9		25,5	27,8		
2	27,5		25,5	27,5		
3	27,5		25,3	27,5		
4	27,7		25,4	27,3		
5	27,4		25,4	27,3		
6	27		25	27,2		
7	28,5		25,9	29,5		
8	28,2		25,7	29		
9	27,7		25,4	28,5		
10	28		25,2	28,5		
PROMEDIO		27,74	PROMEDIO	25,43	PROMEDIO	28,01
ALT. COMP. PROM			ALT. COMP. PROM	2,31	ALT. COMP. PROM	2,58

**TABLA 21: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 1000gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 5 Bar.**

FIBRATEX			DATOS ADQUIRIDOS		% PROM	
PRUEBA DE COMPRESION			% COMPRIMIDO		10,1362	
PESO (gr):	1000	% RECUPERADO RESPECTO AL COMPRIMIDO		111,338		
LONGITUD:	3/4"	% RECUPERADO RESPECTO AL INICIAL		101,08		
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)		TODAS LAS DISTANCIAS ESTAN DADAS EN [Cm]				
PRESION PISTON (bar)	6					
PESO TAPA (Kg)	1,1					
# MUESTRA	ALTURA (Cm)	30	ALTURA COMPRIMIDA	ALTURA DE RECUPERACION		
1	27,6		24,7	28		
2	28,2		27,3	28,4		
3	28,5		24,3	27,4		
4	27		24,5	27,5		
5	26,8		24,3	27,4		
6	28		25,3	28,5		
7	27,5		24,7	28,2		
8	27,2		24,8	27,8		
9	27,2		25,1	27,3		
10	26,9		24,6	27,4		
PROMEDIO		27,49	PROMEDIO	24,96	PROMEDIO	27,79
ALT. COMP. PROM			ALT. COMP. PROM	2,53	ALT. COMP. PROM	2,83

**TABLA 22: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 1000gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 6 Bar.**

FIBRATEX			DATOS ADQUIRIDOS		% PROM	
PRUEBA DE COMPRESION			% COMPRIMIDO		13,7946	
PESO (gr):		1000	% RECUPERADO RESPECTO AL COMPRIMIDO		113,413	
LONGITUD:		3/4"	% RECUPERADO RESPECTO AL INICIAL		99,6632	
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)			TODAS LAS DISTANCIAS ESTAN DADAS EN [Cm]			
PRESION PISTON (bar)		7				
PESO TAPA (Kg)		1,1				
# MUESTRA	ALTURA (Cm)	30	ALTURA COMPRIMIDA	ALTURA DE RECUPERACION		
1	26,8		23,8	26,2		
2	27,7		23,5	26,4		
3	26,2		23,5	26		
4	27,5		23,9	27,8		
5	27		23,6	27,2		
6	26,8		23,4	27		
7	26,6		23,8	26,9		
8	26,4		23,3	26,8		
9	26,3		23,2	26,6		
10	26,8		23,6	26,3		
PROMEDIO		26,81	PROMEDIO	23,56	PROMEDIO	26,72
ALT. COMP. PROM			ALT. COMP. PROM	3,25	ALT. COMP. PROM	3,16

**TABLA 23: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 1000gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 7 Bar.**

FIBRATEX			DATOS ADQUIRIDOS		% PROM	
PRUEBA DE COMPRESION			% COMPRIMIDO		13,4951	
PESO (gr):		1000	% RECUPERADO RESPECTO AL COMPRIMIDO		114,645	
LONGITUD:		3/4"	% RECUPERADO RESPECTO AL INICIAL		101,003	
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)			TODAS LAS DISTANCIAS ESTAN DADAS EN [Cm]			
PRESION PISTON (bar)		8				
PESO TAPA (Kg)		1,1				
# MUESTRA	ALTURA (Cm)	30	ALTURA COMPRIMIDA	ALTURA DE RECUPERACION		
1	26,5		23,5	26,4		
2	27,5		23,2	26,5		
3	26,7		23,4	26,7		
4	27,8		23,7	27,8		
5	26		23,4	27,7		
6	26,4		23,6	27,2		
7	26,2		23,9	26,6		
8	26,7		23,8	26,9		
9	26,3		23,3	26,7		
10	26,5		23,1	26,8		
PROMEDIO		26,66	PROMEDIO	23,49	PROMEDIO	26,93
ALT. COMP. PROM			ALT. COMP. PROM	3,17	ALT. COMP. PROM	3,44

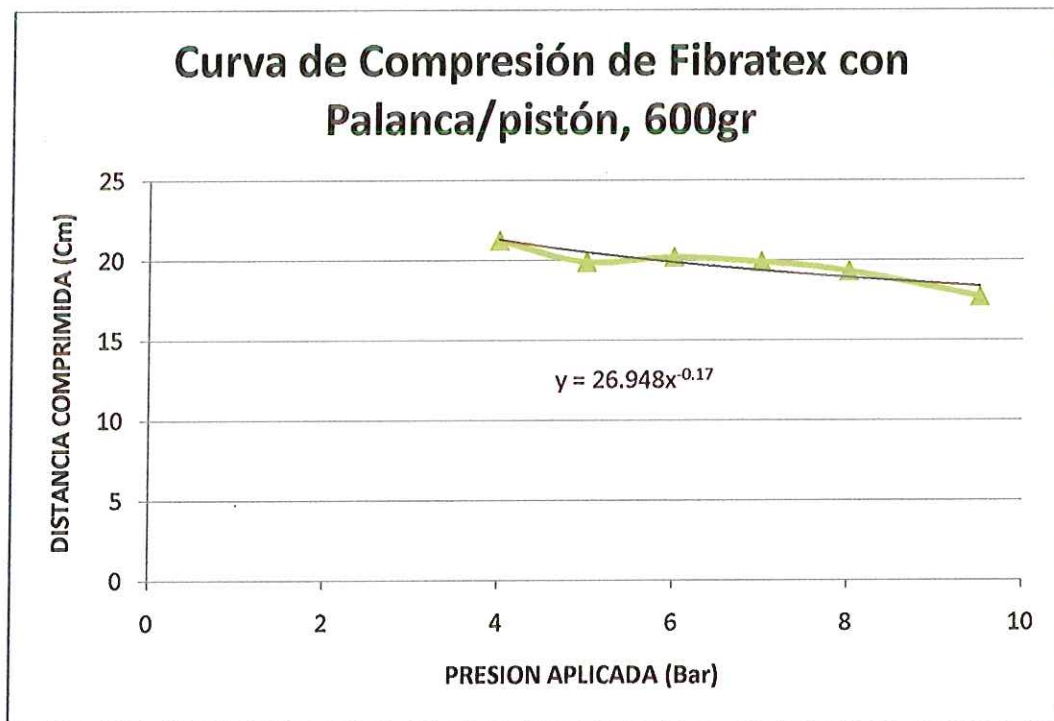
**TABLA 24: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 1000gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 8 Bar.**

FIBRATEX			DATOS ADQUIRIDOS		% PROM	
PRUEBA DE COMPRESION			% COMPRIMIDO		19,9732	
PESO (gr):	1000	% RECUPERADO RESPECTO AL COMPRIMIDO		120,688		
LONGITUD:	3/4"	% RECUPERADO RESPECTO AL INICIAL		100,592		
PESO MUERTO DE COMPRESION (Kg)		TODAS LAS DISTANCIAS ESTAN DADAS EN [Cm]				
PRESION PISTON (bar)	9,5					
PESO TAPA (Kg)	1,1					
# MUESTRA	ALTURA (Cm)	30	ALTURA COMPRIMIDA	ALTURA DE RECUPERACION		
1	27,2		22,8	27,1		
2	27,2		22,3	26,9		
3	26,8		22,5	27,1		
4	27		22,6	27,2		
5	26,9		22,8	27		
6	26,5		22,7	26,8		
7	26,2		21,9	26,5		
8	27		22,1	27,5		
9	26,5		21,7	27,1		
10	27,2		22,4	26,9		
PROMEDIO		26,85	PROMEDIO	22,38	PROMEDIO	27,01
ALT. COMP. PROM			ALT. COMP. PROM	4,47	ALT. COMP. PROM	4,63

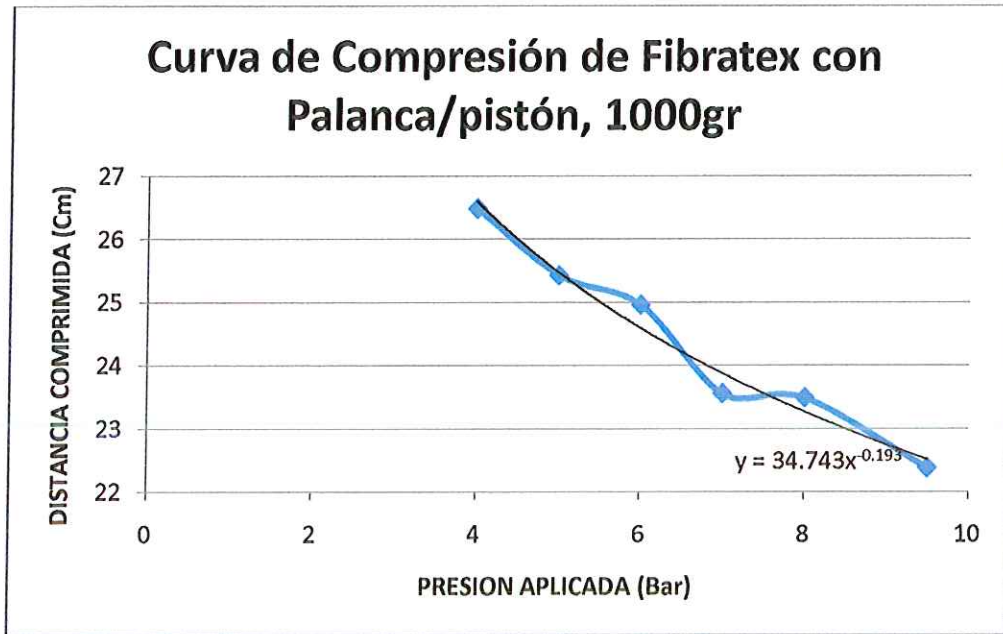
**TABLA 25: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION PARA UNA MASA DE 1000gr CON UNA PRESION EN EL PISTON DE 9.5 Bar.**

En estas tablas se pueden observar, para diferentes presiones aplicadas a la fibra, el grado de compresión en varios intentos por prueba, para buscar una tendencia. De estas tablas se extraen los siguientes datos: el porcentaje de compresión del material en relación a la fuerza ejercida sobre éste, y la capacidad de recuperación en volumen que tiene el material.

En lo que respecta a la compresión del material, se hace lo mismo que en las pruebas con peso muerto: se grafican los promedios de altura comprimida, y a partir de estas curvas, se obtiene una ecuación que refleja la respuesta de este material según se aumenta la fuerza aplicada para intentar comprimirlo.



**Gráfico 2:** curva de respuesta de la fibra, para 600 gr de material, ilustrada en presión vs altura final de la fibra. Eje x: presión aplicada; eje y: altura del material en la caja de compresión



**Gráfico 3:** curva de respuesta de la fibra, para 1000gr de material, ilustrada en presión vs altura final de la fibra. Eje x: presión aplicada; eje y: altura del material en la caja de compresión

En esta prueba no se realizó la evaluación a la masa de 300gr de fibra, pues por ser una cantidad demasiado pequeña, no podía ser comprimida en su totalidad por el mecanismo de palanca, por la forma en que estaba construido.

De las curvas de compresión en los Gráficos 2 y 3, se obtuvieron las siguientes ecuaciones que describen la respuesta del material ante la fuerza de compresión:

$$y = 26.948x^{-0.17}$$

ECUACION 4: COMPRESIÓN DE 600gr

$$y = 34.743x^{-0.193}$$

ECUACION 5: COMPRESIÓN DE 1000gr

Mediante estas ecuaciones, se puede conocer la altura (y) que se alcanzará ejerciendo una fuerza (x), y se puede utilizar para lo contrario, para hallar la fuerza necesaria con el objetivo de comprimir la fibra una distancia definida.

La razón para aproximar a una ecuación exponencial la tendencia de compresión de esta fibra, es porque se observó que, entre más se comprime el producto, más fuerza es necesaria para seguirlo comprimiendo.

Estos son los resultados generales de la prueba, que permiten dar una idea de cómo se comportó la fibra ante las diferentes fuerzas aplicadas. Su mayor utilidad consiste en la observación de la recuperación del material después de ser comprimido:

PROMEDIO GENERAL	[Cm]	PROMEDIO GENERAL	%
ALTURA INICIAL PROMEDIO	27.23333333	% DE COMPRESION	32.6807
ALTURA COMPRIMIDA PROMEDIO	24.385	% RECUPERACION CON RESPECTO A LA ALTURA INICIAL	100.862
RECUPERACION PROMEDIO	27.47	% RECUPERACION CON RESPECTO A LA COMPRESION	112.651

**TABLA 26: PROMEDIO GENERAL DE LA PRUEBA DE COMPRESION Y RECUPERACION USANDO EL MECANISMO DE PALANCA/PISTON.**

Observando la tabla 26, se puede notar que el porcentaje de recuperación de la fibra es alto, lo cual por una parte es bueno, pues no se está pasando del límite de deformación plástica del material, que significaría que el material está sufriendo variaciones en sus características mecánicas, y no tendría utilidad comercial; pero



por otro lado es preocupante, pues no se puede liberar la presión del material en ningún momento, porque entonces se expandiría, y no se podría empacar.

Teniendo estas variables cubiertas, solo queda determinar el comportamiento del material con relación a las superficies en las que se va a trabajar, por esto, se realizaron pruebas que ayudaron a determinar el coeficiente de fricción de la fibra, utilizando la prueba de plano inclinado.

### **3.1.1.3 PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCIÓN UTILIZANDO UN PLANO INCLINADO.**

Esta prueba consiste en tomar varias muestras de 10 gr y ubicarlas sobre un plano con inclinación variable, ir variando la inclinación del plano y en el momento que el material o la muestra se empieza a mover con velocidad constante hallamos el ángulo de inclinación y mediante algunas formulas obtendremos el coeficiente de fricción entre ambos materiales. Esta prueba se repetirá 10 veces para cada muestra.

Con esta prueba se busca establecer que tanta fricción tiene el producto al deslizarse por otro material; y así, determinar el material con el cual se puede construir la tolva, y si presentará resistencia significativa a la compresión por causa de la fricción, además, sirvió para determinar si se podría dejar que la fibra cayera por gravedad a la bolsa para ser empaquetada, o si tendría que ser impulsada.

El coeficiente de fricción se hallará para los siguientes materiales:

- FIBRATEX – ACRILICO
- FIBRATEX – ALUMINIO
- FIBRATEX – ACERO COLD ROLL



**Figura 24: Plano Inclinado Que Se Utilizo Para La Prueba**

**La figura visualiza la prueba de fricción en la que se apoya el producto en un extremo y se hace inclinar la plataforma hasta el punto en que el producto empiece a moverse, en ese momento se toma las medidas de inclinación de la plataforma y se hacen los respectivos calculas para el coeficiente de fricción entre los dos materiales (la superficie de la plataforma es reemplazada por acrílico, aluminio, acero cold roll).**

(Fuente: Autores)

A continuación se muestran los resultados de la prueba con diferentes materiales de deslizamiento; esto se logró superponiendo láminas de los materiales a evaluar al plano inclinado inicial.

Para estas pruebas se tomaron diez (10) muestras de igual peso pero de diferente forma y tamaño, con el objetivo de variar el área de fricción.

### 3.1.1.3.1 PRUEBA COEFICIENTE DE FRICCION FIBRATEx – ACRILICO

Ca= cateto adyacente. Co= cateto opuesto. ang= Angulo. Tan= tangente h= hipotenusa

$$\mu = \tan(\theta) = \frac{\text{Cateto Opuesto}}{\text{Cateto Adyacente}}$$

ECUACION 6: coeficiente de fricción.

Estos datos se aplican desde la tabla 27 hasta la tabla 36, para las abreviaciones respectivas.

MUESTRA A	peso (gr)	10	ca (m)	0,3			$\mu$
prueba No.	co (m)	ca <sup>2</sup> +co <sup>2</sup>	h (m)	relación ca/co	ang radianes	ang grados	coeficiente de fricción = tan ang
1	0,1250	0,1056	0,3250	0,9231	0,3948	22,6199	0,4167
2	0,1150	0,1032	0,3213	0,9337	0,3661	20,9735	0,3833
3	0,1220	0,1049	0,3239	0,9263	0,3862	22,1299	0,4067
4	0,1320	0,1074	0,3278	0,9153	0,4145	23,7495	0,4400
5	0,1350	0,1082	0,3290	0,9119	0,4229	24,2277	0,4500
6	0,1400	0,1096	0,3311	0,9062	0,4366	25,0169	0,4667
7	0,1420	0,1102	0,3319	0,9039	0,4421	25,3298	0,4733
8	0,1260	0,1059	0,3254	0,9220	0,3976	22,7824	0,4200
9	0,1330	0,1077	0,3282	0,9142	0,4173	23,9093	0,4433
10	0,1310	0,1072	0,3274	0,9164	0,4117	23,5893	0,4367
prom	0,1301	0,1070	0,3271	0,9173	0,4090	23,4328	0,4337

**TABLA 27: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCION CON LA MUESTRA A DE FIBRA.**

MUESTRA B	peso (gr)	10	ca (m)	0,3			$\mu$
prueba No.	co (m)	ca <sup>2</sup> +co <sup>2</sup>	h (m)	relación ca/co	ang radianes	ang grados	coeficiente de fricción = tan ang
1	0,1250	0,1056	0,3250	0,9231	0,3948	22,6199	0,4167
2	0,1300	0,1069	0,3270	0,9176	0,4089	23,4287	0,4333
3	0,1350	0,1082	0,3290	0,9119	0,4229	24,2277	0,4500
4	0,1320	0,1074	0,3278	0,9153	0,4145	23,7495	0,4400
5	0,1400	0,1096	0,3311	0,9062	0,4366	25,0169	0,4667
6	0,1380	0,1090	0,3302	0,9085	0,4311	24,7024	0,4600
7	0,1360	0,1085	0,3294	0,9108	0,4256	24,3864	0,4533
8	0,1440	0,1107	0,3328	0,9015	0,4475	25,6410	0,4800
9	0,1390	0,1093	0,3306	0,9073	0,4339	24,8599	0,4633
10	0,1280	0,1064	0,3262	0,9198	0,4033	23,1063	0,4267
prom	0,1347	0,1082	0,3289	0,9122	0,4219	24,1739	0,4490

**TABLA 28: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCIÓN CON LA MUESTRA B DE FIBRA.**

MUESTRA C	peso (gr)	10	ca (m)	0,3			$\mu$
prueba No.	co (m)	ca <sup>2</sup> +co <sup>2</sup>	h (m)	relación ca/co	ang radianes	ang grados	coeficiente de fricción = tan ang
1	0,1240	0,1054	0,3246	0,9242	0,3919	22,4569	0,4133
2	0,1260	0,1059	0,3254	0,9220	0,3976	22,7824	0,4200
3	0,1310	0,1072	0,3274	0,9164	0,4117	23,5893	0,4367
4	0,1280	0,1064	0,3262	0,9198	0,4033	23,1063	0,4267
5	0,1350	0,1082	0,3290	0,9119	0,4229	24,2277	0,4500
6	0,1370	0,1088	0,3298	0,9096	0,4284	24,5446	0,4567
7	0,1420	0,1102	0,3319	0,9039	0,4421	25,3298	0,4733
8	0,1400	0,1096	0,3311	0,9062	0,4366	25,0169	0,4667
9	0,1390	0,1093	0,3306	0,9073	0,4339	24,8599	0,4633
10	0,1290	0,1066	0,3266	0,9187	0,4061	23,2677	0,4300
prom	0,1331	0,1078	0,3282	0,9140	0,4175	23,9182	0,4437

**TABLA 29: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCIÓN CON LA MUESTRA C DE FIBRA.**

MUESTRA E	peso (gr)	10	ca (m)	0,3			$\mu$
prueba No.	co (m)	ca <sup>2</sup> +co <sup>2</sup>	h (m)	relación ca/co	ang radianes	ang grados	coeficiente de fricción = tan ang
1	0,1320	0,1074	0,3278	0,9153	0,4145	23,7495	0,4400
2	0,1380	0,1090	0,3302	0,9085	0,4311	24,7024	0,4600
3	0,1280	0,1064	0,3262	0,9198	0,4033	23,1063	0,4267
4	0,1370	0,1088	0,3298	0,9096	0,4284	24,5446	0,4567
5	0,1350	0,1082	0,3290	0,9119	0,4229	24,2277	0,4500
6	0,1300	0,1069	0,3270	0,9176	0,4089	23,4287	0,4333
7	0,1390	0,1093	0,3306	0,9073	0,4339	24,8599	0,4633
8	0,1420	0,1102	0,3319	0,9039	0,4421	25,3298	0,4733
9	0,1380	0,1090	0,3302	0,9085	0,4311	24,7024	0,4600
10	0,1400	0,1096	0,3311	0,9062	0,4366	25,0169	0,4667
prom	0,1359	0,1085	0,3294	0,9109	0,4253	24,3668	0,4530

**TABLA 31: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCIÓN CON LA MUESTRA E DE FIBRA.**

MUESTRA F	peso (gr)	10	ca (m)	0,3			$\mu$
prueba No.	co (m)	$ca^2+co^2$	h (m)	relación ca/co	ang radianes	ang grados	coeficiente de fricción = tan ang
1	0,1290	0,1066	0,3266	0,9187	0,4061	23,2677	0,4300
2	0,1330	0,1077	0,3282	0,9142	0,4173	23,9093	0,4433
3	0,1350	0,1082	0,3290	0,9119	0,4229	24,2277	0,4500
4	0,1300	0,1069	0,3270	0,9176	0,4089	23,4287	0,4333
5	0,1380	0,1090	0,3302	0,9085	0,4311	24,7024	0,4600
6	0,1350	0,1082	0,3290	0,9119	0,4229	24,2277	0,4500
7	0,1340	0,1080	0,3286	0,9131	0,4201	24,0687	0,4467
8	0,1360	0,1085	0,3294	0,9108	0,4256	24,3864	0,4533
9	0,1390	0,1093	0,3306	0,9073	0,4339	24,8599	0,4633
10	0,1320	0,1074	0,3278	0,9153	0,4145	23,7495	0,4400
prom	0,1341	0,1080	0,3286	0,9129	0,4203	24,0828	0,4470

**TABLA 32: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCIÓN CON LA MUESTRA F DE FIBRA.**

MUESTRA G	peso (gr)	10	ca (m)	0,3			$\mu$
prueba No.	co (m)	ca <sup>2</sup> +co <sup>2</sup>	h (m)	relación ca/co	ang radianes	ang grados	coeficiente de fricción = tan ang
1	0,1180	0,1039	0,3224	0,9306	0,3747	21,4714	0,3933
2	0,1220	0,1049	0,3239	0,9263	0,3862	22,1299	0,4067
3	0,1190	0,1042	0,3227	0,9295	0,3776	21,6366	0,3967
4	0,1300	0,1069	0,3270	0,9176	0,4089	23,4287	0,4333
5	0,1280	0,1064	0,3262	0,9198	0,4033	23,1063	0,4267
6	0,1290	0,1066	0,3266	0,9187	0,4061	23,2677	0,4300
7	0,1320	0,1074	0,3278	0,9153	0,4145	23,7495	0,4400
8	0,1270	0,1061	0,3258	0,9209	0,4005	22,9446	0,4233
9	0,1250	0,1056	0,3250	0,9231	0,3948	22,6199	0,4167
10	0,1230	0,1051	0,3242	0,9253	0,3891	22,2936	0,4100
prom	0,1253	0,1057	0,3251	0,9227	0,3956	22,6648	0,4177

**TABLA 33: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCIÓN CON LA MUESTRA G DE FIBRA.**



MUESTRA I	peso (gr)	10	ca (m)	0,3			$\mu$
prueba No.	co (m)	ca <sup>2</sup> +co <sup>2</sup>	h (m)	relación ca/co	ang radianes	ang grados	coeficiente de fricción = tan ang
1	0,1290	0,1066	0,3266	0,9187	0,4061	23,2677	0,4300
2	0,1320	0,1074	0,3278	0,9153	0,4145	23,7495	0,4400
3	0,1420	0,1102	0,3319	0,9039	0,4421	25,3298	0,4733
4	0,1380	0,1090	0,3302	0,9085	0,4311	24,7024	0,4600
5	0,1470	0,1116	0,3341	0,8980	0,4556	26,1049	0,4900
6	0,1450	0,1110	0,3332	0,9003	0,4502	25,7960	0,4833
7	0,1380	0,1090	0,3302	0,9085	0,4311	24,7024	0,4600
8	0,1490	0,1122	0,3350	0,8956	0,4610	26,4121	0,4967
9	0,1390	0,1093	0,3306	0,9073	0,4339	24,8599	0,4633
10	0,1490	0,1122	0,3350	0,8956	0,4610	26,4121	0,4967
prom	0,1408	0,1099	0,3315	0,9052	0,4387	25,1337	0,4693

**TABLA 35: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCIÓN CON LA MUESTRA I DE FIBRA.**

MUESTRA J	peso (gr)	10	ca (m)	0,3			$\mu$
prueba No.	co (m)	ca <sup>2</sup> +co <sup>2</sup>	h (m)	relación ca/co	ang radianes	ang grados	coeficiente de fricción = tan ang
1	0,1350	0,1082	0,3290	0,9119	0,4229	24,2277	0,4500
2	0,1290	0,1066	0,3266	0,9187	0,4061	23,2677	0,4300
3	0,1280	0,1064	0,3262	0,9198	0,4033	23,1063	0,4267
4	0,1360	0,1085	0,3294	0,9108	0,4256	24,3864	0,4533
5	0,1320	0,1074	0,3278	0,9153	0,4145	23,7495	0,4400
6	0,1270	0,1061	0,3258	0,9209	0,4005	22,9446	0,4233
7	0,1330	0,1077	0,3282	0,9142	0,4173	23,9093	0,4433
8	0,1300	0,1069	0,3270	0,9176	0,4089	23,4287	0,4333
9	0,1280	0,1064	0,3262	0,9198	0,4033	23,1063	0,4267
10	0,1340	0,1080	0,3286	0,9131	0,4201	24,0687	0,4467
prom	0,1312	0,1072	0,3274	0,9162	0,4122	23,6195	0,4373

**TABLA 36: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCIÓN CON LA MUESTRA J DE FIBRA.**

En las tablas 27 a 36, se muestran los datos tomados de las pruebas, siendo el más importante el coeficiente de fricción resultante en la última columna de izquierda a derecha. El ángulo al que comienza a moverse a una velocidad constante el material determina el coeficiente de fricción de un material con respecto a otro. Se pudo apreciar, con estas pruebas, que la desviación no es tan importante como para realizarla 10 veces con la misma muestra, por lo tanto se cambió el proceso a 1 prueba por cada muestra para las siguientes pruebas.

### 3.1.1.3.2 PRUEBA COEFICIENTE DE FRICCION FIBRATEX – ALUMINIO

Ca= cateto adyacente. Co= cateto opuesto. ang= Angulo. Tan= tangente h= hipotenusa

$$\mu = \tan(\theta) = \frac{\text{Cateto Opuesto}}{\text{Cateto Adyacente}}$$

MUESTRA	peso (gr)	10	ca (m)	0,3			$\mu$
prueba No.	co (m)	ca <sup>2</sup> +co <sup>2</sup>	h (m)	relación ca/co	ang radianes	ang grados	coeficiente de fricción = tan ang
A	0,1380	0,1090	0,3302	0,9085	0,4311	24,7024	0,4600
B	0,1300	0,1069	0,3270	0,9176	0,4089	23,4287	0,4333
C	0,1420	0,1102	0,3319	0,9039	0,4421	25,3298	0,4733
D	0,1350	0,1082	0,3290	0,9119	0,4229	24,2277	0,4500
E	0,1340	0,1080	0,3286	0,9131	0,4201	24,0687	0,4467
F	0,1380	0,1090	0,3302	0,9085	0,4311	24,7024	0,4600
G	0,1360	0,1085	0,3294	0,9108	0,4256	24,3864	0,4533
H	0,1390	0,1093	0,3306	0,9073	0,4339	24,8599	0,4633
I	0,1280	0,1064	0,3262	0,9198	0,4033	23,1063	0,4267
J	0,1370	0,1088	0,3298	0,9096	0,4284	24,5446	0,4567
prom	0,1357	0,1084	0,3293	0,9111	0,4247	24,3357	0,4523

**TABLA 37: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCION CON SUPERFICIE DE ROZAMIENTO DE ALUMINIO**

### 3.1.1.3.3 PRUEBA COEFICIENTE DE FRICCION FIBRATEX – ACERO COLD ROLL

Ca= cateto adyacente. Co= cateto opuesto. ang= Angulo. Tan= tangente h= hipotenusa

$$\mu = \tan(\theta) = \frac{\text{Cateto Opuesto}}{\text{Cateto Adyacente}}$$

MUESTRA	peso (gr)	10	ca (m)	0,3			$\mu$
prueba No.	co (m)	ca <sup>2</sup> +co <sup>2</sup>	h (m)	relación ca/co	ang radianes	ang grados	coeficiente de fricción = tan ang
A	0,1590	0,1153	0,3395	0,8836	0,4874	27,9236	0,5300
B	0,1580	0,1150	0,3391	0,8848	0,4848	27,7743	0,5267
C	0,1650	0,1172	0,3424	0,8762	0,5028	28,8108	0,5500
D	0,1620	0,1162	0,3409	0,8799	0,4951	28,3690	0,5400
E	0,1630	0,1166	0,3414	0,8787	0,4977	28,5167	0,5433
F	0,1570	0,1146	0,3386	0,8860	0,4821	27,6246	0,5233
G	0,1640	0,1169	0,3419	0,8774	0,5003	28,6640	0,5467
H	0,1580	0,1150	0,3391	0,8848	0,4848	27,7743	0,5267
I	0,1630	0,1166	0,3414	0,8787	0,4977	28,5167	0,5433
J	0,1650	0,1172	0,3424	0,8762	0,5028	28,8108	0,5500
prom	0,1614	0,1161	0,3407	0,8806	0,4936	28,2785	0,5380

**TABLA 38: PARAMETROS Y RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE COEFICIENTE DE FRICCION CON SUPERFICIE DE ROZAMIENTO DE ACERO COLD ROLL**

Con estos resultados, se obtiene el coeficiente de fricción hallando la tangente del ángulo en el que se rompió el estado estático del material. Conociendo la distancia horizontal, se mide la distancia vertical hasta un punto determinado arbitrariamente, con esto se puede hallar directamente la tangente del ángulo, que corresponde al coeficiente de fricción.

Siendo el cateto opuesto la altura desde la cara superior del soporte del plano inclinado hasta la lámina del plano inclinado, y el cateto adyacente la distancia horizontal desde la bisagra del plano inclinado hasta el punto donde se coloca la regla para medir la altura.

Los coeficientes de fricción promedio hallados por medio de esta prueba son de aproximadamente 0.44 para la madera barnizada y el aluminio, y 0.55 para el acero; estos son coeficientes relativamente altos para materiales lisos como los utilizados.

Debido a los coeficientes altos de fricción registrados en las tablas 37-39, se debe diseñar un mecanismo para expulsar la fibra de la tolva de compresión, pues la gravedad no ejerce la fuerza suficiente para que el material caiga por su propio peso, esto aunado al hecho de que el material comprimido ejercerá una fuerza normal sobre las paredes de la tolva, lo cual hará que sea más difícil el movimiento.

Con los resultados de las pruebas registradas en las tablas 32-39, se cierra la etapa de pruebas del material, y se pasa al diseño del mecanismo, que se construye con base en los resultados de estas pruebas.

### 3.1.2 DISEÑO DE LA TOLVA DE COMPRESIÓN Y EMPACADO DE FIBRA:

- Debido a las características de este material a empacar, y observando las pruebas que se llevaron a cabo para su parametrización, se sacaron los puntos más importantes para el diseño mecánico de la tolva de pesaje y empacado de fibra:
- La ecuación que rige la compresión del material es:

$$F=K * Y_f^e$$

ECUACION 7: Ecuación general que describe la compresión del material con respecto a la fuerza aplicada.

Donde F es la fuerza, en Kg, requerida para llevar el material a una altura final  $Y_f$ , modificados por un parámetro "K" que dependerá de la cantidad de material a comprimir, y elevado a una constante "e" que es propia del material y la cual fue calculada en las pruebas. Esta ecuación surge de la aproximación de la tendencia del producto en la compresión, pues éste requiere más fuerza para ser comprimido en la medida en que se comprime más.

- El coeficiente de fricción del material con respecto a una superficie plana de acero es de 0.55, con respecto a una superficie barnizada 0.44, y con una superficie plana de acero 0.44; por tanto, el material no se desplazará fácilmente por la fuerza de gravedad, lo que obliga a que el movimiento del material sea asistido por mecanismos en todo momento.
- El material se recupera al 100% de su volumen inicial después de ser comprimido, lo cual indica que no cambiará permanentemente sus características físicas si se somete a una fuerza prudente.
- Por experiencia, se sabe que el material se aglomera en grumos de aproximadamente 10 cm, y no se deshace fácilmente, lo cual lleva a que se produzcan atascamientos si no se tiene un espacio suficientemente grande para que los grumos de material puedan pasar sin problema.
- La fibra, sin comprimir, tiene una densidad de aproximadamente 0.022 gramos por centímetro cúbico, que es un volumen específico de:

$$v = \frac{1}{\rho} = 45 \frac{cm^3}{g}$$

ECUACION 8: Volumen específico del producto.

Lo cual quiere decir que un kilo de material sin comprimir ocupará aproximadamente  $45000 \text{ cm}^3$ .

De los factores externos, los más importantes son:

- El sistema debe empacar por lo menos 4 bolsas de 600g por minuto.
- Se debe poder utilizar en un ambiente residencial, es decir, los niveles de voltaje, corriente y dimensiones no deben exceder los límites que se manejan en esta zona.
  - El voltaje debe ser de 110 o 220 V monofásico.
  - Las dimensiones no deben exceder los 80 cm de ancho y 180 cm de alto, de manera que quepa en cualquier puerta.
- Debe ser controlable por un solo operario.
- No debe incluir sistemas hidráulicos o neumáticos, por no ser estos de fácil acceso en ambientes residenciales.
- Las celdas de carga, y otros componentes fueron seleccionados previamente, cuando se tenía otro diseño de tolva en el proyecto integrado, y el presupuesto disponible no permite comprar nuevas celdas de carga, por lo tanto, esto impone un límite de peso en la tolva de 25 Kg.

Con base en estos parámetros de diseño, se plantearon algunas ideas de diseño, que se describen a continuación:

- Una tolva de  $50000\text{cm}^3$ , accionada por un sistema de cremallera y una pared corrediza a manera de prensa, con una base también corrediza que, al comprimir el material, deja al descubierto un hueco por el que sale la fibra; la forma de esta tolva es cuadrada, así como su boquilla para acomodar la bolsa para recibir la fibra. Otro mecanismo de cremallera se encarga de bajar la fibra para que se deposite en la bolsa. Este sistema llenaría la bolsa de 1000g en un solo movimiento.



- Una tolva de  $30000\text{cm}^3$ , de forma de paralelepípedo, con una pared móvil que serviría de prensa, accionado por un pistón neumático; el hueco de salida de la fibra en la parte inferior de la tolva, en el extremo del recorrido de la prensa, y siempre descubierto. La fibra sería bajada por otra prensa, acomodada verticalmente, y accionada con un pistón neumático para depositar la fibra en la bolsa. Este sistema llenaría una bolsa de 600g en un solo movimiento.
- Una tolva de  $25000\text{cm}^3$ , con una parte frontal y trasera en forma de cilindro elíptico, para acomodarse mejor a la forma en que las bolsas se abren y evitar bordes agudos que podrían romper la bolsa, con una pared móvil estilo prensa, que también viene con la curvatura en forma de elipse, y accionada por un sistema de manivela biela corredera; el hueco de salida de material en el final de la carrera de la prensa, siempre descubierto, y una prensa vertical, también accionada con sistema de manivela biela corredera para depositar el material en la bolsa. Este sistema llenaría una bolsa de 600g en dos movimientos.

Evaluando conceptualmente los tres modelos propuestos, que son los que vale la pena mencionar de los muchos que se idearon, se hizo una tabla para ponderar la viabilidad de cada solución, tanto desde el punto de vista funcional, como el punto de vista de logística.

Se tomaron en cuenta los aspectos más importantes que hay en los parámetros de diseño: dimensiones, límites de uso de tecnología, la idoneidad de la solución, la facilidad de construcción, velocidad de acción, y su fuerza. Los parámetros se evalúan de 1 a 5 según una escala arbitraria, siendo 5 ideal, y 1 inapropiado.

EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN							
Solución	Fuerza	Idoneidad	Velocidad	Facilidad de construcción	¿Cumple límites de construcción?	Dimensiones	Total
Sistema de cremallera y 50000cm cúbicos	5	2	2	1	3	2	15
Accionamiento de pistones neumáticos y 30000cm cúbicos	5	3	5	3	2	4	22
Sistema manivela biela corredera y 25000cm cúbicos	5	4	3	2	4	5	23

**TABLA 39: EVALUACION DE SOLUCIONES POR MEDIO DEL SISTEMA DE PONDERACION POR PESOS**

*En la tabla se utilizaron los criterios y su puntuación de la siguiente forma:*

- **Fuerza: 1. Fuerza Débil – 5. Fuerza excedida.**
- **Idoneidad: 1. Solución poco práctica – 5. Solución muy práctica.**
- **Velocidad: 1. Muy lenta – 5. Muy rápida.**
- **Facilidad de construcción: 1. Muy complicada – 5. Muy simple**
- **Cumple limites de construcción: 1. Ninguno – 5. Todos**
- **Dimensiones: 1. Inapropiadas – 5. apropiadas**

Al observar los resultados de la ponderación de soluciones, se decidió que se seguiría la opción de la tolva de manivela biela corredera, pues es la que más ventajas y menos desventajas trae al proceso.

Al determinar la opción que se construiría, se pasó a la etapa de diseño específico del sistema, que comenzó con determinar las características de dimensiones, fuerza y proporciones que tendría el mecanismo, y la forma en que funcionaría en detalle.

Debido a que se tienen límites de dimensiones para este sistema, los cuales incluyen:

- El mecanismo completo no debe medir más de 1.9m de alto
- No debe tampoco sobrepasar los 90 cm de profundidad.

Por lo tanto, una tolva pequeña es la norma, porque a la tolva en sí la acompañarán los mecanismos de accionamiento, los cuales aumentan las dimensiones del sistema. Por esta razón, para no sobrepasar el límite de ancho, alto y profundidad, se diseñó una tolva de 30cm de alto, 20 cm de ancho y 40 cm de profundidad; esto permite que se puedan utilizar los otros 40 cm que quedan para el posicionamiento del mecanismo, y que sobre espacio. Que sea de 30 cm de alto permite que se pueda acomodar a 80 cm del suelo la parte más baja de la máquina, de manera que un operario en posición sentado pueda colocar sus manos cómodamente, y no corra peligro de sufrir lesiones por malas posiciones, o por fatiga, ya que se encontrará en una posición relajada y correcta para su cuerpo, y la parte más alta de la máquina se encontrará a aproximadamente 1.5m de altura, lo que la coloca dentro de los límites de diseño.

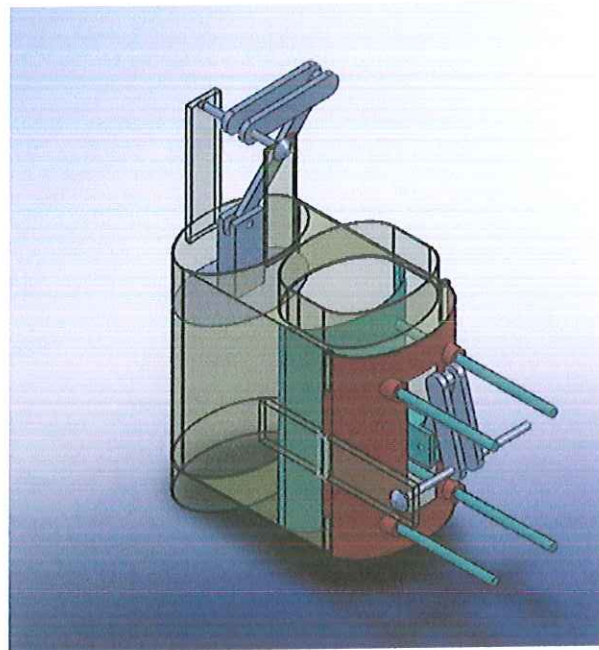
Se concluyó que paredes curvadas, de manera que al estar completamente comprimida la fibra, describieran un cilindro elíptico, sería la forma más apropiada de empacar la fibra; esta forma se escogió porque se desea que el material se atasque menos entre los bordes y se adapte mejor a la forma de la bolsa, para reducir la concentración de esfuerzos que se presentan en las esquinas de un prisma evitando la ruptura de la bolsa, para reducir la pérdida del material al momento de empacarse y aumentar el área de contacto de la boquilla de la bolsa con la salida de la tolva. También se eligió por conceptos de ergonomía, debido a

que es más fácil para los seres humanos poner las manos en forma de elíptica que rectangular.

Véase ([http://training.itcilo.it/actrav\\_cdrom2/es/osh/ergo/ergoa.htm](http://training.itcilo.it/actrav_cdrom2/es/osh/ergo/ergoa.htm))

### 3.1.2.1 PROTOTIPO MODELO CAD (DISEÑO ASISTIDO COMPUTARIZADO)

Modelo inicial resultante:



**Figura 25: Versión Inicial De La Tolva**

**Esta figura visualiza el diseño CAD inicial de la tolva junto con los mecanismos manivela – biela – corredera.**

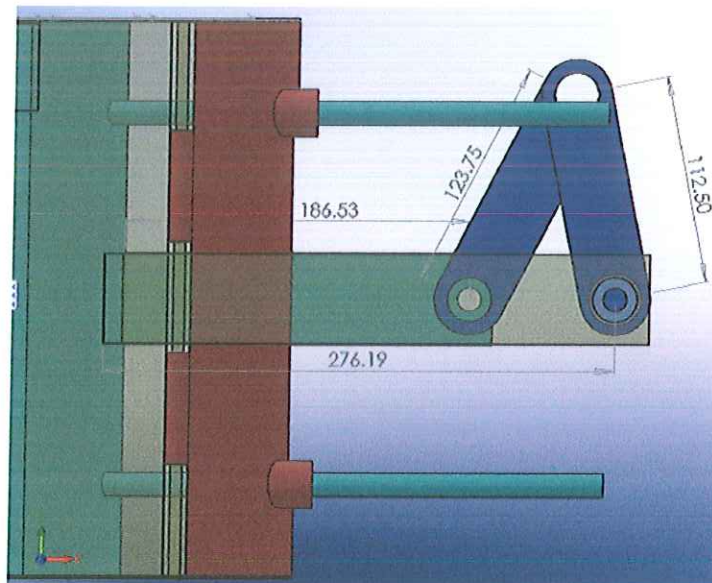
(Fuente: Autores)

Sobre este modelo inicial se trabajó, y se le comenzaron a realizar varias modificaciones; por ejemplo, se debían trabajar varios problemas de interferencias de material (puntos del recorrido del mecanismo donde partes que no se supone que hagan contacto entre sí, se tocan), además se debió revisar que se cumpliera la ley de Grashov, que dicta que para que, en un mecanismo de cuatro barras, una

de ellas pueda dar una vuelta entera, la suma de la longitud del eslabón más corto con el más largo sea mayor o igual a la de los otros dos eslabones: (bibliografía ítem 6)

$$L+S \geq p+q \quad \text{ECUACION 9: ley de grashov}$$

Donde L y S corresponderían al eslabón más largo (en el caso de la tolva, el soporte) y el más corto (la manivela), respectivamente. Por lo tanto, p y q corresponderían a la biela y la corredera; debido a que se tienen límites de dimensiones (80 cm de profundidad), entonces se acomodó el sistema de manera que los eslabones fueran lo más largos posible, sin comprometer la estabilidad de cada uno, y sin sobrepasar los 80 cm de largo total de la máquina:



**Figura 26: Acercamiento De La Tolva Vista Horizontal, Con Medidas Acomodadas Para Cumplir La Ley De Grashov.**

**Véase 3.1.2.1 PROTOTIPO MODELO CAD**

(Fuente: Autores)

Como se puede observar en la figura, las medidas de los eslabones son distancias entre centros, pues esta es la longitud real de los eslabones; cabe resaltar, sin embargo, que las fracciones de milímetro no se toman en cuenta para la construcción, pues el ambiente en que se construyó la tolva no tiene los instrumentos adecuados para tal precisión.

Las medidas, tal como se ven en la figura 26, son:

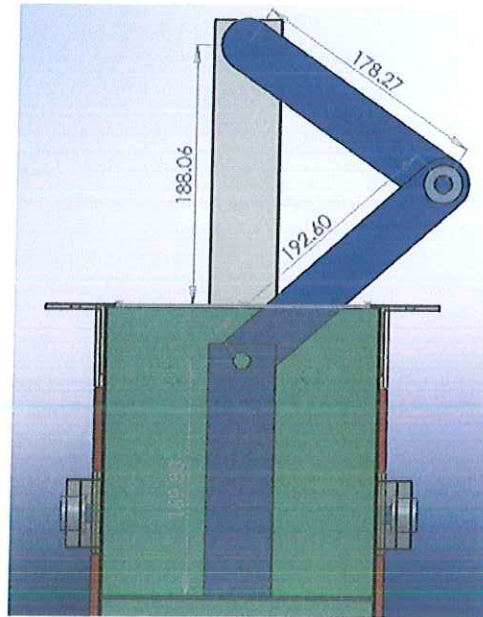
- Eslabón de soporte: 27.6 cm
- Manivela: 11,2 cm
- Biela: 12.3 cm
- Corredera: 18.6 cm

Por lo tanto, asignándole valores para acomodarlos en la ecuación de Grashov, el soporte sería L, la manivela sería S, y los otros dos eslabones serían p y q:

$$27.6 + 11.2 = 38.8 \text{ cm}$$

$$12.3 + 18.6 = 30.9 \text{ cm}$$

Por esta razón, se puede concluir que el sistema cumple el requisito para que la manivela de una vuelta entera, lo que facilita la operación del mecanismo, y el control de posición. Para la prensa vertical, se tienen las siguientes medidas:



**Figura 27: Medidas de las barras del mecanismo vertical**

(Fuente: Autores)

Como se puede observar en la figura 27, el mecanismo vertical también fue modificado además, removiendo uno de los soportes, pues se juzgó que este soporte era redundante y afectaría negativamente el peso total de la tolva, comprometiendo los límites de peso impuestos por el dimensionamiento previo.

En este caso, los eslabones se identifican de la siguiente manera: L es la biela, S es la corredera, y los otros dos eslabones son p y q:

$$19.2 + 16.9 = 36.1$$

$$17.8 + 18.8 = 36.6$$

En este mecanismo vertical, no se cumple la ley de Grashov, por esto se debió ajustar las distancias entre centros:

La distancia entre centros de giro de la manivela se cambió de 17.8 a 17.5 cm, y en la biela se cambió de 19.2 a 19.4, la longitud de la corredera se cambió a 17 cm:

$$17 + 19.5 = 36.5$$

$$17.5 + 18.8 = 36.3$$

Con estas modificaciones, se pudo asegurar que diera un giro completo la manivela.

El siguiente paso es calcular cuanta fuerza necesita el sistema para comprimir la fibra; con base en las pruebas hechas, con los datos obtenidos de las pruebas se aproximó el comportamiento del material a la ecuación de un resorte, esta describe el comportamiento del material:

$$F = Kx^e$$

Donde  $F$  es la fuerza requerida para comprimir el material hasta un espesor  $x$ , estos valores modificados por una constante propia de la cantidad del material  $K$  (según las pruebas, esta variable cambia de acuerdo a la cantidad de material que se vaya a comprimir), y una constante  $e$  que es propia del material en sí.

Si se analiza la ecuación, se puede observar que ésta corresponde a la ecuación de un resorte, por lo que se puede tratar como tal. La constante del material, al igual de la del resorte depende de varios factores, como el espesor de la capa de material, y sus características físico-mecánicas; sin embargo, resulta muy difícil determinar qué factores exactamente intervienen en esta ecuación.

En las cuatro series de pruebas realizadas a las diferentes muestras del producto, se dedujo que en esta ecuación cambiaba de valor el parámetro "K", en una medida proporcional a la cantidad del producto comprimido y "e" solo cambiaba aproximadamente en un 10% su valor; la forma en que se incrementa "k" indica que las ecuaciones son linealmente dependientes, si se considera que "e" es



constante. Las variaciones que se presentan, son debido a la naturaleza de las pruebas que dan lugar a una histéresis grande; sin embargo, para tener más o menos una idea de qué tanta fuerza se necesita para comprimir diferentes cantidades de material en una proporción igual, se debe hacer el cálculo con cada una de las ecuaciones, y después se tomará la fuerza que tenga mayor magnitud, y se usará esa fuerza como guía para dimensionar el motor:

Para todas las ecuaciones,  $F$  es la fuerza necesaria para comprimir la fibra (Kgf), y  $y$  es la altura final que corresponde al volumen al que se desea comprimir el material (cm). Se sabe que la relación de compresión que se desea obtener es 35% en general (es decir, se debe comprimir al 65% del volumen inicial), por lo tanto se tomará el volumen inicial para cada cantidad y se calculará el volumen deseado, para calcular al final el espesor correspondiente a este volumen, se reemplaza en la ecuación de comportamiento de la fibra, y con eso se hallará la fuerza.

Para 300g:

$$F = 327849y^{-4.538}$$

$$\text{Siendo } V_0 = 14250 \text{ cm}^3$$

$$V_c = V_0 \times 65\% = 9250 \text{ cm}^3$$

$V = L \times A \times H$ ; se toma como referencia las medidas de la caja de pruebas -

$L = 30\text{cm}$ ,  $A = 30\text{cm}^2$ , y  $H$  es el espesor que se va a hallar:

Despejando  $H$  y reemplazando los términos conocidos de la ecuación:

$$H = \frac{9250 \text{ cm}^3}{30\text{cm} \times 30\text{cm}} = 10.3 \text{ cm}$$

Si  $H =$  y en la ecuación del material:

$$F = 327849(10.3)^{-4.538}$$

$$F = 8.34Kgf$$

Para 600g (usando la ecuación de peso muerto):

$$F = 1E+07x^{-4.862}$$

$$\text{Siendo } V_0 = 26730\text{cm}^3$$

$$V_c = V_0 \times 65\% = 17350 \text{ cm}^3$$

$V = L \times A \times H$ ; se toma como referencia las medidas de la caja de pruebas -  
 $L = 30\text{cm}$ ,  $A = 30\text{cm}$ -, y  $H$  es el espesor que se va a hallar:

Despejando  $H$  y reemplazando los términos conocidos de la ecuación:

$$H = \frac{17350 \text{ cm}^3}{30\text{cm} \times 30\text{cm}} = 19.3 \text{ cm}$$

Si  $H =$  y en la ecuación del material:

$$F = 1E + 07(19.3)^{-4.862}$$

$$F = 5.6Kgf$$

Para 600g (usando la ecuación resultante de las pruebas con pistón):

$$F = 7E+06x^{-4.668}$$

$$\text{Siendo } V_0 = 26730\text{cm}^3$$

$$V_c = V_0 \times 65\% = 17350 \text{ cm}^3$$

$V = L \times A \times H$ ; se toma como referencia las medidas de la caja de pruebas -  
 $L = 30\text{cm}$ ,  $A = 30\text{cm}$ -, y  $H$  es la altura que se va a hallar:

Despejando  $H$  y reemplazando los términos conocidos de la ecuación:

$$H = \frac{17350 \text{ cm}^3}{30\text{cm} \times 30\text{cm}} = 19.3 \text{ cm}$$

Si  $H=$  y en la ecuación del material:

$$F = 7E + 06 (19.3)^{-4.668}$$

$$F = 6.98Kgf$$

Se nota una discrepancia entre los resultados con la misma masa usando las ecuaciones de las dos pruebas, sin embargo esto se le puede atribuir a la histéresis resultante de la naturaleza de las pruebas.

Para 1000g (usando la ecuación resultante de las pruebas con pistón):

$$F = 6E + 07 X^{-5.04}$$

$$\text{Siendo } V_0 = 44500 \text{ cm}^3$$

$$V_c = V_0 \times 65\% = 28925 \text{ cm}^3$$

$V = L \times A \times H$ ; se toma como referencia las medidas de la caja de pruebas -  
 $L = 30 \text{ cm}$ ,  $A = 30 \text{ cm}$ , y  $H$  es la altura que se va a hallar:

Despejando  $H$  y reemplazando los términos conocidos de la ecuación:

$$H = \frac{17350 \text{ cm}^3}{30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}} = 32.1 \text{ cm}$$

Si  $H=$  y en la ecuación del material:

$$F = 6E + 07 (32.1)^{-5.04}$$

$$F = 1.6Kgf$$

Se observa una incoherencia en este resultado; esto, lo más probable es que se deba a que, en las pruebas, se tuvo que comprimir el material para que pudiera encajar en el recipiente de pruebas, e incluso en su volumen inicial ya se encontraba comprimido. Esta prueba no se tendrá en cuenta, pues existen demasiados modificadores que la invalidan, y el resultado no es coherente.

Como se puede observar, basado en los cálculos hechos a partir de las ecuaciones, la fuerza más grande para la compresión del material hasta el 65% de su volumen inicial, que es la meta de esta tolva, se presentó con la ecuación de 300g:

$$F = 8.34 \text{ Kgf}$$

Con esta fuerza, multiplicada por un factor de seguridad, se sabrá qué tanta fuerza necesita un motor para poder mover el sistema de manivela biela corredera, con el objetivo de comprimir el material.

Para asegurar que el motor va a mover el mecanismo, se estableció un factor de seguridad de 2; es decir, la fuerza que va a poder ejercer la punta de la manivela será, en el extremo que conecta con la biela, y en su punto máximo de esfuerzo, será de:

$$F_s = F * f_s = 8.34 * 2 = 16.68 \text{ Kgf}$$

1kgf = el peso de 1 kg (masa) cuando la aceleración de la gravedad es  $9.80665 \text{ m/s}^2$

1 N = la fuerza necesaria para acelerar 1 kg (masa) a  $1 \text{ m/s}^2$

Planteando 2da ley de Newton e igualando la masa de 1 kg:

$$1 \text{ kgf} = 1 \text{ kg} * 9.80665 \text{ m/s}^2$$

$$\Rightarrow 1 \text{ kg} = 1 \text{ kgf} / 9.80665 \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} * 1 \text{ m/s}^2$$

$$\Rightarrow 1 \text{ kg} = 1 \text{ N} / 1 \text{ (m/s}^2)$$

Es decir que:

$$1 \text{ kgf} / 9.80665 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ N} / 1 \text{ m/s}^2$$

De dónde:

$$1 \text{ N} = (1 / 9.80665) \text{ kgf} = 0.101971621 \text{ kgf}$$

$$1 \text{ N} \approx 0.102 \text{ kgf}$$

Entonces:

$$p = 16.68 \text{ Kgf} * 9.80665 \text{ m/s}^2 = 163, 67 \text{ N}$$

Por lo tanto, si despejamos la fuerza de la ecuación de momento de torsión (torque):

$$\tau = F * d \quad \text{ECUACION 10: ecuación de torque}$$

$$\tau = 16.68 * 9,81 * 0.112 = 18.49 \text{ Nm}$$

Es decir, se necesita un motor que pueda ejercer –directamente- un torque de 1.86 Nm para asegurarse de que el motor va a mover directamente conectado.

Debido a que se tiene un motor ya seleccionado:

Motor elevavidrios Spal a 12V

Y este motor trabaja con una corriente de 1A, entonces el motor, directamente, va a ejercer una potencia de 12W. Con este motor, se necesita ajustar la velocidad para poder asegurar el torque necesario:

Como:

$$P = \tau * \omega$$

ECUACION 11: potencia rotacional

Donde P es la potencia,  $\tau$  es el torque del motor, y  $\omega$  es la velocidad angular.

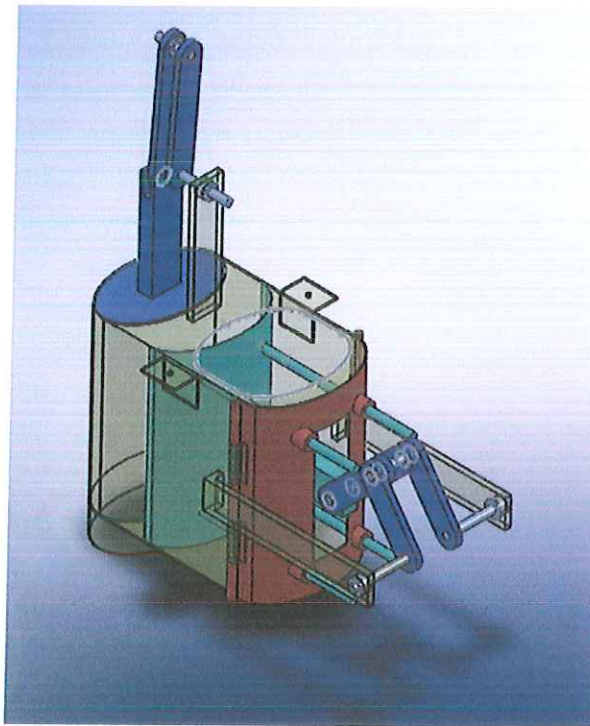
Entonces, si sabemos que el torque que se debe generar es de 18.6 Nm, y la potencia disponible son 12W:

$$\omega = \frac{P}{\tau} = \frac{12W}{18.5Nm} = 0.64 \frac{rad}{s}$$

Con esto, ya se conoce el comportamiento del sistema que se diseñó, y se pasa a la fase de construcción.

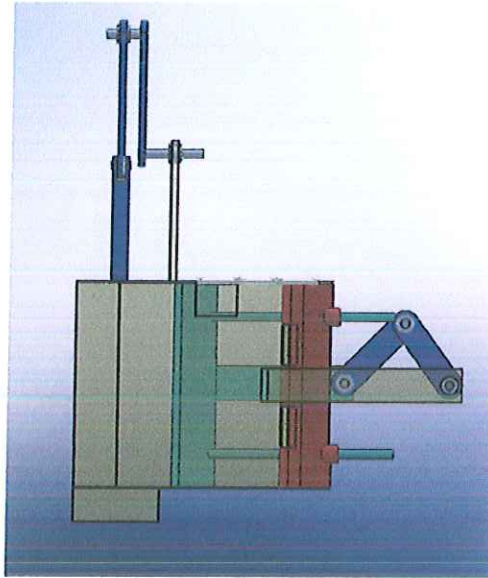
### 3.1.2.2 PROTOTIPO MODELO CAD FINAL

El modelo final del sistema se muestra a continuación, planos detallados se encuentran entre los anexos:



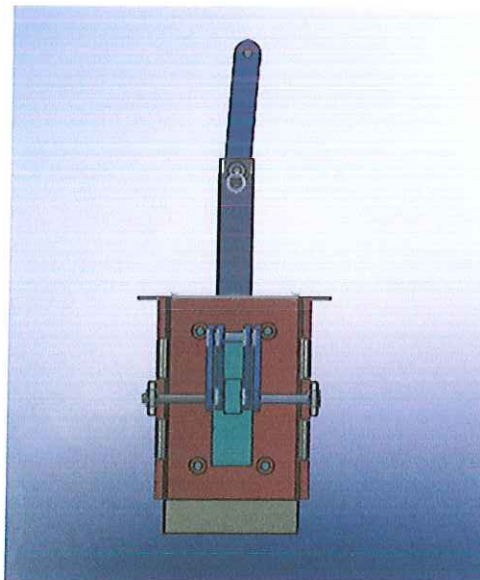
**Figura 28: Version Final De La Tolva Empacadora, Vista Isometrica**

(Fuente: Autores)



**Figura 29: Version Final De La Tolva Empacadora, Vista Lateral**

(Fuente: Autores)



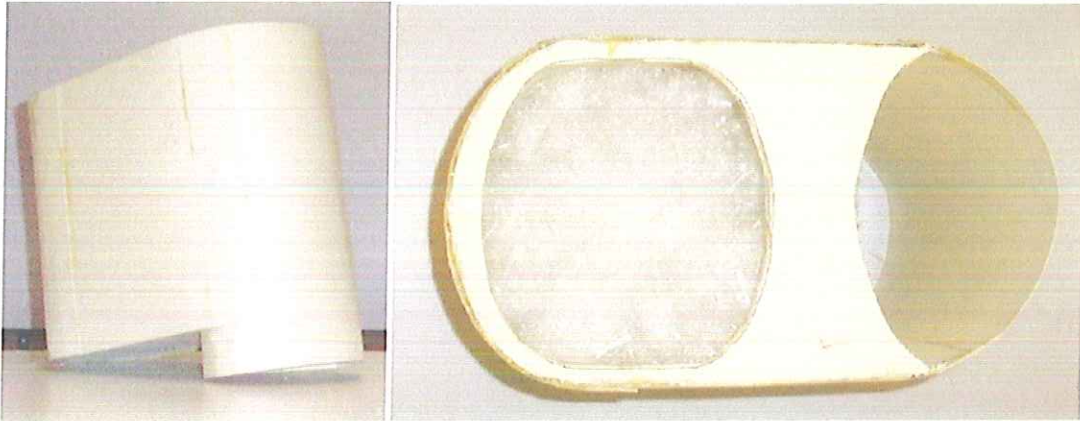
**Figura 30: Version Final De La Tolva Empacadora, Vista Posterior**

(Fuente: Autores)

Arriba se encuentran las vistas que muestran la mayor cantidad de elementos posibles y/o permiten una observación clara del conjunto; se piensa que un



despiece del mecanismo completo sería muy confuso para poner en este documento, así que se añade como un anexo.



**Figura 31: Prototipo de cartón de la tolva**

**La figura muestra el prototipo de cartón que se construyó a escala real.**

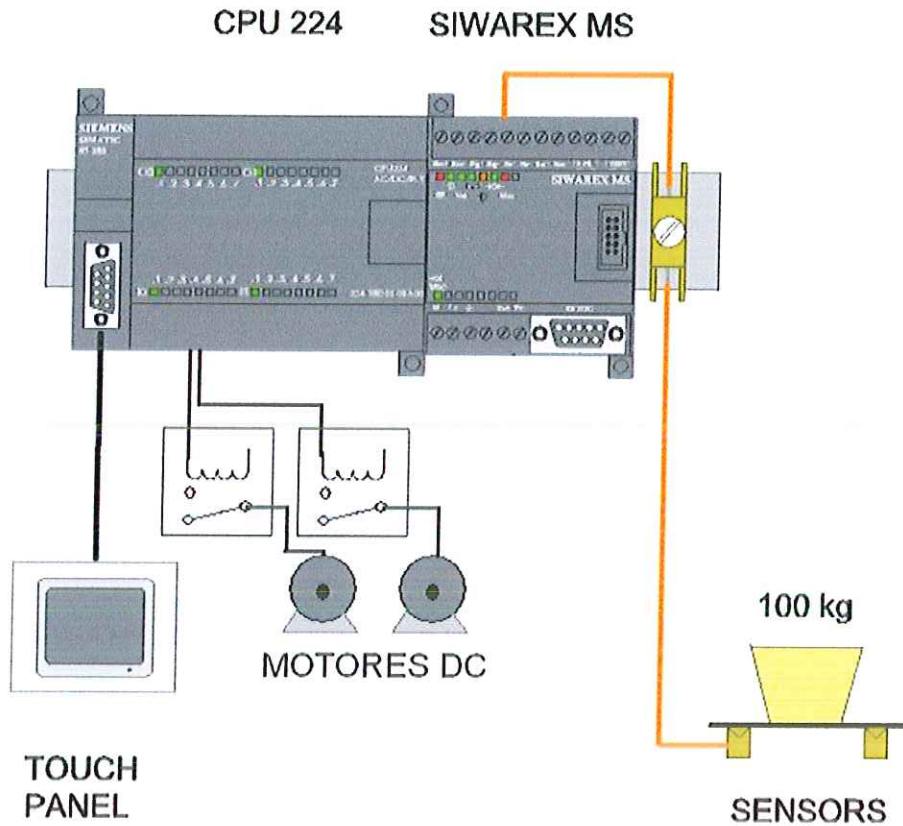
(Fuente: Autores)

### **3.2 DISEÑO ELECTRONICO**

En este proyecto, más que un diseño, se hizo una selección de componentes ya existentes en el mercado, y se ensamblaron juntos de acuerdo a las necesidades del proyecto.

Los componentes electrónicos que se utilizan para la solución, tal como se encuentra establecida para la tolva de pesaje y empaquetamiento de material, son los siguientes:

- PLC Siemens S7 224 XP
- Touchscreen Siemens TP177A
- Celdas de carga SIWAREX SP 260
- Módulos de pesaje SIWAREX MS
- Sensores capacitivos
- Motores DC de 12V Deluxe



**Figura 32: Diagrama De Los Componentes Eléctricos Y Electrónicos Del Sistema**

(Fuente: Autores)

### 3.2.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA FUENTE DE PODER

Para dimensionar una fuente de energía que provea con suficiente corriente a todos los componentes sin sufrir recalentamiento o sobrecargas, se debe tener en cuenta el consumo de cada uno de los componentes; para encontrar el consumo de los componentes, se revisaron las hojas de datos de cada uno, y se observaron las tasas de consumo de corriente, y si éstas no estaban disponibles, se calcularon por medio de otros datos:

Para el PLC Siemens S7 224 XP, se encontró que:

- La unidad por sí misma consume 700mA
- Cada módulo de expansión que se le añada consumirá de 110 a 700mA

El consumo de corriente de las celdas de carga y los sensores capacitivos es tan pequeño que se puede descartar de la suma.

Para la touchscreen TP 177A, se encontró un consumo nominal de 0.24A

El consumo nominal de cada motor que se usa es de 0.5A.

Entonces, haciendo la suma:

$$0.7 + 2 \times 0.7 + 0.24 + 2 \times 0.5 = 3.34A$$

Esto resulta en un consumo de 3.3A, basado en el consumo de cada sistema, según la documentación disponible para cada parte.

Teniendo en cuenta un factor de seguridad igual a 2, y anticipando la adición de nuevos componentes para cumplir otras funciones en el sistema integrado –es decir, al unirlo con el sistema de transporte y dosificación de material-, se puede concluir que una fuente de 5A de capacidad de distribución de corriente cubrirá las necesidades de alimentación del sistema.

Con este tema resuelto, se deben tener en cuenta las protecciones que se colocarán en el sistema, para protegerlo contra cambios bruscos en la corriente o voltaje de la red eléctrica externa, así como aislar los circuitos de potencia de los circuitos de control.

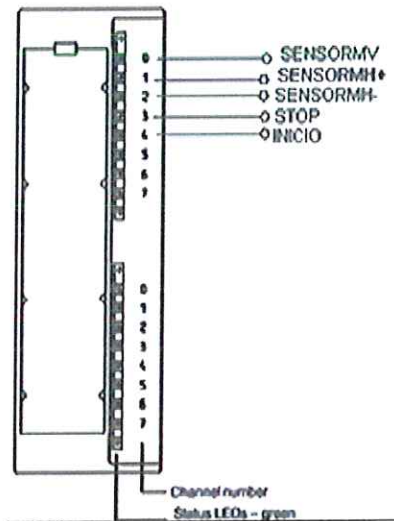
### **3.2.2 SISTEMAS DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA**

Se utilizan interruptores con protección termo-magnética, de manera que si se produce una fluctuación súbita, los interruptores se abrirán, desactivando el circuito antes de que sufran algún daño.

Para acoplar los motores DC, se utilizan relay's, que permitirán aislar el circuito de control del PLC del de los motores, que manejan corrientes mucho más grandes que las que se manejan en las salidas del PLC.

### 3.2.3 ASIGNACIÓN DE CONEXIONES EN EL PLC

El PLC Siemens S7 224 XP posee 14 entradas discretas, de las cuales se utilizarán 3 para los sensores de posición para el sistema de manivela biela corredera, y 2 más se utilizarán para los botones de inicio de ciclo de pesaje, y parada de emergencia.

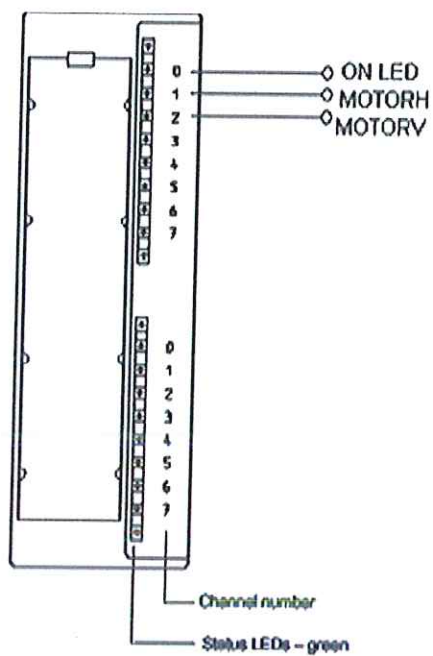


**Figura 33: Esquema De Las Conexiones De Las Entradas Digitales Del PLC Para La Tolva Empacadora**

**La figura visualiza la conexión de las entradas digitales del sistema en el PLC S7-224XP. Tales como: sensores y pulsadores (inicio y parada).**

(Fuente: Autores)

De las 10 salidas discretas que hay disponibles en esta CPU, se utilizan 3, las dos activaciones para los motores DC, y un LED para indicar el estado de funcionamiento de la máquina.



**Figura 34: Esquema De Las Conexiones De Las Salidas Digitales Del PLC Para La Tolva Empacadora**

*La figura visualiza la conexión de las salidas digitales del sistema en el PLC S7-224XP. Tales como: actuadores y visualizadores.*

(Fuente: Autores)

### **3.2.4 Buses De Comunicación**

#### **Buses Utilizados Entre Los Componentes Principales**

Entre el PLC S7 224 XP y la Touchscreen TP177A, la comunicación se estableció utilizando el cable que viene con la pantalla, y se conectó al puerto 0 de los puertos de comunicación tipo DB9; con una configuración de cables RS485 en dos hilos.

Los módulos de pesaje SIWAREX MS poseen una conexión específica para los módulos de expansión del PLC S7 224 XP, y fueron conectados directamente a éste en serie. El PLC acepta hasta 4 módulos de expansión, por lo tanto todavía queda espacio para otros dispositivos que pueda necesitar el sistema.

Se escogió utilizar dos módulos de pesaje en contraste con uno y la caja de suma de señales, pues, si se utilizaba ésta última, no se podrían detectar desbalances en la distribución del peso, y se podría someter a una de las celdas de carga a un sobrepeso en algún momento; en cambio, utilizando los dos módulos de pesaje por separado, se obtiene una señal separada para cada celda de carga, y la distribución de peso se podrá observar con más claridad, haciendo posible que se prevengan desbalances en la distribución de cargas a la hora de montar el sistema, y dando la posibilidad de disparar alarmas independientes para cada celda de carga, pues puede darse en algún momento que no se sobrepase el máximo de carga permitida para el sistema, pero sí se esté sobrecargando una celda por separado.

### 3.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

Como se mencionó en el apartado de diseño de control, se utiliza un PLC Siemens 224XP, las características de este controlador se describen en el apartado anterior, también. Por lo tanto, en este apartado, se procederá a describir la estrategia de control, y como se aplicó a este controlador.

Primero, se definieron las entradas y salidas de este sistema, que consisten de:

Entradas:

- Un valor de peso, resultante de la suma de dos valores de celdas de carga. Señal analógica.
- Un valor de posición inicial para la manivela vertical, dado por un sensor colocado en la posición de  $y=0$  de la prensa vertical. Señal digital.
- Un valor de posición inicial para la manivela horizontal, dado por un sensor colocado en la posición de  $x=0$  de la prensa vertical. Señal digital.
- Un valor de posición final para la manivela horizontal, dado por un sensor colocado en la posición de  $x_{max}$  de la prensa horizontal. Señal digital.
- Un valor correspondiente al peso de la bolsa que se empacará, que, debido a que la cantidad de opciones es discreta, se tratará como una señal digital, con diferentes valores posibles.
- Un botón de inicio del proceso de pesaje, que solo se podrá activar cuando el mecanismo esté en la posición de inicio, y apagado.
- Un botón de parada de emergencia, que suspenderá el funcionamiento del sistema, deteniendo las piezas en la posición que se encuentren en el momento de oprimir el botón.

- Un botón de reset, que solo se podrá oprimir si el botón de parada de emergencia está activado, y llevará al mecanismo a su posición de inicio.
- Un botón de finalización de trabajo, que apaga todo el sistema. Digital.

#### Salidas:

- Señal de activación del motor del mecanismo manivela biela corredera horizontal, digital.
- Señal de activación del motor del mecanismo manivela biela corredera vertical, digital.
- Led de actividad del mecanismo, digital.

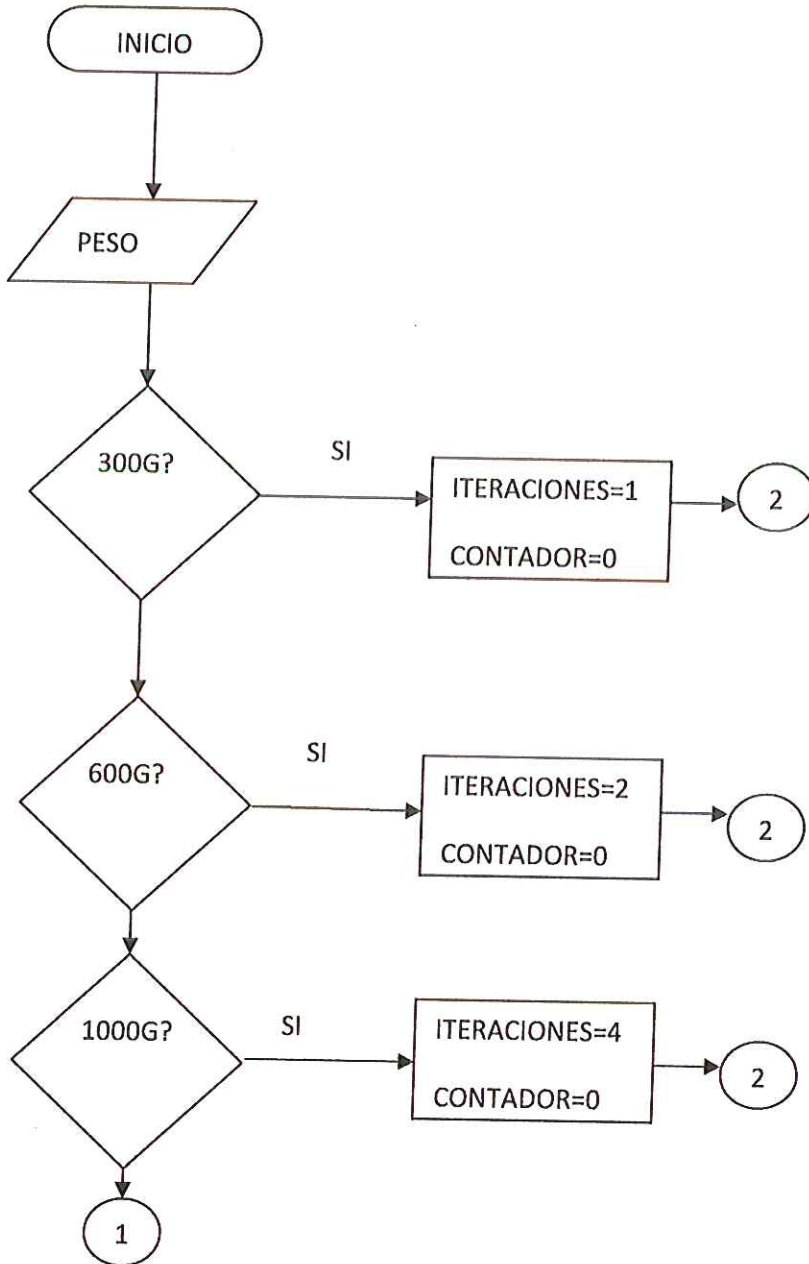
Como se puede observar, el sistema a controlar resulta muy sencillo, pues no hay ninguna señal analógica de salida que controlar, solo se necesitan las señales de encendido y apagado, es decir, el sistema funcionará con un control ON/OFF.

La secuencia de funcionamiento para el mecanismo de empacado consiste de cuatro etapas: el pesaje, la compresión del material, el empacado en la bolsa, y la retracción hasta la posición de inicio. Para cada parte de la tolva, existirá un diagrama de estados, en el control del empacado, la etapa de pesaje solo actúa como un impulso de inicio para la secuencia de compresión y empacado, por lo tanto, se puede interpretar como un impulso lógico, y así se tratará en el programa de control. Para simplificar el programa, y para ajustarse a los límites que impone el tamaño de la tolva, se impone un tope de pesaje de 300g por carga de tolva; esto quiere decir que, para llenar una bolsa de 300g, solo requerirá 1 iteración del proceso de llenado, para llenar una bolsa de 600g requerirá 2 iteraciones, y para llenar una bolsa de 1000g requerirá 4 iteraciones, siendo la última iteración de 100g. Para lograr el llenado por iteraciones, se acondiciona un sistema de suma ligado al selector de peso, que le "dirá" al programa qué tanto material se quiere empacar en la bolsa a llenar, y activará las sumas o las desactivará.



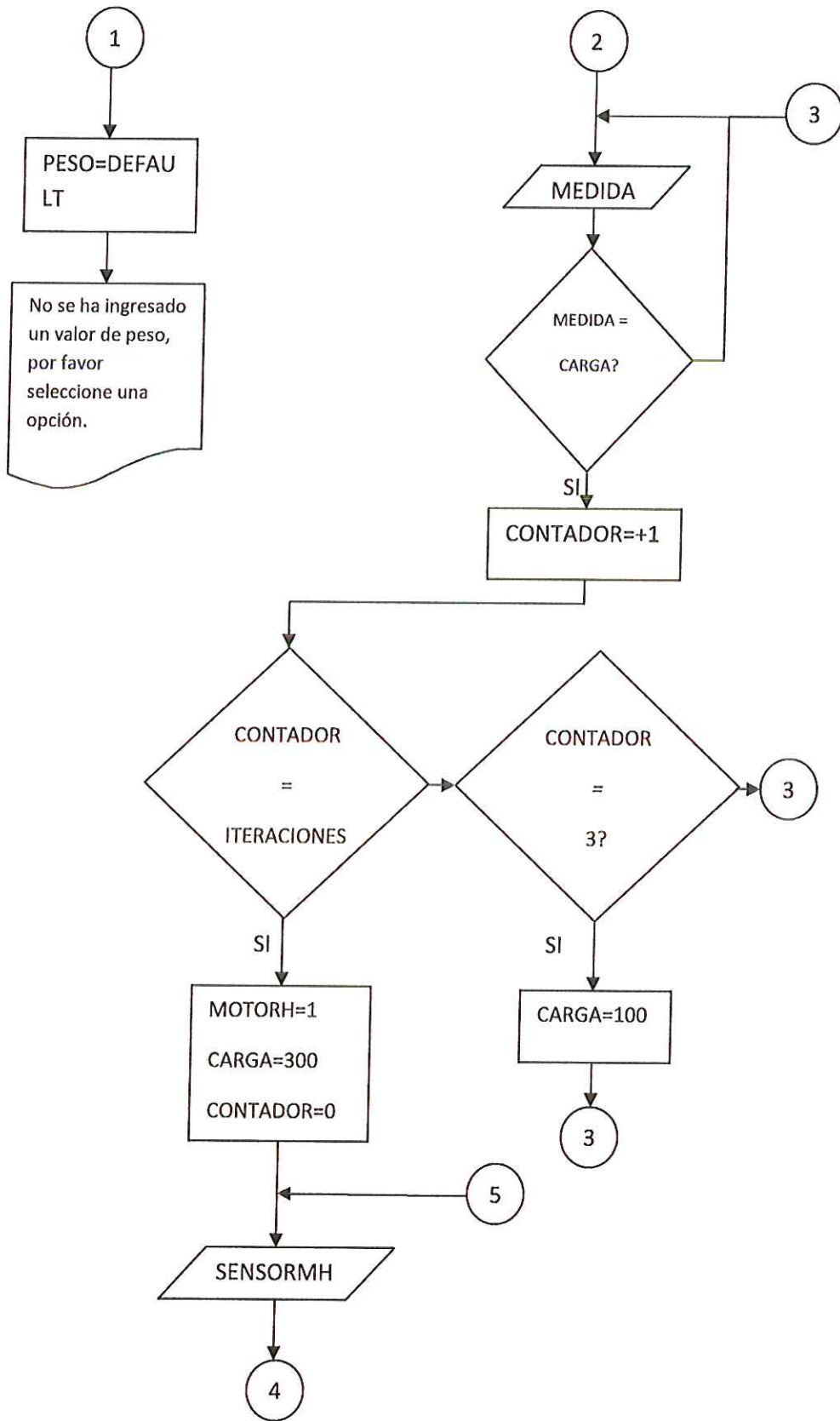
### 3.3.1 DIAGRAMA DE FLUJO

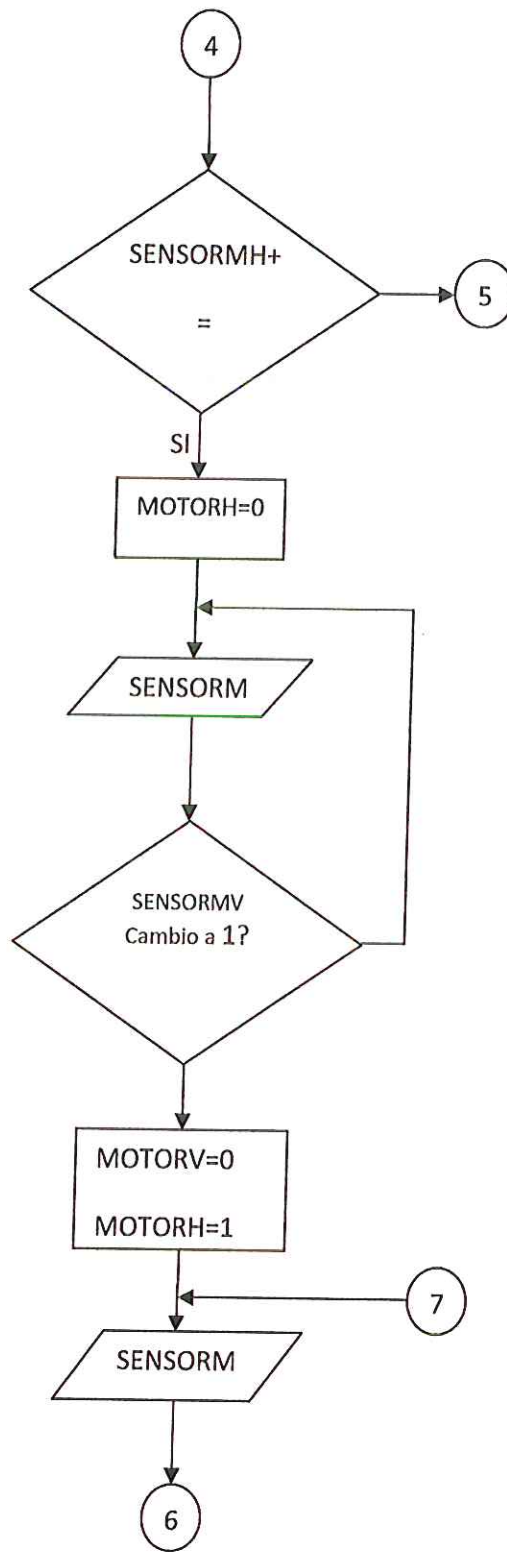
Para ilustrar el funcionamiento del programa de empacado, se presenta un diagrama de flujo de programación:

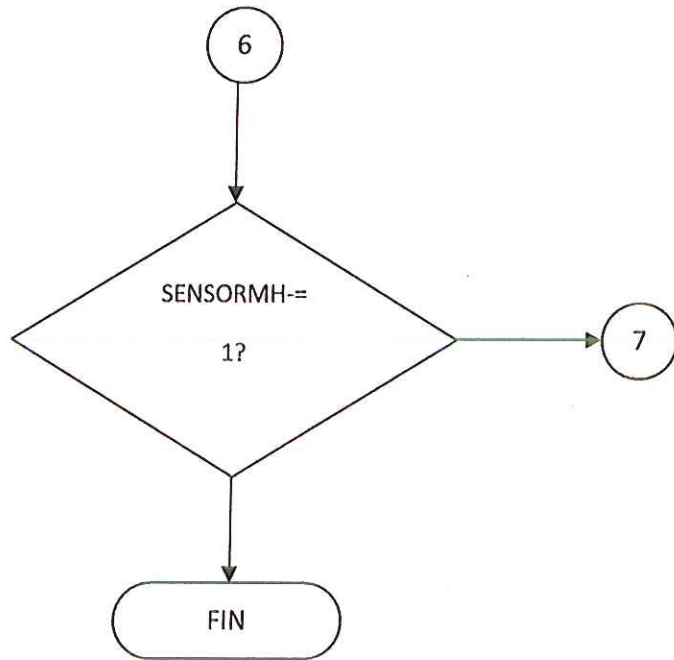


**Figura 35: Inicio Diagrama De Flujo Lógica Principal De Control Del Sistema**

(Fuente: Autores)



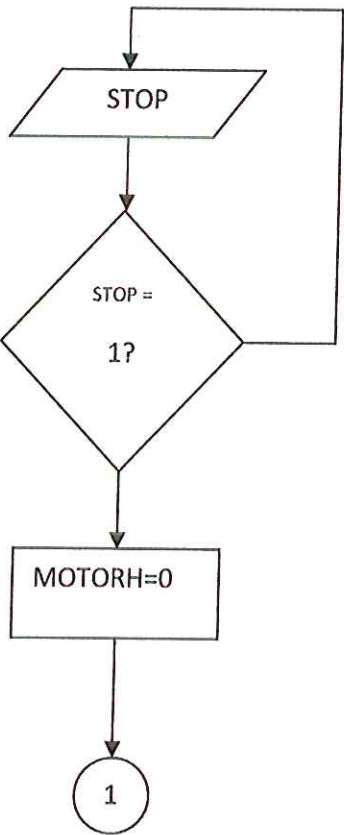




**Figura 36: Fin Diagrama De Flujo Lógica Principal De Control Del Sistema**

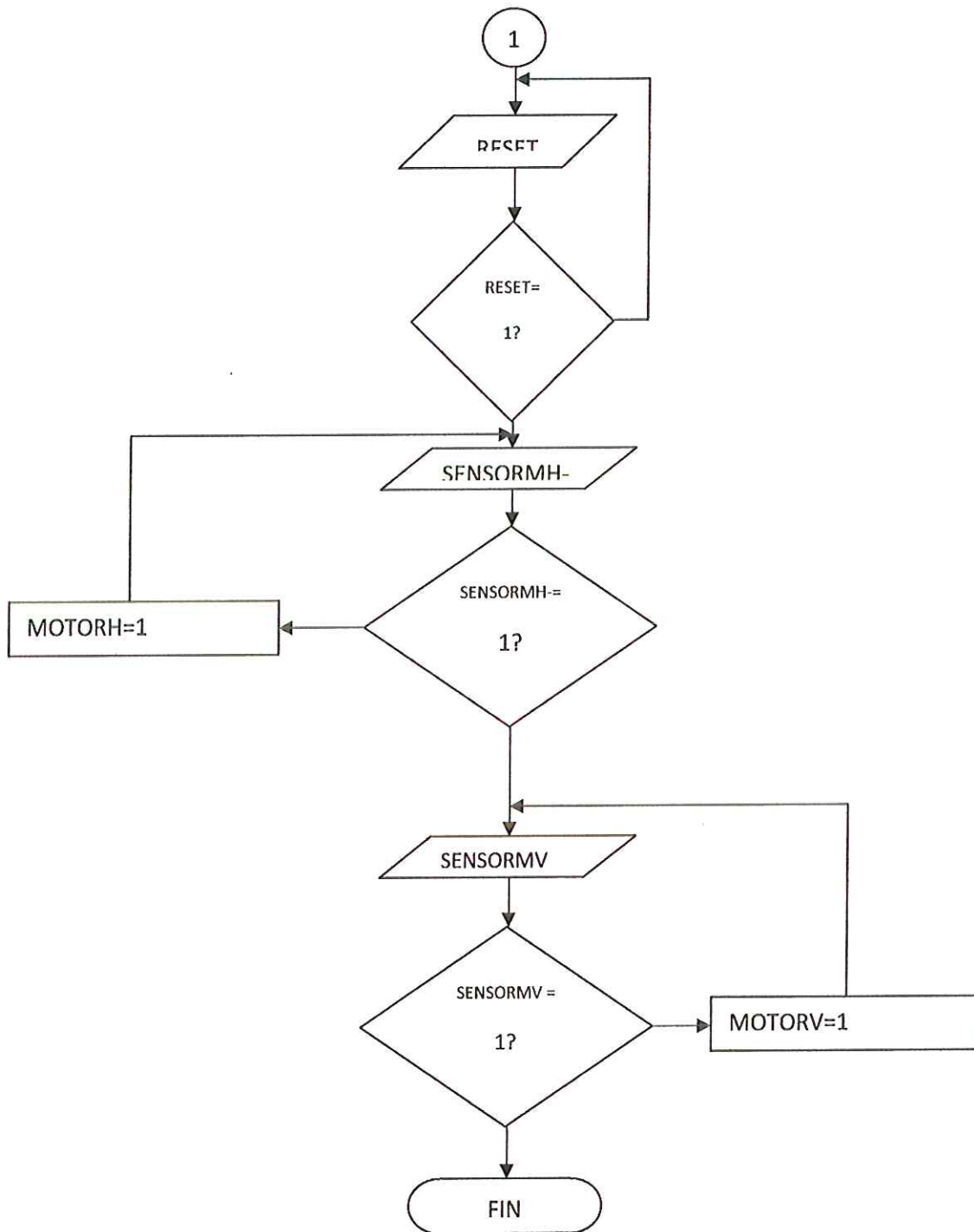
(Fuente: Autores)

Aparte del programa principal, se debe pensar una interrupción para el botón de parada de emergencia y el reset; por el método de programación con el lenguaje KOP del PLC (bloques de programación), estos dos son un solo programa, sin embargo, conceptualmente el stop es una programación aparte.



**Figura 37: Diagrama de flujo lógica parada de emergencia**

(Fuente: Autores)



**Figura 38: Diagrama De Flujo Lógica De Interrupción Para La Parada De Emergencia**

(Fuente: Autores)

### 3.3.2 VARIABLES DEL PROGRAMA

- PESO: variable discreta, controlada por el usuario; tiene 3 valores posibles: 300g, 600g, 1000g, default. Estos valores son comparados y controlan las iteraciones del ciclo de pesaje.
- ITERACIONES: variable discreta, depende de la variable PESO, corresponde al número de veces que se ejecutará el ciclo de pesaje por bolsa.
- CONTADOR: variable discreta, de control de flujo, se restablece al 0 (cero) cada vez que terminan las iteraciones del ciclo de pesaje.
- MEDIDA: variable de entrada, analógica; procedente de los valores sumados de las celdas de carga.
- CARGA: variable discreta, depende de la iteración en que se encuentre el ciclo; cambia a 100 en el cuarto ciclo si se está empacando 1000g, y es la variable de comparación con la cual se contraponen los valores de entrada MEDIDA.
- MOTORH: variable de salida, discreta; activa o desactiva el motor de la manivela biela corredera horizontal.
- MOTORV: variable de salida, discreta; activa o desactiva el motor de la manivela biela corredera vertical.
- SENSORMH+: variable de entrada, discreta; indica que el mecanismo manivela biela corredera horizontal se encuentra extendido hasta su posición máxima en x.
- SENSORMH-: variable de entrada, discreta; indica que el mecanismo manivela biela corredera horizontal se encuentra retraído hasta la posición original en x.
- SENSORMV: variable de entrada, discreta; indica que el mecanismo manivela biela corredera vertical se encuentra retraído a su posición de inicio.
- STOP: parada de emergencia, discreto. Detiene el funcionamiento de los motores al ser presionado, es un motor auto enclavado mecánicamente.

- **RESET:** variable de entrada, discreta. Solo se puede activar si STOP está activado; devuelve los mecanismos de manivela biela corredera a sus posiciones de inicio si no lo están en el momento de ser presionado este botón.

#### 4. CONSTRUCCION Y PRUEBAS

La construcción del sistema comenzó con la elaboración de una lista de materiales detallada para cada pieza de la tolva, detallando la identidad de cada parte, las dimensiones y el material en que se construiría:

Ver detalles (Anexo: planos mecánicos de la tolva empacadora)



***Figura 39: Algunas piezas del mecanismo de compactación del sistema.***

(Fuente: Autores)



#### 4.1 PRUEBAS Y RESULTADOS

Habiendo adquirido todos los materiales, se realizaron los procesos de cortado, doblado y formado de las platinas; en este punto se observó un inconveniente con la construcción: a pesar de que se hizo el formado de las platinas frontal y trasera, así como de la lámina de compresión en un taller especializado de corte y formado de láminas, no se logró una curvatura exactamente igual a la que se diseñó (ver figura 39 y 40), pues la forma elíptica que describe la curva es muy difícil de reproducir sin métodos completamente automatizados, pues un humano siempre cometerá un error considerable en la medida y el terminado de la pieza.



**Figura 40: Láminas curvas para la tolva de pesaje**

**La imagen a la izquierda visualiza una de las láminas curvas en forma de elipse, la cual forma parte de la carcasa de la tolva como se muestra en la imagen de la derecha.**

(Fuente: Autores)

No solo con los formados complejos se tuvo problemas de precisión; incluso en los cortes rectos, se notó una desviación de los cortes, que en otras circunstancias tendría poca incidencia en el acabado final del aparato, sin embargo, por ser los mecanismos relativamente pequeños, se necesitaba que fueran altamente precisos y que no tenga imperfecciones en sus ejes, para evitar movimientos que

generen desviaciones en el movimiento del mecanismo; lo cual produjo que el mecanismo se bloqueara (ver figuras 39 y 40).



***Figura 41: Mecanismo manivela - biela - corredera para la compactación del producto en la tolva.***

***En la figura se observa la tolva con el mecanismo de compactación del producto instalado en la tolva.***

(Fuente: Autores)



**Figura 42: Mecanismo de compactación bloqueado**

*La figura visualiza el momento en el cual el mecanismo se bloquea y podemos observar que la mayoría de los ejes no se encuentran en posición vertical, sino por el contrario están posición inclinada; lo cual genera que el desplazamiento del mecanismo se desvíe.*

*(Fuente: Autores)*

Con la tolva construida se observó que los procesos que utilizaron en el taller especializado de metal mecánica, no fueron los adecuados; debido a estas pequeños inconvenientes el mecanismo no funciono de la forma como se esperaba, según el diseño.

El resto del trabajo de ensamblaje de la tolva se continuó en el taller del piso 7 del edificio de ingenierías, bajo la supervisión y con la asistencia del encargado del taller; se realizó el maquinado de los soportes, las barras que servirían como manivelas y bielas, se soldaron las partes con el mayor cuidado y la mayor precisión posibles; sin embargo, debido a que el trabajo de metalmecánica no fue el adecuado, las imprecisiones en los cortes y dobleces de las laminas dejarían desalineaciones de entre 2 y 3 mm de tamaño, y desviaciones de 1 grado o 2 de inclinación, y juegos de menos de medio milímetro en los agujeros donde se acomodarían las guías de la prensa horizontal.

Fue en la prensa horizontal donde se vio de manera vehemente que los procesos de metalmecánica que se llevaron a cabo no eran los apropiados cuando se llegó a la etapa de construcción de la tolva. La alineación de las barras de guía en la lámina de prensado con una precisión de menos de 1 grado, es decir, el completo paralelismo entre las barras, que es requerido para que las guías cumplan la función de dirigir y facilitar el movimiento del mecanismo, no se podía lograr porque los huecos por donde pasaban las guías no quedaron equidistantes; debido a que la curva de la lamina no es perfecta a causa de que en la industria metalmecánica en nuestra región, no cuenta con un sistema de dobleces para esas dimensiones de la lamina, lo cual, las curvas se realizaron por golpe artesanalmente.

Los rodamientos de duralón probaron también ser inapropiados para tal construcción, así como los buffers de las guías de la prensa horizontal. Al concluir la construcción y al poner en prueba el mecanismo, se produjo un atascamiento que tenía origen en los pequeños espacios que quedaban entre las guías y los buffers que las rodeaban, y en el hecho de que la componente vertical de la fuerza ejercida por la manivela hiciera un efecto de palanca en el sistema; además, se presentó una desviación marcada hacia la pared derecha de la tolva por parte de la prensa vertical.

La conclusión del equipo fue que el sistema de compactación del producto debería utilizar un mecanismo menos complejo, con el cual se obtuvieran mejores resultados.

## 5. REDISEÑO

Debido a los resultados obtenidos en la etapa de construcción y pruebas, el equipo de trabajo llegó a la decisión de utilizar otro mecanismo; por consiguiente se eligió un mecanismo que utilizara pistones neumáticos, porque este era el segundo más adecuado para el sistema (ver tabla 39).

### 5.1 DISEÑO DE LOS PISTONES

Para el diseño de los pistones, es necesario conocer la fuerza necesaria para el sistema; la cual es la misma fuerza que necesitaba generar el mecanismo de manivela – biela – corredera que es equivalente a 163.67 N (ver sección 3.1.2.1).

#### 5.1.2 CALCULO DE LOS PISTONES

La fuerza ejercida por un elemento de trabajo depende de la presión del aire, del diámetro del cilindro del rozamiento de las juntas. La fuerza teórica del émbolo se calcula con la siguiente fórmula:

$$F_{\text{teor}} = A * p \quad \text{ECUACION 12: fuerza teórica para pistón neumático}$$

$$F_{\text{teor}} = \text{Fuerza teórica del émbolo} \quad [\text{N}]$$

$$A = \text{superficie útil del émbolo} \quad [\text{Cm}^2]$$

$$p = \text{Presión de trabajo} \quad [\text{kPa}, 10^5 \text{ N/m}^2, \text{ bar}]$$

En la práctica es necesario conocer la fuerza real. Para determinarla hay que tener en cuenta los rozamientos. En condiciones normales de servicio (presiones de 400 a 800 kPa/4 a 8 bar) se puede suponer que las fuerzas de rozamiento representan de un 3 a un 20% de la fuerza calculada.

### Cilindro de simple efecto.

$$F_n = A * p - (F_R + F_F)$$

ECUACION 13: Fuerza efectiva real de un pistón neumático

### Cilindro de doble efecto.

#### (Al avance)

$$F_n = A * p - F_R$$

$F_n$  = fuerza efectiva o real del émbolo

$A$  = superficie útil del émbolo

$$= (D^2 * \pi/4)$$

$A'$  = superficie útil del anillo del émbolo

$$= (D^2 - d^2) * \pi/4$$

$P$  = presión de trabajo

$F_R$  = fuerza de rozamiento (3-20%)

$F_F$  = fuerza del muelle de recuperación

$D$  = diámetro del émbolo

$d$  = diámetro del vástago

### Cilindro de doble efecto

#### (Al retroceso)

$$F_n = A' * p - F_R$$

[N]

[Cm<sup>2</sup>]

[Cm<sup>2</sup>]

[kPa, 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup>, bar]

[N]

[N]

[mm]

[mm]

## CALCULO DE LOS PISTONES PARA LA COMPATACIÓN DE LA FIBRA

$$D = 50 \text{ mm}$$

$$d = 12 \text{ mm}$$

$$A = 19.625 \text{ Cm}^2$$

$$A' = 18.5 \text{ Cm}^2$$

$$F_R = 50\% \text{ (valor medio)}$$

$$F_n = ?$$

### Superficie del émbolo

$$A = D * \pi/4 = 5 \text{ Cm} * 5 \text{ Cm} * \pi/4 = 19.625 \text{ Cm}^2$$

### Superficie Anular del émbolo

$$A = (D^2 - d^2) * \pi/4 = (25 \text{ Cm}^2 - 1.44 \text{ cm}^2) * \pi/4 = 18.5 \text{ cm}^2$$

### Fuerza teórica de empuje en el avance

$$F_{\text{teor}} = A * p = 19.625 * 10^{-4} \text{ m}^2 * 6 * 10^5 \text{ N/m}^2 = 1177.5 \text{ N}$$

### Resistencia de rozamiento y pérdida de aire

Por ser pistones artesanales se tendrá en cuenta un rozamiento del 50% incluyendo la pérdida de aire.

$$F_R = 588,75 \text{ N}$$

### Fuerza real de empuje del émbolo en el avance

$$F_n = A * p - F_R = 1177.5 - 588.75 = 588.75 \text{ N}$$

### **Fuerza teórica de tracción del embolo en el retorno**

$$F_{\text{teor}} = A' * p - F_R = 18.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 * 6 * 10^5 \text{ N/m}^2 = 1110 \text{ N}$$

### **Resistencia de rozamiento (50%)**

$$F_R = 555 \text{ N}$$

### **Fuerza real de tracción del émbolo en el retorno**

$$F_n = A * p - F_R = 1110 - 555 = 555 \text{ N}$$

La fuerza necesaria para la compactación del producto es de 163.67 N (sección 3.1.2.1.) y los pistones nos proveen una fuerza de 555 N, lo cual podemos observar que tenemos una fuerza suficiente para compactar el producto a la forma que deseamos.



***Figura 43: Pistón neumático construido artesanalmente***

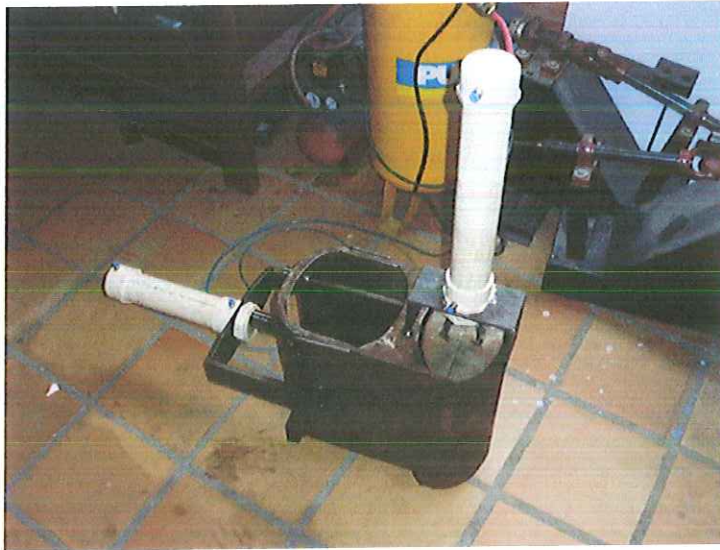
***La figura muestra el pistón neumático que construyó el equipo para el sistema.***

***(Fuente: Autores)***



## 5.2 CONSTRUCCION, PRUEBAS Y RESULTADOS

En las imágenes siguientes se muestran las imágenes correspondientes al proceso de construcción del sistema tolva – bascula:



*Figura 44: Pistones ensamblados a la tolva.*

*(Fuente: Autores)*



*Figura 45: Etapa de pintura*

*(Fuente: Autores)*



***Figura 46: Sistema parcialmente construido y ensamblado.***

***(Fuente: Autores)***

Con el mecanismo basado en pistones construido, se procedió a accionar los pistones, emulando la secuencia de compresión que se espera programar con el PLC, comprobando que el sistema si es capaz de comprimir la fibra de polipropileno efectivamente hasta el 35% de su volumen original.

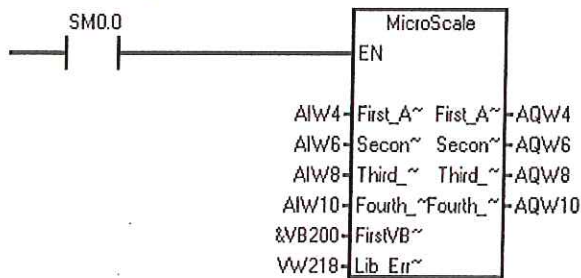
Posteriormente, se creó una aplicación en el PLC para probar el funcionamiento automático del mecanismo; las pruebas fueron exitosas, y se pudo empacar una bolsa de 300g sin problemas.

### **5.3 PROGRAMA DE CONTROL**

El programa en lenguaje KOP que se muestra a en las páginas siguientes, es la realización de la lógica de programación descrita en la sección de control; Para información acerca de los bloques de librería para la configuración de las básculas SIWAREX MS y de la pantalla táctil TP177A, véase el manual de usuario (Bibliografía ítem 9).

### Network 1

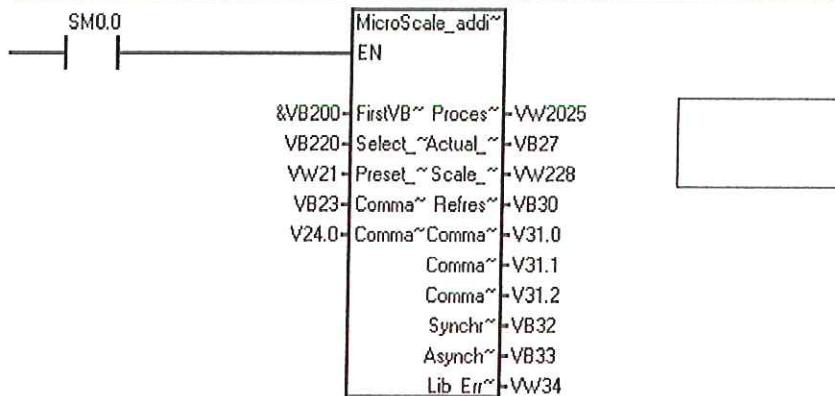
Bloque 1: Celda de carga A; en este bloque se configura la librería Microscale para el módulo SIWAREX de la celda de carga A; se le asignan las entradas analógicas, el apuntador de la primera dirección que usará la librería para la operación de la báscula, y donde se almacenaran los errores si ocurren.



Símbolo	Dirección	Comentario
ENCENDIDO	SM0.0	SIEMPRE EN CICLO
Q_S1_Lib_Error_Bits	VW218	Scale1 - VWn+18

### Network 2

Bloque de configuración de las funciones adicionales del módulo de pesaje SIWAREX; con este bloque se permite la lectura del valor actual que mide la celda de carga por el puerto "Processvalue" y se controlan parámetros como el taraje y la curva de calibración.

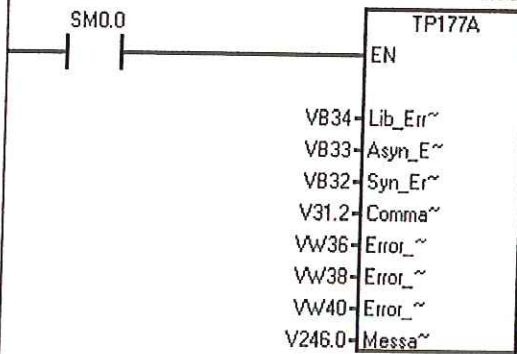


Símbolo	Dirección	Comentario
Add_Act_Process_Value	VB27	additional: actual Processvalue
Add_Asynch_Error_Bits	VB33	additional: asynchronous error (bit by bit)
Add_Command_Code	VB23	additional: Command code
Add_Command_ERR	V31.2	additional: command error has occurred
Add_Command_FOK	V31.1	additional: command finished ok
Add_Command_In_Progress	V31.0	additional: command in progress
Add_Command_Trigger	V24.0	additional: Command trigger
Add_Lib_Error_Bits	VW34	additional: Library Error Bits
Add_Preset_Tare_Value	VW21	additional: Preset Tare Value
Add_Refresh_Counter	VB30	additional: Refresh counter
Add_Scale_Status	VW228	additional: Scale status
Add_Synch_Error_Code	VB32	additional: synchronous error code
ENCENDIDO	SM0.0	SIEMPRE EN CICLO
Q_S1_RW_Mode_DS_Nr	VB220	Scale1 - VBn+20

**Figura 47: bloques de configuración de la báscula 1, se presentan los bloques, la descripción general de la función de cada uno, y las variables involucradas junto con sus direcciones de memoria.**

### Network 5

Bloque de configuración para la pantalla táctil TP177A, detalles acerca de la configuración de este bloque se pueden conseguir en los documentos referenciados en la bibliografía.



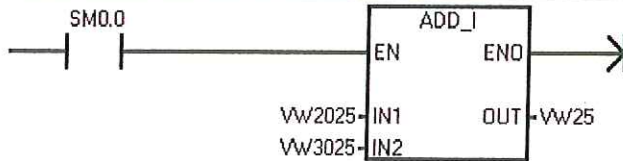
Símbolo	Dirección	Comentario
Add_Asynch_Error_Bits	VB33	additional: asynchronous error (bit by bit)
Add_Command_ERR	V31.2	additional: command error has occurred
Add_Lib_Error_Bits_HB	VB34	additional: Library Error Bits HighByte
Add_Synch_Error_Code	VB32	additional: synchronous error code
ENCENDIDO	SM0.0	SIEMPRE EN CICLO
Error_Messages1	VW36	Error_Messages
Error_Messages2	VW38	Error_Messages
Error_Messages3	VW40	Error_Messages
Messages_Erase	V246.0	Fault messages erase for Panel

**Figura 49:** bloque de configuración de la pantalla TP177A. se presentan las variables que se usaron y las direcciones de memoria correspondientes.

En las páginas siguientes, se presentan los bloques funcionales del programa, junto con su descripción, funciones, y las variables utilizadas en cada uno; cada bloque tiene su descripción en letra verde, en el cuadro superior al bloque. Las variables usadas en el bloque se encuentran indicadas en la parte inferior de cada bloque, junto con sus direcciones de memoria.

### Network 6

Se suman las lecturas de las celdas de carga para obtener el peso total de lo que sea que esté en la tolva, para el caso de esta aplicación, es el peso total de fibra de polipropileno.

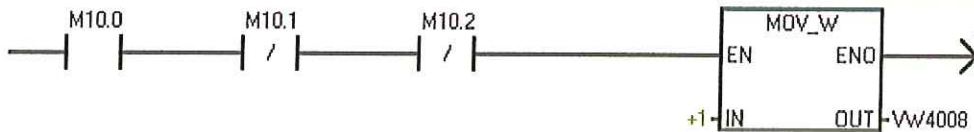


Símbolo	Dirección	Comentario
Add_Process_Value	VW25	additional: Processvalue
ENCENDIDO	SM0.0	SIEMPRE EN CICLO

### Network 7

Selección de peso: 300g. recibe la variable desde la pantalla, y verifica si corresponde a la dirección apropiada para este peso; activar otro botón de selección de peso desactiva esta marca.

Requerimiento para iniciar la secuencia.

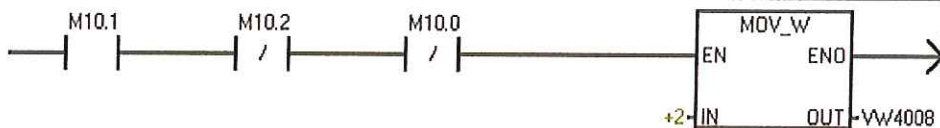


Símbolo	Dirección	Comentario
Marca_1kg	M10.2	Entrada desde la pantalla táctil para seleccionar el llenado de b...
Marca_300g	M10.0	Entrada desde la pantalla táctil para seleccionar el llenado de b...
Marca_600g	M10.1	Entrada desde la pantalla táctil para seleccionar el llenado de b...
Numero_de_Iteraciones	VW4008	Var donde se almacenan la cantidad de veces que se hará el c...

### Network 8

Selección de peso: 600g. recibe la variable desde la pantalla, y verifica si corresponde a la dirección apropiada para este peso; seleccionar otro peso desactiva esta marca.

Requerimiento para iniciar la secuencia.



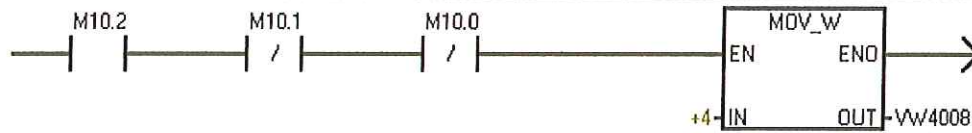
Símbolo	Dirección	Comentario
Marca_1kg	M10.2	Entrada desde la pantalla táctil para seleccionar el llenado de b...
Marca_300g	M10.0	Entrada desde la pantalla táctil para seleccionar el llenado de b...
Marca_600g	M10.1	Entrada desde la pantalla táctil para seleccionar el llenado de b...
Numero_de_Iteraciones	VW4008	Var donde se almacenan la cantidad de veces que se hará el c...

La imagen continúa en la página siguiente.

### Network 9

Selección de peso: 1kg. recibe la variable desde la pantalla, y verifica si corresponde a la dirección apropiada para este peso; seleccionar otro peso desactiva esta marca.

Requerimiento para iniciar la secuencia.



Símbolo	Dirección	Comentario
Marca_1kg	M10.2	Entrada desde la pantalla táctil para seleccionar el llenado de b...
Marca_300g	M10.0	Entrada desde la pantalla táctil para seleccionar el llenado de b...
Marca_600g	M10.1	Entrada desde la pantalla táctil para seleccionar el llenado de b...
Numero_de_iteraciones	Vw4008	Var donde se almacenan la cantidad de veces que se hará el c...

### Network 10 Título de segmento

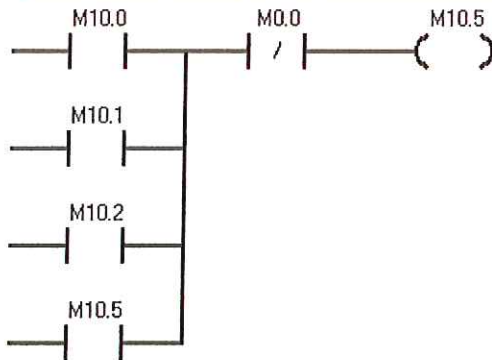
Parada de emergencia, interrumpe el funcionamiento del sistema prematuramente, en caso de ser necesario.



Símbolo	Dirección	Comentario
MPARADA	M0.0	Marca correspondiente a la parada de emergencia.
PARADA	I0.0	Entrada del boton de parada de emergencia

### Network 11

Si se ha seleccionado algún peso, se activa esta marca, y se mantiene activa por la duración de la sesión.

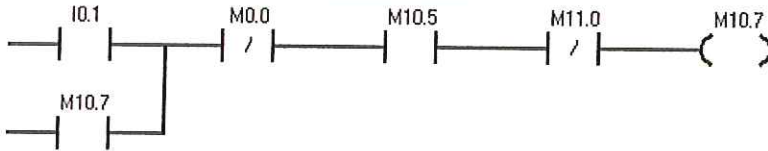


Símbolo	Dirección	Comentario
Marca_1kg	M10.2	Entrada desde la pantalla táctil para seleccionar el llenado de b...
Marca_300g	M10.0	Entrada desde la pantalla táctil para seleccionar el llenado de b...
Marca_600g	M10.1	Entrada desde la pantalla táctil para seleccionar el llenado de b...
MPARADA	M0.0	Marca correspondiente a la parada de emergencia.
PESO_SELECCIONADO	M10.5	Marca que indica si se ha seleccionado un peso

La imagen continúa en la página siguiente.

### Network 12

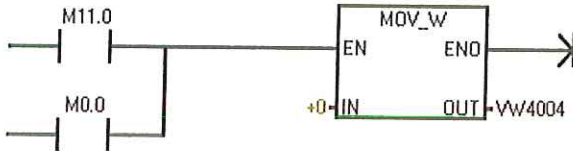
Si el sistema no está en parada de emergencia, el peso ya ha sido seleccionado y no se ha completado el pesaje, se habilita el inicio del ciclo de pesaje mediante el contacto "BOTON\_INICIO" correspondiente al pedal de inicio que se encuentra a los pies del operario. El ciclo de pesaje termina por parada de emergencia o cuando se completa, y no puede ser iniciado sin haber seleccionado un peso para llenar la bolsa.



Símbolo	Dirección	Comentario
BOTON_INICIO	I0.1	Entrada del pedal interruptor para el inicio del proceso.
MINICIO	M10.7	se mantiene encendido mientras continúe el FOR de ciclo de p...
MPARADA	M0.0	Marca correspondiente a la parada de emergencia.
PESAJE_COMPLETO	M11.0	Indica el fin de un ciclo de pesaje
PESO_SELECCIONADO	M10.5	Marca que indica si se ha seleccionado un peso

### Network 13

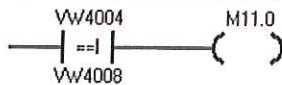
Cuando se termina el ciclo, se activa la marca PESAJE\_COMPLETO, que pone a 0 (cero) el contador de iteraciones, para iniciar otro ciclo de pesaje. También se resetea el conteo si se oprime la parada de emergencia, restableciendo el valor a 0 para volver a comenzar el pesaje de una bolsa.



Símbolo	Dirección	Comentario
Contador_iteraciones	VW4004	Registro de la iteración en que se encuentra el ciclo de peso.
MPARADA	M0.0	Marca correspondiente a la parada de emergencia.
PESAJE_COMPLETO	M11.0	Indica el fin de un ciclo de pesaje

### Network 14

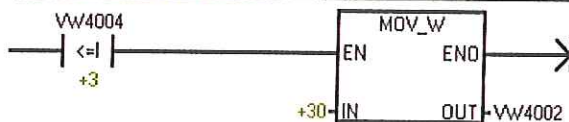
Cuando se llegue al número de iteraciones del ciclo de pesaje correspondiente al tamaño de bolsa, se activa la terminación del ciclo.



Símbolo	Dirección	Comentario
Contador_iteraciones	VW4004	Registro de la iteración en que se encuentra el ciclo de peso.
Numero_de_iteraciones	VW4008	Var donde se almacenan la cantidad de veces que se hará el c...
PESAJE_COMPLETO	M11.0	Indica el fin de un ciclo de pesaje

### Network 15

Asignación del valor de carga a pesar para los ciclos 1, 2 y 3. Se utiliza para todos los pesos. se le da un valor de +30, correspondiente a 300g de fibra.

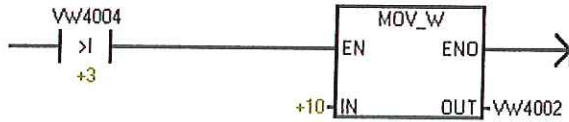


Símbolo	Dirección	Comentario
Contador_iteraciones	VW4004	Registro de la iteración en que se encuentra el ciclo de peso.
Tamaño_de_Carga	VW4002	Valor de referencia de peso para cada ciclo, cambia a 100g en ...



### Network 16

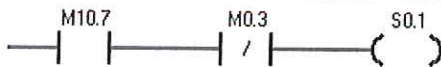
Asignación del valor de carga a pesar para el ciclo 4. solo se utiliza cuando se está pesando 1kg. se le da un valor de +10, correspondiente a 100g de fibra.



Símbolo	Dirección	Comentario
Contador_iteraciones	VW4004	Registro de la iteración en que se encuentra el ciclo de peso.
Tamaño_de_Carga	VW4002	Valor de referencia de peso para cada ciclo, cambia a 100g en ...

### Network 17

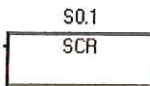
Cuando se activa el inicio del ciclo de pesaje, se enciende el relay de secuencia S0.1, que comienza la comparación de peso. La comparación de peso se termina cuando se ha completado la secuencia de empaquetado.



Símbolo	Dirección	Comentario
FINSECUENCIA	M0.3	Trigger de desactivación de la secuencia de descarga de mate...
MINICIO	M10.7	se mantiene encendido mientras continúe el FOR de ciclo de p...

### Network 18

Relay de la comparación de peso.



### Network 19

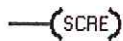
Cuando la variable "Add\_Process\_Value" es igual a la variable "Tamaño\_de\_Carga", se inicia la secuencia de empaquetado del material, mediante la activación del Relay de secuencia S1.1.



Símbolo	Dirección	Comentario
Add_Process_Value	VW25	additional Processvalue
Tamaño_de_Carga	VW4002	Valor de referencia de peso para cada ciclo, cambia a 100g en ...

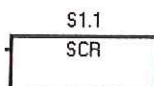
### Network 20

Fin de la secuencia S0.1, correspondiente a la comparación de peso.



### Network 21

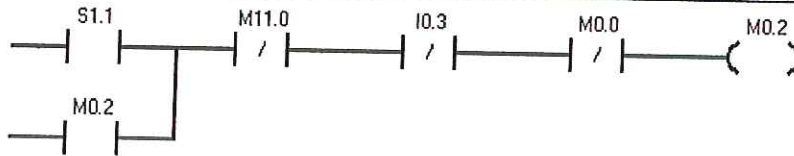
Relay de la secuencia S1.1, empaquetado de material



La imagen continúa en la página siguiente.

### Network 22

Mientras el pesaje no se haya completado, no se encuentre el sistema en parada de emergencia, y el pistón vertical no se encuentre extendido, se inicia la secuencia. Las anteriores condiciones también terminan la secuencia.



Símbolo	Dirección	Comentario
MPARADA	M0.0	Marca correspondiente a la parada de emergencia.
PESAJE_COMPLETO	M11.0	Indica el fin de un ciclo de pesaje
SECUENCIA	M0.2	Marca de activación de la secuencia de descarga de material
SPISTONV	I0.3	Final de carrera del pistón vertical

### Network 23

Una vez iniciada la secuencia, mientras se encuentre activa, comienza la compresión del material, por medio de la salida Q0.0, que activa la bobina del pistón horizontal.



Símbolo	Dirección	Comentario
Activar_Piston_H	Q0.0	Señal de activación para el pistón horizontal
PESAJE_COMPLETO	M11.0	Indica el fin de un ciclo de pesaje
SECUENCIA	M0.2	Marca de activación de la secuencia de descarga de material
SPISTONV	I0.3	Final de carrera del pistón vertical

### Network 24

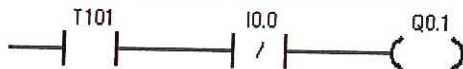
Una vez se activa el pistón horizontal, se condiciona un retardo de 1 segundo para después de haberlo desactivado, de manera que no se produzcan choques entre las prensas al retraer los pistones.



Símbolo	Dirección	Comentario
SPISTONH	I0.2	Final de carrera del pistón horizontal

### Network 25

El temporizador T101 se activa cuando se activa el final de carrera correspondiente a la variable SPISTONH, y se mantiene encendido 1 segundo después de la desactivación de dicho final de carrera, manteniendo activa la salida Q0.1, correspondiente al pistón vertical. Esto sucede mientras no esté activa o se active la parada de emergencia.

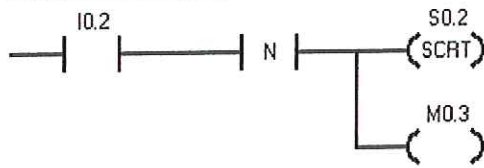


Símbolo	Dirección	Comentario
Activar_Piston_V	Q0.1	Señal de activación para el pistón vertical
PARADA	I0.0	Entrada del botón de parada de emergencia

La imagen continúa en la página siguiente.

**Network 26**

Una vez se desactiva el sensor del pistón horizontal, es decir, que el pistón comienza a retraerse, se termina la secuencia S1.1, para dar paso a la secuencia S0.2: el incremento del contador de iteraciones.



Símbolo	Dirección	Comentario
FINSECUENCIA	M0.3	Trigger de desactivación de la secuencia de descarga de mate...
SPISTONH	I0.2	Final de carrera del pistón horizontal

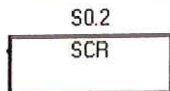
**Network 27**

Fin de la secuencia S1.1



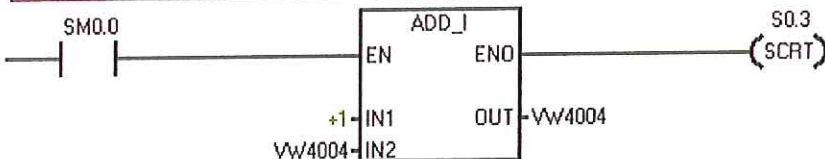
**Network 28**

Relay de secuencia S0.2



**Network 29**

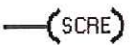
Una vez se activa el relay de secuencia 0.2, se incrementa en 1 la variable "Contador\_iteraciones", esto permite tener un registro de la cantidad de veces que se realiza el ciclo de pesaje para llenar las bolsas, y parar las iteraciones cuando se haya alcanzado la meta.



Símbolo	Dirección	Comentario
Contador_iteraciones	VW4004	Registro de la iteración en que se encuentra el ciclo de peso.
ENCENDIDO	SM0.0	SIEMPRE EN CICLO

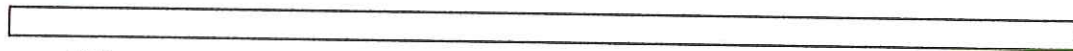
**Network 30**

Fin de la secuencia de incremento de iteraciones.



La imagen continúa en la página siguiente.

**Network 36**



Símbolo	Dirección	Comentario
Activar_Piston_V	Q0.1	Señal de activación para el pistón vertical
PARADA	I0.0	Entrada del boton de parada de emergencia

**Network 37**



Símbolo	Dirección	Comentario
SPISTONH	I0.2	Final de carrera del piston horizontal

**Network 38**



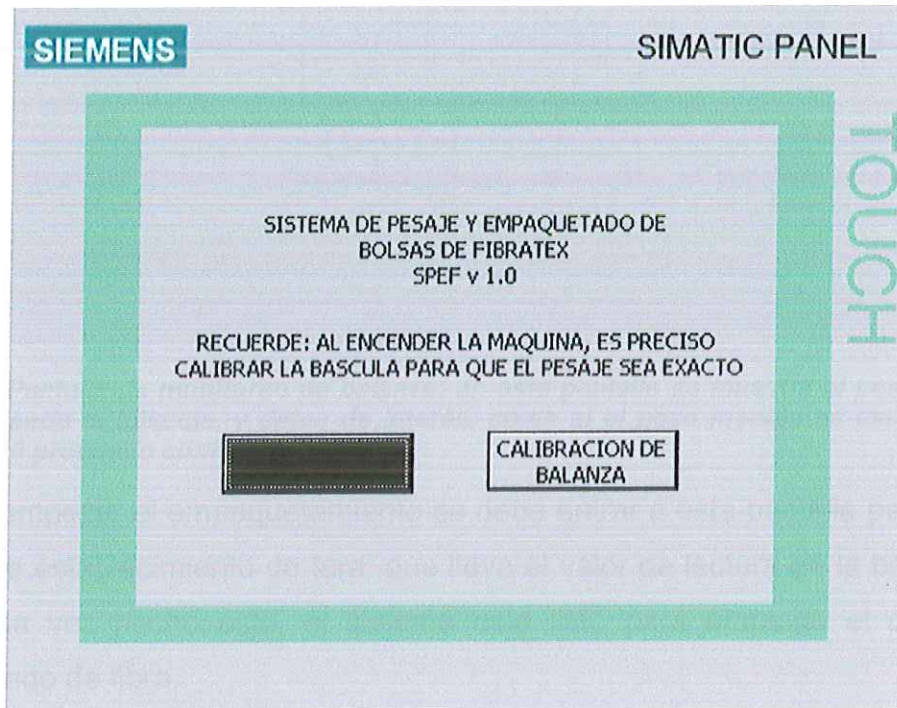
**Network 39**



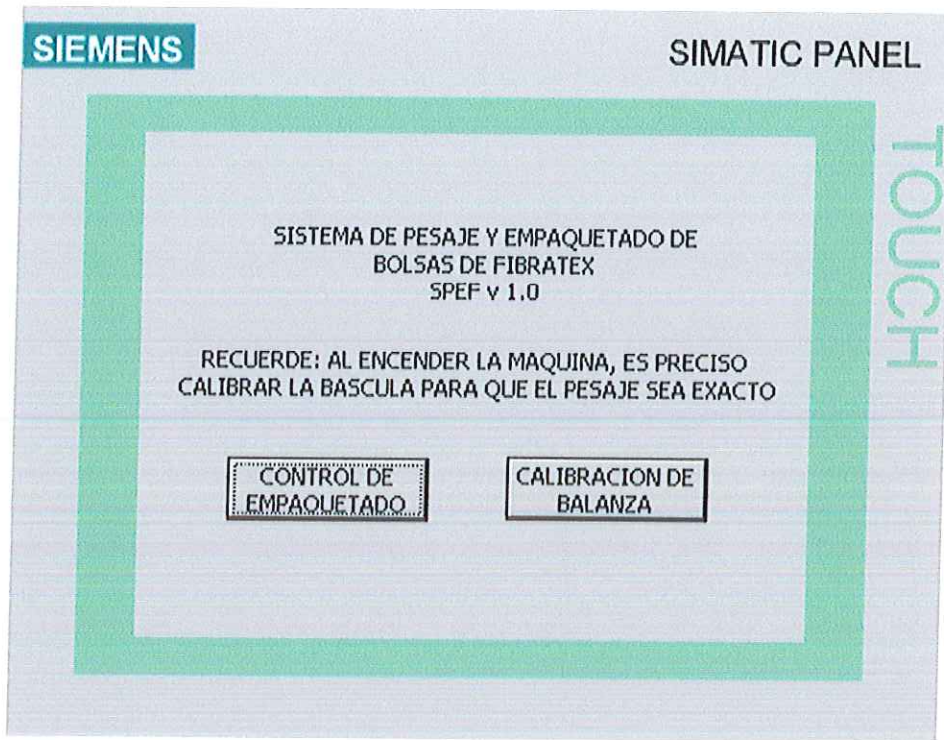
**Figura 50:** Sección funcional del programa de pesaje y empaquetado del SPEF; cada bloque está comentado, y posee la información necesaria para entender el programa. Las variables están relacionadas en las tablas de cada bloque, con su nombre, descripción y espacio.

### 5.3.1 INTERFACE HUMANO – MÁQUINA

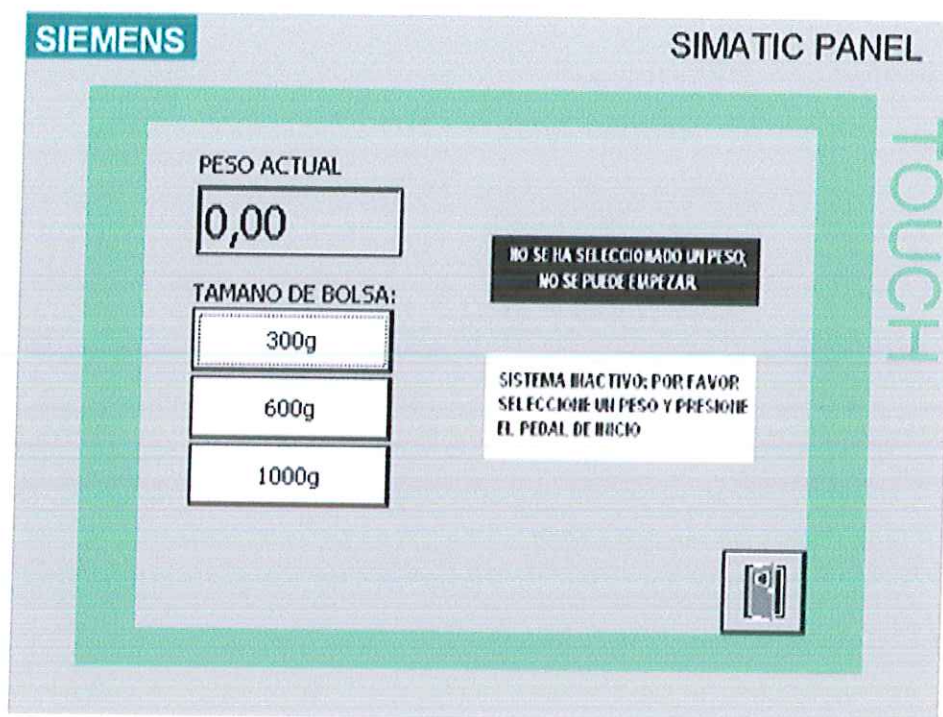
A continuación se muestra la interface HMI diseñada para el control del sistema Tolva – Báscula:



**Figura 51: Pantalla de bienvenida del panel de operador de la SPEF v 1.0; cuando la báscula no se encuentra calibrada, el botón de control de empaquetado se muestra en negro, indicando que el sistema no está listo para el empaquetamiento.**



**Figura 53: Pantalla de bienvenida. Nótese que el botón de control de empaquetado se encuentra en gris, mostrando el texto del botón; esto indica que el sistema está listo.**



**Figura 54:** Pantalla de control de empaquetado. En esta pantalla se pueden apreciar diferentes elementos que permiten controlar y monitorear el estado de la báscula durante la operación.

Arriba a la izquierda se puede observar la lectura actual de peso de la báscula en gramos, debajo de la lectura, se encuentran los botones que permiten seleccionar el peso de bolsa que se desea llenar, abajo a la izquierda está el botón de purga, que sirve para vaciar la tolva mientras no esté en funcionamiento; arriba a la derecha, se encuentra un aviso de estado de selección de peso, con dos textos posibles: “NO SE HA SELECCIONADO UN PESO, NO SE PUEDE EMPEZAR” y “LISTO PARA EMPEZAR, SE ESTÁN EMPACANDO BOLSAS DE X g” donde X puede ser 300, 600 o 1000, correspondiendo al peso.

Debajo del aviso de estado de selección de peso, se encuentra el aviso de estado del sistema, que también tiene dos valores: “SISTEMA INACTIVO, POR FAVOR SELECCIONE UN PESO Y PRESIONE EL PEDAL DE INICIO” y “PESAJE EN PROCESO, POR FAVOR UBIQUE LA BOLSA EN LA BOQUILLA DE LA TOLVA”.

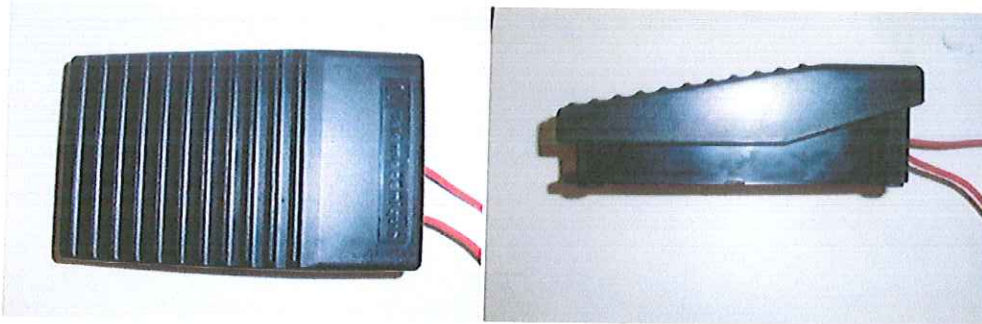
En la esquina inferior derecha, se encuentra el botón “salir”, que devuelve al usuario a la pantalla de bienvenida.

#### 5.4 DESCRIPCION DE LA SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO

A continuación, se presenta una breve descripción de la secuencia de funcionamiento del sistema Tolva – Báscula “SPEF” (Sistema de Pesaje y Empaquetado de Fibra).

Se deduce que el sistema está listo para empezar, es decir, se encuentra esperando seleccionar el peso deseado por el usuario, y una vez seleccionado el peso, se espera la orden de iniciar ciclo mediante el pedal que se muestra en la figura 55.

Al iniciar el ciclo, el sistema activa la etapa de pesaje y continua hasta que se cumpla el peso de 300 gr (ver sección 3.1.2); es decir, si se eligió 300 gr el sistema realizará una vez la secuencia, si se eligió 600 gr el sistema realizará dos veces la secuencia y si se eligió 1 Kg el sistema realizará cuatro veces la secuencia, tres con 300 gr y una con 100 gr para así completar 1 Kg.



**Figura 55: Pedal para el inicio de la secuencia.**

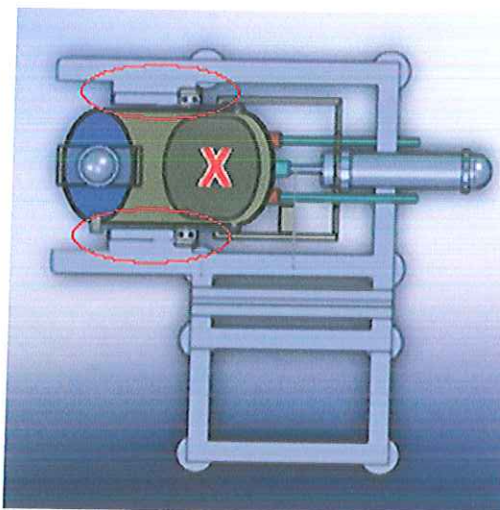
**(Fuente: Autores)**

Al elegir X gr la secuencia del sistema se accionará de la siguiente forma:



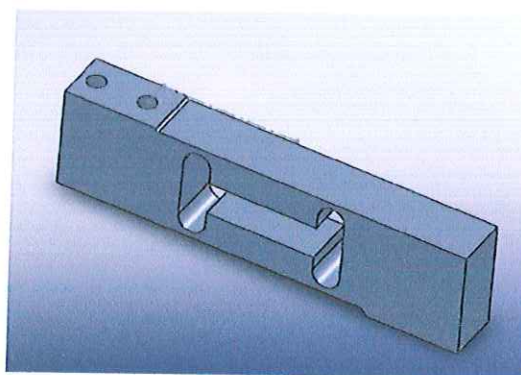
## 1. Etapa de Pesaje:

El sistema empezará a pesar el producto que entra por la boquilla de la tolva (representada con una "X" de color rojo en la figura 56), hasta que cumpla los 300 gr o 100 gr si es el caso; este pesaje lo hará mediante dos celdas de carga ubicadas a los lados de la tolva (señaladas en círculos rojos en la figura 56 y mostrada en la figura 57).



**Figura 56: Etapa de pesaje.**

**(Fuente: Autores)**

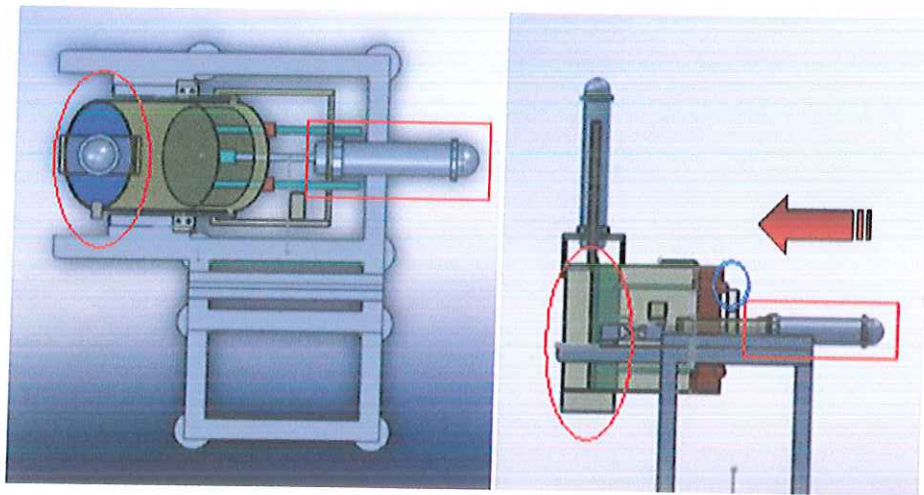


**Figura 57: Celda de carga modelo CAD**

**(Fuente: Autores)**

## 2. Etapa de Compactación:

Al cumplirse el peso de la etapa de pesaje, se inicia la compactación del producto en la que el pistón de prensado (cuadrado rojo en la figura 58) es activado para comprimir la fibra hasta quedar del tamaño y la forma de la boquilla de salida para su empaque (círculo rojo figura 58) al terminar la compactación el sensor de final de carrera del pistón (elipse azul en la figura 59) envía la señal de iniciar la etapa de empaquetado.

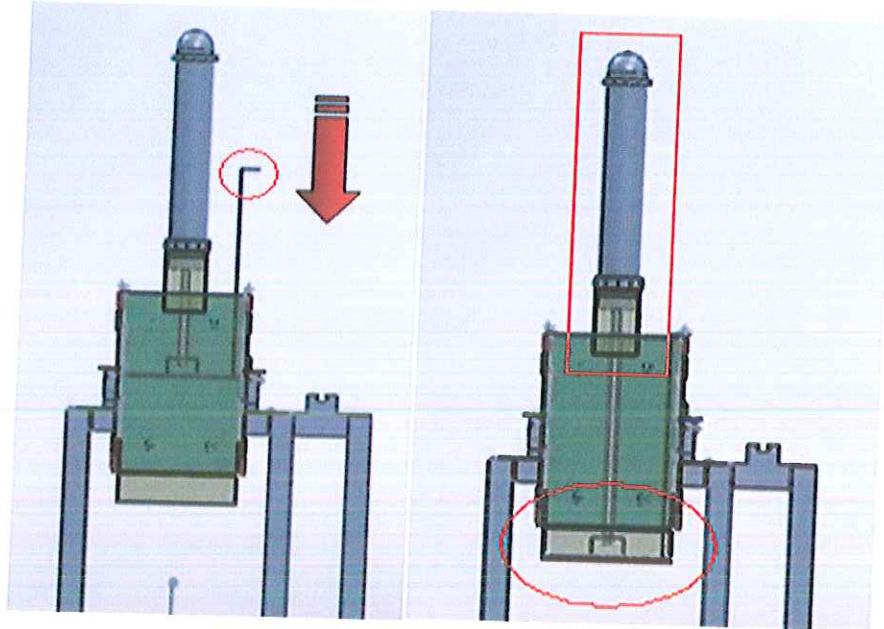


**Figura 58: Etapa de compactación.**

**(Fuente: Autores)**

## 3. Etapa de empaquetado

Al terminar la etapa de compactación, inicia el empaquetado en el cual se activa un segundo pistón (cuadrado rojo en la figura 59), empujando el producto compactado a la salida de la tolva hasta la bolsa de empaquetado (círculo rojo en la figura 59).

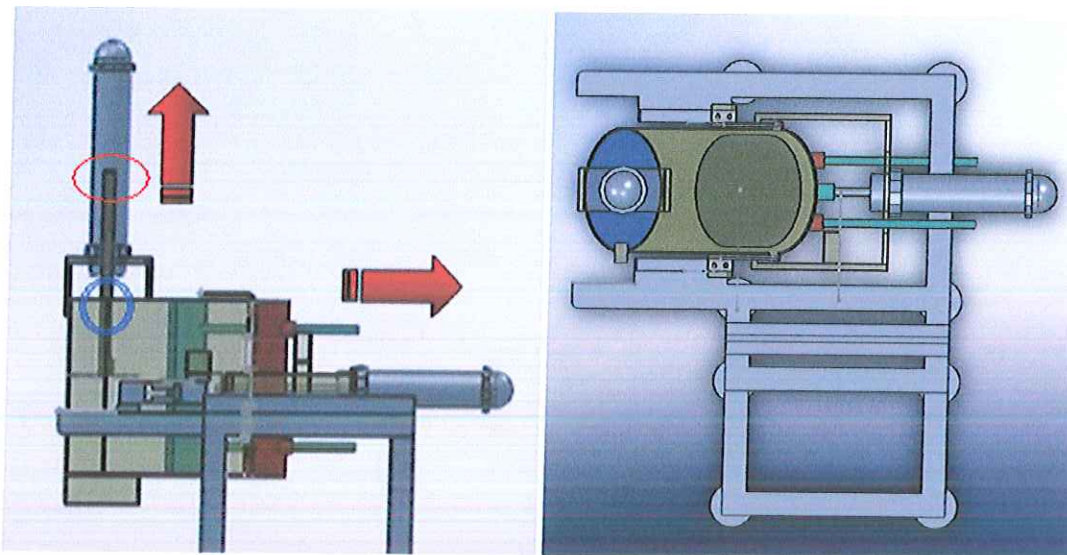


**Figura 59: Etapa de empaquetado.**

**(Fuente: Autores)**

#### 4. Fin de ciclo

Al terminar el empaquetado del producto, el sensor de fin de carrera (circulo azul en la figura 60) envía la señal de fin de ciclo desactivando los dos pistones al mismo tiempo, reiniciando el ciclo o el sistema si ya se cumple con el peso solicitado.



**Figura 60: Fin de ciclo.**

**El sensor de final de empaquetado señalado en círculo azul es activado por la aleta señalada en círculo rojo (Imagen izquierda en las figuras 59 y 60).**

**(Fuente: Autores)**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Debido a los resultados de las pruebas de funcionamiento iniciales para la compactación del producto, se recomienda un cambio para la mejora de este diseño: utilizar caras planas para la tapa posterior de la tolva, pues esto facilitaría la alineación de las barras de guía, y permitiría el movimiento de la prensa sin atascamientos por desalineación. Además, se recomienda usar rodamientos lineales en las barras guía; esto permitiría un ajuste exacto de las barras guía a los canales presentes en la tapa posterior de la tolva, al mismo tiempo que impide que se produzca un efecto de palanca cuando se encuentre la prensa en posición de material comprimido, lo que provoca un atascamiento de la prensa. Estos cambios no fueron aplicados al prototipo actual de la tolva por limitaciones de tiempo y presupuesto, sin embargo, un futuro grupo puede hallar útiles estas indicaciones.
- Una vez se observaron los problemas de construcción en la prensa horizontal con el sistema manivela-biela-corredera, se hizo evidente que el mecanismo de prensa vertical; al no tener guías, sufriría el mismo problema, incluso en un mayor grado. Además, este tipo de mecanismos requieren un soporte en dos puntos, para evitar la flexión del eje.
- Las pruebas de funcionamiento del mecanismo de manivela-biela-corredera demostraron que sin los métodos de construcción apropiados, el mecanismo no funcionará. Por esta razón, se construyó un sistema con pistones, para demostrar la funcionalidad del principio con el que se diseñó la tolva: la compresión de la fibra en dos ejes para lograr su empaquetamiento. Este mecanismo no está encaminado a convertirse en un diseño final, solo existe para comprobar que es posible empacar la fibra de polipropileno efectivamente con el diseño propuesto.

- Al probar el sistema con los pistones, se observó que funcionaba muy bien, excepto por el hecho de que algo de material se escapa por el hueco dispuesto para la salida de fibra antes de ser pesado. La cantidad de material perdido, sin embargo, no es significativa, y en últimas, dependerá del método de dosificación que se emplee en el sistema completo. En cuanto a la compresión y empaquetamiento del material, el sistema funciona exactamente como se espera, pues se llega a la compresión del 35% que se busca, y la prensa vertical deposita el material en la bolsa, sin que se produzca rompimiento ni atascamiento. Algo que se observó sobre el funcionamiento de la tolva, es que la prensa vertical se debe retraer antes de retirar la bolsa, para evitar que algo del material quede atascado entre la prensa y la pared de la tolva, y caiga al piso si se ha retirado la bolsa antes de retraer la prensa vertical.
- Otra solución válida sería implementar un mecanismo obturador para evitar que se escape el material sin dejar nada al azar; esto permitiría que se pudiese depositar material en un flujo mayor sin comprometer la precisión de la medida, esto es, cuidando también de que el pico de medida por impacto no afecte también esta medida.
- El tiempo de llenado de una bolsa de 300g usando la tolva, de acuerdo al tiempo que se buscaba de proceso de 15 segundos aproximadamente, para lograr 4 bolsas por minuto, cumple los requisitos, pues el proceso de compresión, con una presión de 4 bar, se completa en 6.3 segundos, lo cual le daría al sistema de llenado 8 segundos más por ciclo para ejecutar la dosificación. Cabe notar que, aumentando la velocidad de los actuadores, se podría recortar el tiempo de compresión, para darle más tiempo a la etapa de dosificación si fuera necesario.

## CRONOGRAMA

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES, PROYECTO BÁSCULA EMPACADORA DE FIBRATEX								
MES	FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO	
TAREA/SEMANA	1 y 2	3 y 4	1 y 2	3 y 4	1 y 2	3 y 4	1 y 2	
Pruebas de caracterización de la fibra								
Diseño de la tolva								
Validación del diseño								
Construcción de la tolva								
Diseño y Programación del control de empacado								
Diseño del HMI para el control de empacado								
Documentación								
Redacción Informe final								
Pruebas del Prototipo								
Presentación del Prototipo								

## PRESUPUESTO

PRESUPUESTO PARA LA BÁSCULA EMPACADORA DE FIBRATEX			
COMPONENTE	CANTIDAD REQUERIDA (Peso, Área, Tramo)	VALOR UNITARIO (pesos)	VALOR
Lamina de acero cold roll, espesor 1,5mm	1 m <sup>2</sup>	50000	50000
Perfil de Acero de 3/4", espesor 1,5mm	1 tramo	20000	20000
Tubo cuadrado de 1"x1/2"	1/2 tramo	15000	7500
Tubo cuadrado de 1"x1"	1/2 tramo	15000	7500
Barra de Acero 1020, diametro: 1/2"	2 m	10000	20000
Barra de Acero 1020, diametro: 1"	1/2 m	20000	10000
Tuercas, tornillos, soldadura, cojinetes, acoples			60000
Mano de obra para procesado de los materiales			50000
Motor de 12V, 3A, con caja reductora tipo elevavidrios	2	120000	240000
Celda de Carga de 12 Lb, tolerancia 150%	2	400000	800000
Módulo de Pesaje Siwarex para S7-200	2	400000	800000
PLC Siemens S7-224 XP	1	600000	600000
Fuente de alimentación 5A	1	350000	350000
Touchscreen	1	1200000	1200000
Cableado y seguridad eléctrica			300000
Caja de Control	1	150000	150000
Mano de obra del proyecto			2000000
Valor Total del Proyecto			6665000



## BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS DE INTERNET

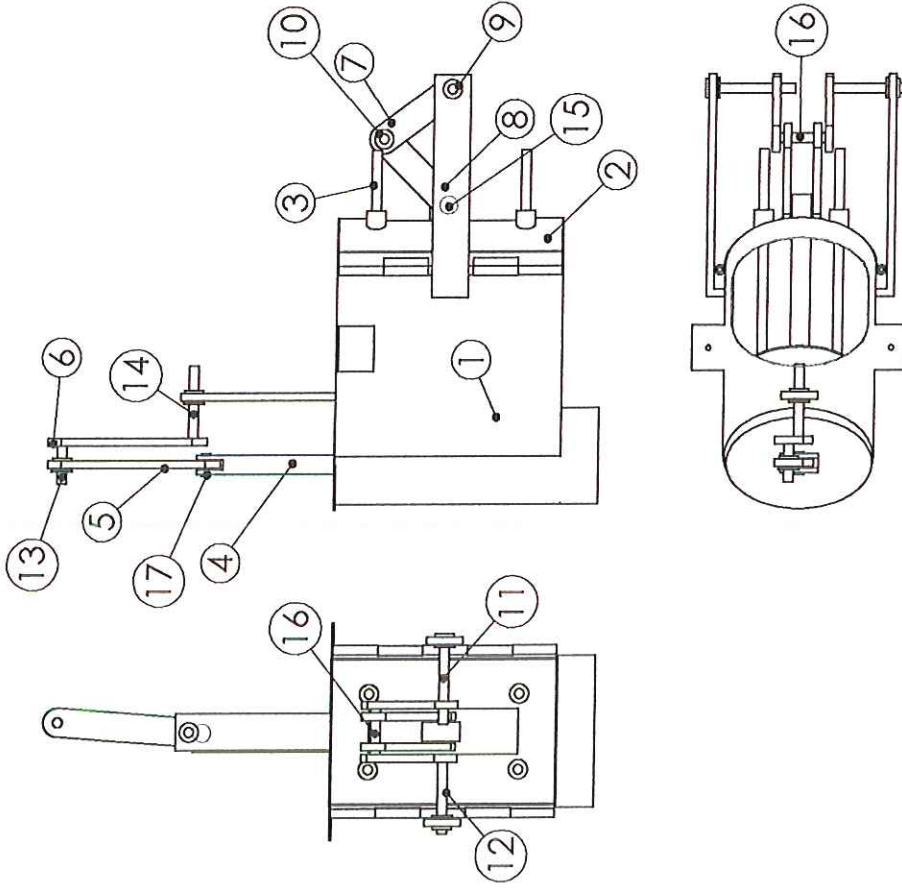
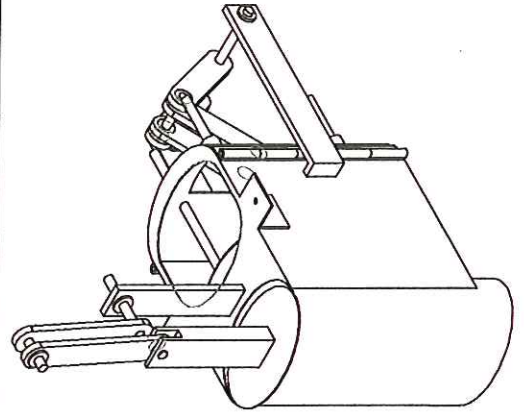
- 1- BAUTISTA GUTIERREZ, Raúl, Mecatrónica, 2ª edición.
- 2- MANGONON, PAT L. Ciencia de los materiales: selección y diseño; pearson educación, México, 2001
- 3- HIBBELER, R.C. Mecánica vectorial para ingenieros. Estática. Décima edición; pearson educación, México, 2004
- 4- HIBBELER, R.C. Mecánica vectorial para ingenieros. Dinámica. Décima edición; pearson educación, México, 2004
- 5- CHIANG, LUCIANO. Diseño Conceptual De Productos Mecatrónicos, Universidad Católica de Chile, Departamento de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica.
- 6- BEER, FERDINAND P., Mecánica vectorial para ingenieros, 1997
- 7- S7-200 System Manual, Edition 8, 2008.
- 8- CORDOBA NIETO, Ernesto. Manufacturing and automation. Ing. Investig., Sep./Dec. 2006, vol.26, no.3, p.120-128. ISSN 0120-5609.
- 9- <http://www.isa.uniovi.es/~vsuarez/Download/WinCCflexible2005-GettingStarted-Basico.pdf> guía básica de WinCC flex en línea.
- 10- <http://www.wut.de/e-6www-11-apes-000.php> - descripción de los sistemas RS485
- 11- <https://mall.automation.siemens.com/WWW/guest/index.asp?aktprim=0&nodeID=5000647&lang=en&display=r&foldersopen=-1094-1092-1091-1026-1025-1024-1-1096-1095-1097-1098-1099-&jumpto=1099> información técnica del PLC S7 224 XP
- 12- [http://www.automation.siemens.com/australia/html\\_76/products/ProductNew/TP177A.htm](http://www.automation.siemens.com/australia/html_76/products/ProductNew/TP177A.htm) información técnica del panel táctil TP 177A

- 13-[www.fi.uba.ar/materias/6679/apuntes/CABLEADO\\_ESTRUC.pdf](http://www.fi.uba.ar/materias/6679/apuntes/CABLEADO_ESTRUC.pdf)  
presentación de la Universidad de Buenos Aires sobre cableado  
estructurado
- 14-[http://www.uclm.es/area/ing\\_rural/Instalaciones/Protecciones.pdf](http://www.uclm.es/area/ing_rural/Instalaciones/Protecciones.pdf) Cátedra  
de Ingeniería Rural, de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica  
Agrícola de Ciudad Real
- 15-[http://static.consumer.es/www/tecnologia/infografias/swf/pantallas\\_tactiles.s  
wf](http://static.consumer.es/www/tecnologia/infografias/swf/pantallas_tactiles.swf) presentación que muestra las características básicas de las pantallas  
táctiles
- 16-<http://www.ergonomia.cl/> comunidad de ergonomía en chile, con biblioteca  
virtual.
- 17-<http://mx.geocities.com/imenator/td/PLC.htm> - Conceptos básicos sobre los  
PLCs,
- 18-SIWAREX MS User's Manual.  
([http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lan  
g=en&objid=22600601&caller=view](http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en&objid=22600601&caller=view) –enlace de descarga)

# ANEXOS

***ANEXO A: PLANOS  
MECÁNICOS DE LA TOLVA  
EMPACADORA CON  
MECANISMO MANIVELA -  
VIELA - CORREDERA***

Nº DE ELEMENTO	NÚMERO DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	TOLVA DE PESAJE		1
2	TAPA TOLVA Y COMPRESION		1
3	LAMINA DE COMPRESIÓN		1
4	PRENSA VERTICAL		1
5	BIELA VERTICAL		1
6	MANIVELA VERTICAL		1
7	MANIVELA HORIZONTAL		2
8	BIELA HORIZONTAL		2
9	BUFFER		4
10	BUFFER SIN CABEZA		7
11	EJE CONDUCTIVO MANIVELA		1
12	EJE CONDUCTOR MANIVELA		1
13	EJE CONDUCTOR MANIVELA VERTICAL		1
14	EJE CONDUCTIVO MANIVELA VERTICAL		1
15	EJE DE ROTACION BIELA-CORREDERA		1
16	EJE DE ROTACION MANIVELA-BIELA		1
17	EJE BIELA-CORREDERA VERTICAL		1



DIBUJADO	NOMBRE
APROBADO	CIRO DIAZ
DISEÑADO	CARLOS FORERO
	CIRO DÍAZ JORGE MERCHANT

TITULO:

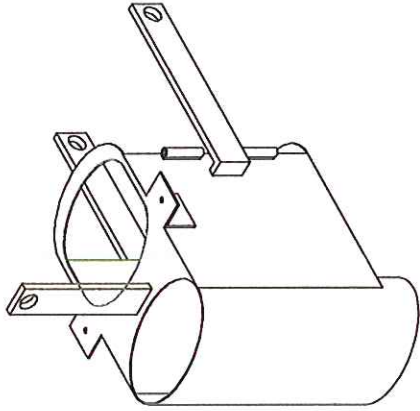
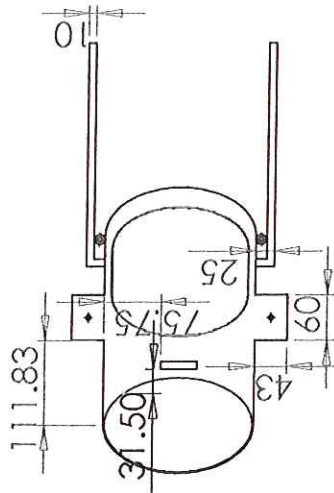
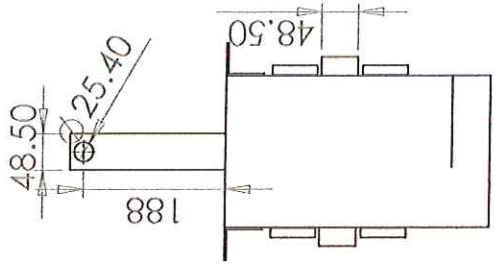
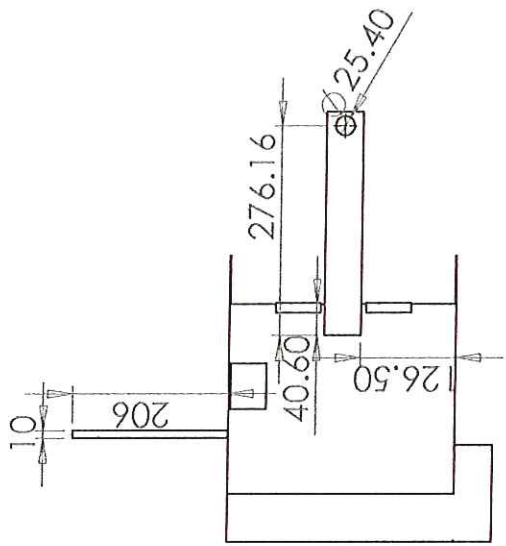
TOLVA\_DOSIFICADORA

MATERIAL  
Acero Cold Roll  
Duralón

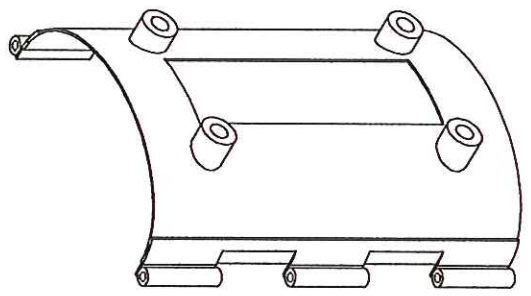
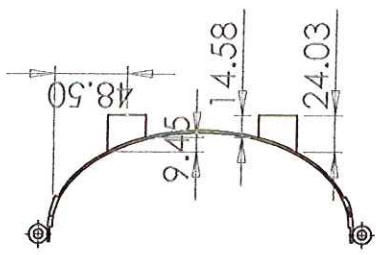
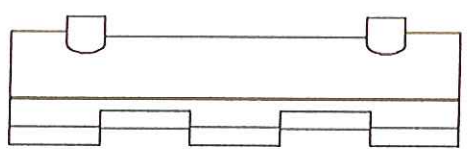
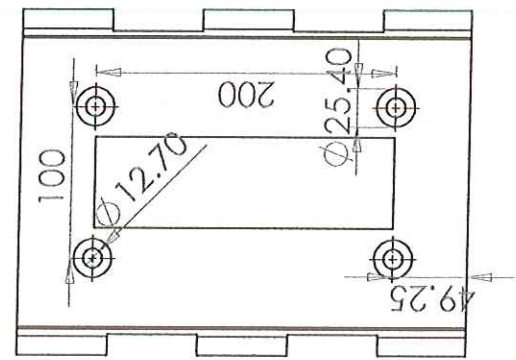
SIZE **A** No. de Plano 0 REV

ESCALA: 1:10

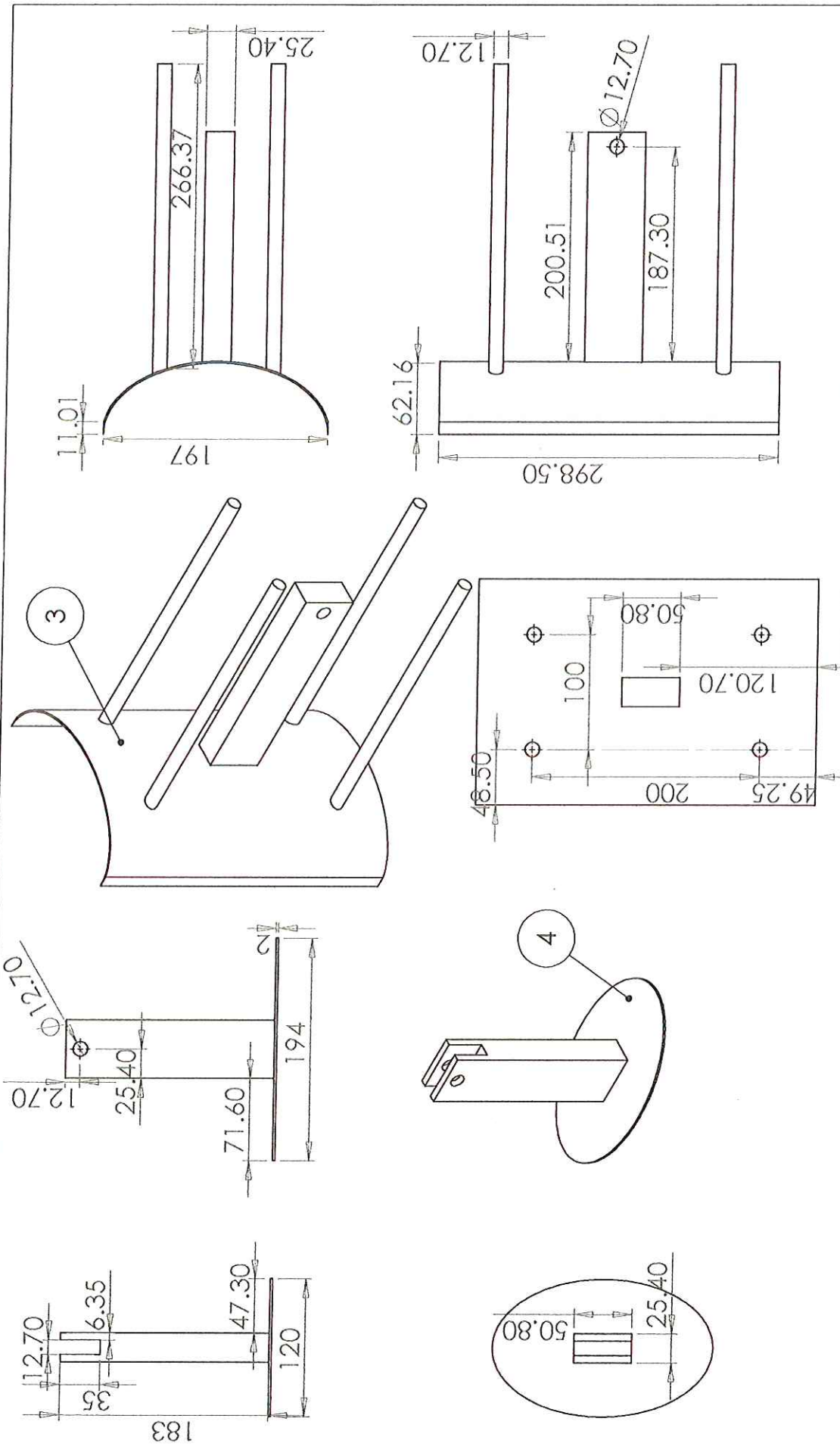
HOJA 1 de 7



DIBUJADO	NOMBRE	TITULO:	
APROBADO	CIRO DIAZ	TOLVA DE PESAJE	
DISEÑADO	CARLOS FORERO	SIZE	REV
	CIRO DIAZ JORGE MÉRCHAN	<b>A</b>	1
MATERIAL Acero Cold Roll		ESCALA: 1:10	
		HOJA 2 de 7	



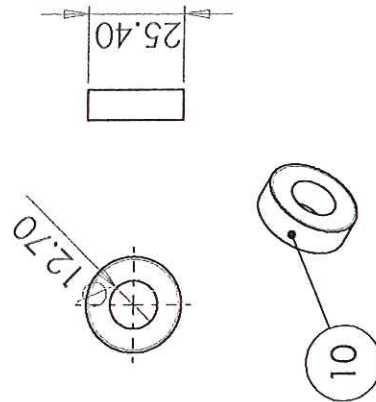
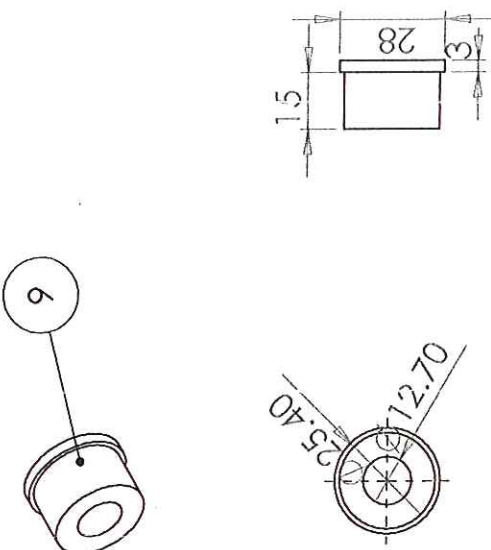
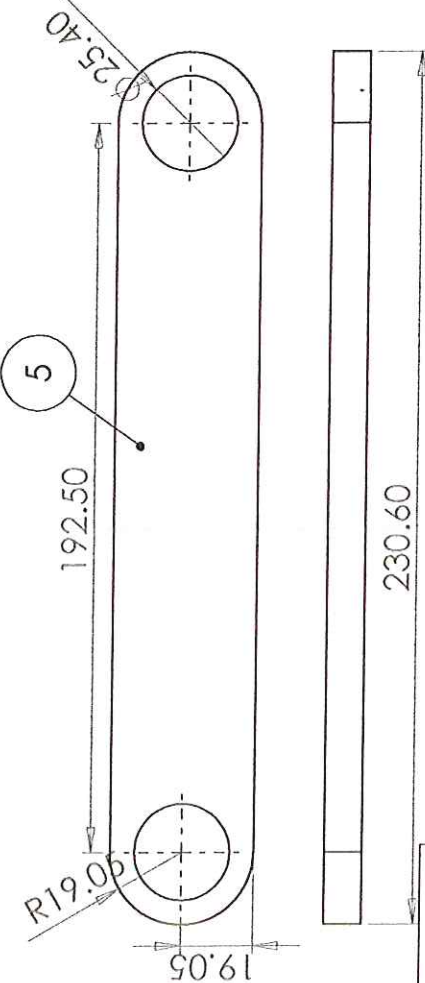
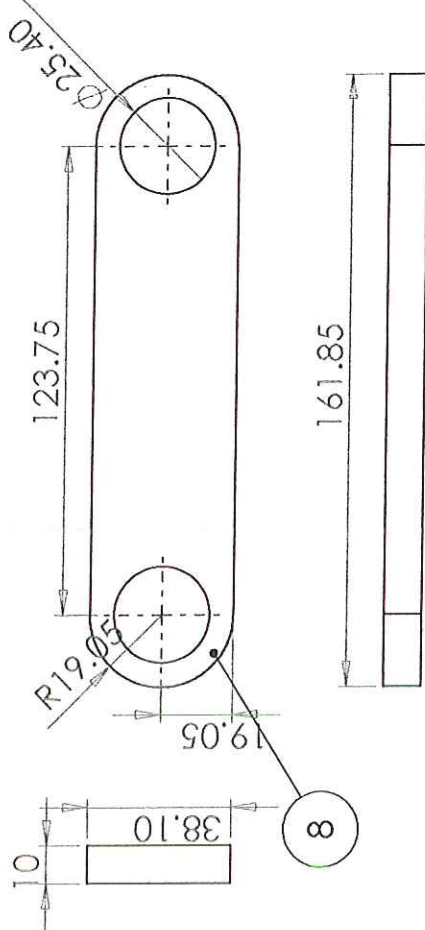
DIBUJADO	NOMBRE	TITULO:	
APROBADO	CIRO DIAZ	TAPA TOLVA Y COMPRESION	
DISEÑADO	CARLOS FORERO	SIZE	REV
	CIRO DIAZ JORGE MERCHANT	<b>A</b>	2
MATERIAL Acero Cold Roll		ESCALA: 1:5	
		HOJA 3 de 7	



NOMBRE	CIRO DIAZ	PRENSAS	
DIBUJADO	CIRO DIAZ	TITULO:	
APROBADO	CARLOS FORERO	SIZE	No. de Plano
DISENADO	CIRO DIAZ JORGE MERCHANT	<b>A</b>	3
MATERIAL Acero Cold Roll		ESCALA:	1:5

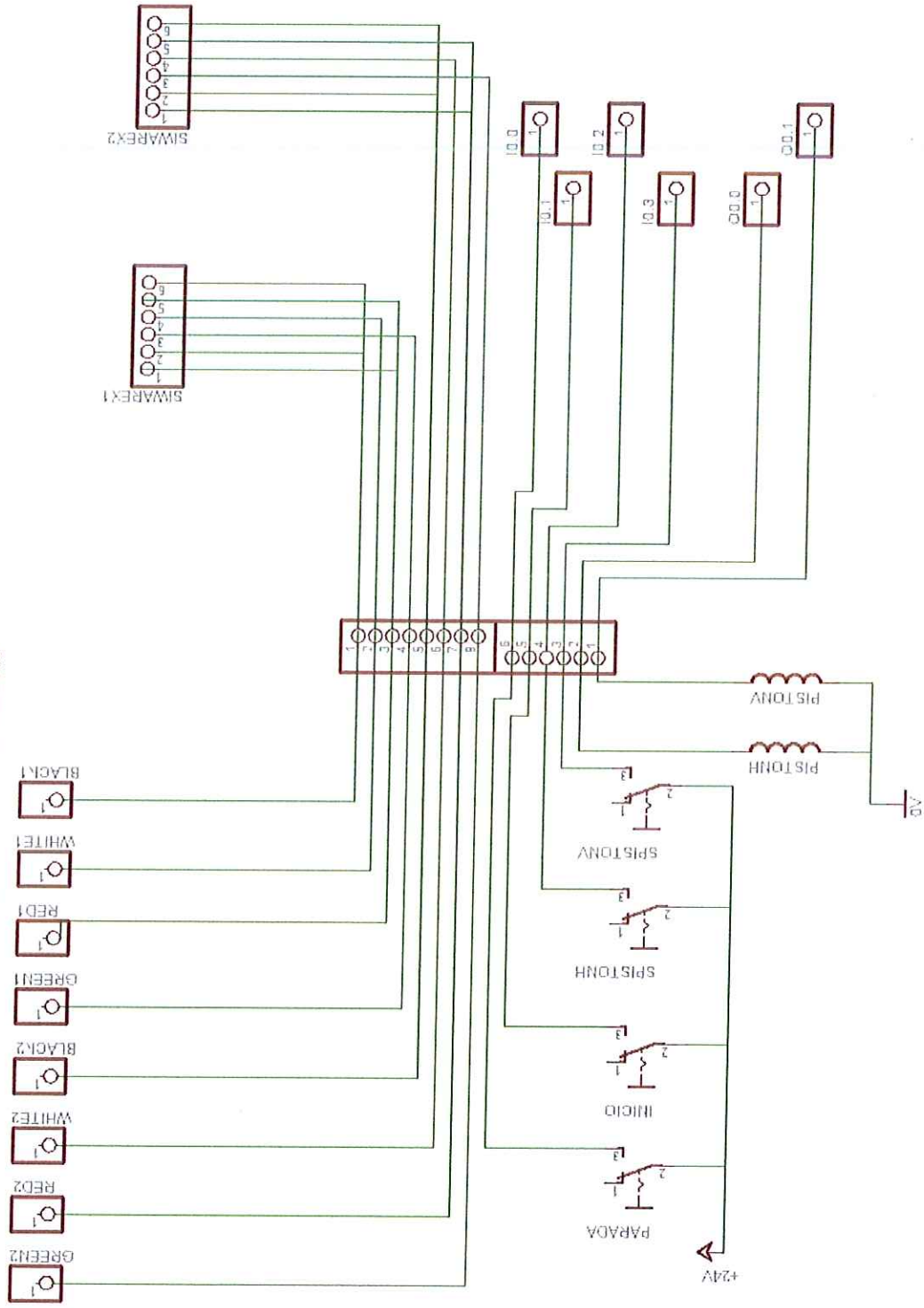
No. PIEZA	NOMBRE
3	LAMINA DE COMPRESION
4	PRENSA VERTICAL





NO. DE ELEMENTO	NOMBRE	NOMBRE		
		DIBUJADO	CIRO DIAZ	NOMBRE
5	BIELA VERTICAL	APROBADO	CARLOS FORERO	TITULO:
8	BIELA HORIZONTAL	DISEÑADO	CIRO DIAZ JORGE MERCHANT	PIEZAS PEQUEÑAS
9	BUFFER	MATERIAL Acero Cold Roll (piezas 5 y 8) Duralón (piezas 9 y 10)		
10	BUFFER SIN CABEZA	SIZE <b>A</b> No. de Plano 4 REV		
		ESCALA: 1:2		HOJA 5 de 7

**ANEXO B: PLANOS ELECTRÓNICOS DE LAS CONEXIONES DE LOS INSTRUMENTOS DE LA TOLVA  
MECANISMO MANIVELA - VIELA - CORREDERA**



**ANEXO C: PLANOS ELECTRO-NEUMÁTICOS DE LAS CONEXIONES DE LOS INSTRUMENTOS DE LA TOLVA MECANISMO CON PISTON NEUMÁTICO.**

