

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODULO DIDÁCTICO DE  
DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE SÓLIDOS, PARA EL  
LABORATORIO DE AIM DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL  
EJÉRCITO”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECATRÓNICO**

**ALEX JAVIER ECHEVERRÍA CÁRDENAS**

**LUIS HÉCTOR SANDOVAL GUANO**

**DIRECTOR: ING. MELTON TAPIA**

**CODIRECTOR: ING. EDGAR TIPAN**

**Sangolquí, 2013- 08**

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto “diseño y construcción de un módulo didáctico de dosificación automática de sólidos, para el laboratorio de AIM de la escuela politécnica del ejército” fue realizado en su totalidad por Alex Javier Echeverría Cárdenas y Luis Héctor Sandoval Guano, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico.

---

**ING. MELTON TAPIA**  
**DIRECTOR**

---

**ING. EDGAR TIPAN**  
**CODIRECTOR**

## **DECLARACIÓN**

Nosotros, Alex Javier Echeverría Cárdenas y Luis Héctor Sandoval Guano declaramos que el presente trabajo es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación personal y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluye en el documento la Escuela Politécnica del Ejército puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Sangolquí, 28 de agosto del 2013

## **AUTORIZACIÓN**

Nosotros, Alex Javier Echeverría Cárdenas y Luis Héctor Sandoval Guano autorizamos a que se publique en el repositorio digital de la biblioteca Alejandro Segovia el presente proyecto de tesis, así como también los materiales y documentos relacionados a la misma

Sangolquí, 28 de agosto del 2013

## **DEDICATORIA**

Dedicó este proyecto y toda mi carrera universitaria a Dios por ser quien a estado a mi lado en todo momento dándome las fuerzas necesarias para continuar luchando día tras día y permitiéndome seguir afrontando cualquier adversidad que se presente.

Este éxito, va dedicado con todo cariño a quienes a base de sacrificio y esfuerzo hicieron posible esta realidad mis queridos padres Patricio y Elva, a mis hermanos Evelyn, Iván y Diana. A mis queridos abuelitos especialmente a mi mami Isabelita, tíos, primos y demás familiares, y como olvidar a mi grupo de estudio.

**ALEX JAVIER ECHEVERRÍA CÁRDENAS**

Dedicó este proyecto a querida familia a mis padres Héctor y Luisa, a mis hermanas Karla y María Isabel por guiarme y apoyarme incondicionalmente en este largo camino lleno de dificultades y éxitos. Parte de este triunfo también es dedicado a mi novia Carolina, por su inmenso apoyo por haber luchado a mi lado y juntos superar las adversidades.

**LUIS HÉCTOR SANDOVAL GUANO**

## **AGRADECIMIENTO**

A mi Dios, por brindarme salud, vida y haber permitido cumplir una de mis metas y darme sabiduría, para a través del conocimiento poner en marcha el proyecto en base al estudio. A mi familia por ser un pilar fundamental en este logro, además de apoyarme en todo momento.

A mis maestros que dieron todo de sí para hacer más que profesionales, hombres de bien, con virtudes, valores y principio fundamentales, necesarios dentro de la sociedad y a mis compañeros y amigos a los largo de toda mi carrera profesional.

**ALEX JAVIER ECHEVERRÍA CÁRDENAS**

Agradezco, primero a Dios por brindarme esta valiosa oportunidad de poder cumplir mis metas. A mi familia por ser los pilares fundamentales de mi vida por estar siempre a mi lado por haber confiado y creído siempre en mí.

A mi novia, amigos y compañeros que formaron parte de toda mi carrera profesional.

**LUIS HÉCTOR SANDOVAL GUANO**

## ÍNDICE

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....	ii
DECLARACIÓN.....	iii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE.....	vii
RESUMEN .....	xvi
CAPÍTULO 1 .....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3 ALCANCE.....	3
1.4 OBJETIVO DEL PROYECTO .....	4
1.4.1 OBJETIVO GENERAL .....	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
CAPÍTULO 2 .....	5
MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN .....	5
2.1.1. TIPOS DE DOSIFICADORES Y APLICACIONES.....	6
2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	12
2.2.1. TRANSPORTACION Y DETECCION DE ENVASES.....	13
2.2.2. DOSIFICACIÓN .....	14
2.2.3. CONTROL DE CALIDAD.....	14
2.2.4. CLASIFICACIÓN .....	14
2.3. SISTEMAS QUE INTEGRAN LOS MÓDULOS.....	15
2.3.1. SISTEMAS NEUMÁTICOS .....	15
2.3.2. SISTEMAS MECÁNICOS.....	22
2.3.3. SISTEMAS ELÉCTRICOS/ELECTRÓNICOS .....	27
2.3.3.11. Sensor Capacitivo de nivel.....	35

2.3.3.12. Sensor Capacitivo de posición.....	35
2.3.4. SISTEMAS DE CONTROL.....	36
2.3.5. SOFTWARE PARA LOS MÓDULOS.....	39
CAPITULO 3.....	42
DISEÑO DE LOS SISTEMAS MODULARES.....	42
3.1. MECÁNICO.....	42
3.1.1. DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA.....	42
3.1.2. ANÁLISIS ESTÁTICO EN LA ESTRUCTURA.....	43
3.1.3. VIBRACIONES EN LA ESTRUCTURA.....	47
3.1.4. CRITERIO PARA LA SELECCIÓN DE ENVASES.....	53
3.1.5. DISEÑO BANDA TRANSPORTADORA.....	55
3.1.6. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS RODILLOS.....	63
3.1.7. DISEÑO Y SELECCIÓN DEL MOTOR PARA EL DISCO GIRATORIO..	76
3.1.8. DISEÑO MECÁNICO DE LA TOLVA.....	80
3.2. NEUMÁTICA.....	101
3.2.1. CÁLCULO DE PISTONES.....	101
3.3. ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO.....	114
3.3.1. DISEÑO DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS.....	114
3.3.2. SENSOR FOTOELÉCTRICO SENSICK W100.....	124
3.3.3. SENSOR CAPACITIVO HANYOUNG NUX 18RP.....	125
3.3.4. SENSORES MAGNÉTICOS CIL DC/AC 4-2.....	127
3.3.5. INTERRUPTORES FINAL DE CARRERA.....	127
3.4. SISTEMAS DE CONTROL.....	128
3.4.1. SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	129
3.4.2. COMUNICACIÓN S7-1200.....	132
CAPÍTULO 4.....	138
PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA.....	138
4.1. INTRODUCCIÓN.....	138
4.2. PLAN DE PRUEBAS.....	138
4.2.1. PRUEBAS DEL SISTEMA MECÁNICO.....	138
4.2.2. PRUEBAS DEL SISTEMA ELECTRÓNICO.....	143

4.3.	PUESTA EN MARCHA.....	147
4.4.	MODULO COMPLETO .....	148
	CAPITULO 5 .....	149
	MANUAL DE USUARIO .....	149
5.1.	COMUNICACIÓN NI-OPC SERVERS CON SIEMENS S7-1200 CPU1214C Y LABVIEW.....	149
5.2.	ELABORACIÓN DE LAS PRÁCTICAS .....	150
5.2.1.	DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA # 1 .....	150
5.2.2.	DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA # 2 .....	151
5.2.3.	DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA # 3 .....	151
5.2.4.	DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA # 4 .....	152
5.2.5.	DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA # 5 .....	152
5.3.	ELABORACIÓN DE LAS PRÁCTICAS .....	153
5.3.1.	GUÍA DE LA PRÁCTICA #1 .....	153
5.3.2.	GUÍA DE LA PRÁCTICA #2.....	155
5.3.3.	GUÍA DE LA PRÁCTICA #3.....	157
5.3.4.	GUÍA DE LA PRÁCTICA #4 .....	159
5.3.5.	GUÍA DE LA PRÁCTICA #5.....	161
	CAPÍTULO 6 .....	163
	ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO .....	163
6.1.	ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO.....	163
6.1.1.	ANTECEDENTE .....	163
6.1.2.	COSTOS DEL PROTOTIPO.....	163
6.1.3.	COSTO TOTAL DEL PROTOTIPO.....	171
6.1.4.	RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO .....	171
	CAPÍTULO 7 .....	180
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	180
7.1.	CONCLUSIONES.....	180
7.2.	RECOMENDACIONES.....	182
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
	PLANOS	
	ANEXOS	

ANEXO1: MANUAL DE USUARIOS

ANEXO2: GUIA DE PRACTICA 1

ANEXO3: GUIA DE PRACTICA 2

ANEXO4: GUIA DE PRACTICA 3

ANEXO5: CODIGO DE PROGRAMACIÓN EN ATMEGA 328P

ANEXO6: DATASHEET DE SENSORES

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Dosificación por vibrador electromagnético .....	7
Figura 2.2 Dosificación por vibrador electromagnético inclinado .....	7
Figura 2.3 Dosificación por vibrador electromagnético horizontal .....	8
Figura 2.4 Dosificación por tornillo sinfín .....	8
Figura 2.5 Dosificador volumétrico .....	9
Figura 2.6 Dosificador a pistón.....	10
Figura 2.7 Dosificador por tornillo sinfín.....	10
Figura 2.8 Dosificador Isobárico .....	11
Figura 2.9 Dosificador gravimétrico .....	12
Figura 2.10 Proceso general .....	12
Figura 2.11 Sistema de control de dosificación .....	13
Figura 2.12 Elementos principales que comandan un sistema Neumático .....	15
Figura 2.13 Diagrama de válvula cerrada y válvula abierta .....	18
Figura 2.14 Partes del cilindro neumático.....	19
Figura 2.15 Tipos de racores.....	20
Figura 2.16 Manguera neumática .....	20
Figura 2.17 Fin de carrera.....	21
Figura 2.18 Silo de acero .....	23
Figura 2.19 Silo de concreto.....	24
Figura 2.20 Tipos de envases .....	26
Figura 2.21 Motor reductor eléctrico.....	28
Figura 2.22 Motor ac.....	29
Figura 2.23 Motor dc.....	30
Figura 2.24 Servomotor.....	30
Figura 2.25 Diagrama en bloques de la estructura de un servomotor.....	31
Figura 2.26 Relé .....	31
Figura 2.27 Sensor digital .....	32
Figura 2.28 Acondicionamiento y procesamiento de señal.....	33
Figura 2.29 Modos de detección estándar .....	34
Figura 2.30 Sensor capacitivo .....	35
Figura 2.31 Visión artificial .....	37
Figura 3.32 Dimensiones de la Estructura.....	42
Figura 3.33 Soporte .....	43
Figura 3.34 Cargas aplicadas a la estructura.....	43
Figura 3.35 Cargas y reacciones aplicadas en la estructura .....	44
Figura 3.36 Dimensiones del soporte.....	45
Figura 3.37 Método de elementos finitos .....	51
Figura 3.38 Primer ciclo de resonancia.....	52
Figura 3.39 Esquema Banda Transportadora .....	55

Figura 3.40 Metal Gearmotor.....	62
Figura 3.41 Dimensiones de los Rodillos.....	63
Figura 3.42 Diagrama de cuerpo Libre.....	64
Figura 3.43 Tensiones del Rodillo .....	64
Figura 3.44 Distribución de Cargas eje Y-Z .....	65
Figura 3.45 Fuerza Plano Y-Z .....	65
Figura 3.46 Momento Plano Y-Z .....	66
Figura 3.47 Distribución de cargas Plano X-Z.....	66
Figura 3.48 Fuerza Plano X-Z .....	67
Figura 3.49 Momento Plano X-Z .....	67
Figura 3.50 Motor Disco Giratorio .....	79
Figura 3.51 Ángulo de reposo de la lenteja .....	86
Figura 3.52 Tolva de almacenamiento .....	87
Figura 3.53 Estructura general.....	88
Figura 3.54 Cargas y sujeciones de la tolva .....	88
Figura 3.55 Diseño CAE Tolvas- ESFUERZOS .....	89
Figura 3.56 Diseño CAE Tolvas- Desplazamientos .....	90
Figura 3.57 Diseño CAE Tolvas- FS .....	92
Figura 3.58 Disposición de Fuerzas y sujeción en el soporte de la tolva.....	93
Figura 3.59 Diseño CAE Soporte de tolvas- Esfuerzos .....	94
Figura 3.60 Diseño CAE Soporte de tolvas- Desplazamiento máximo .....	95
Figura 3.61 Diseño CAE Soporte tolvas- FS.....	96
Figura 3.62 Fuerzas y sujeciones en la estructura superior.....	97
Figura 3.63 Diseño CAE Estructura general- Esfuerzos.....	98
Figura 3.64 Diseño CAE Estructura general- Desplazamiento máximo .....	99
Figura 3.65 Diseño CAE Estructura general- FS.....	100
Figura 3.66 Cilindro Simple Efecto .....	103
Figura 3.67 Deflexión en desplazamiento del vástago .....	107
Figura 3.68 Microcontrolador ATmega328P.....	115
Figura 3.69 Programación en Arduino .....	115
Figura 3.70 Dirección .hex en Atmega328p .....	116
Figura 3.71 Driver de Control L298N.....	116
Figura 3.72 Pulsadores para el Control del motor .....	118
Figura 3.73 Simulación del Control del Motor .....	118
Figura 3.74 Incremento de RPM .....	119
Figura 3.75 Disminución de las RPM .....	119
Figura 3.76 Cambio de Giro .....	120
Figura 3.77 Diseño de la Placa electrónica .....	120
Figura 3.78 Diseño del Circuito PCB.....	121
Figura 3.79 Diseño de la Placa Electrónica de potencia .....	122
Figura 3.80 Diseño del Circuito PCB.....	123

Figura 3.81	Diseño de la tarjeta principal .....	123
Figura 3.82	Sensick W100 .....	124
Figura 3.83	Partes del Sensor Capacitivo .....	126
Figura 3.84	Funcionamiento del Microswitch .....	128
Figura 3.85	Componentes.....	129
Figura 3.86	Diagrama PLC S7-1200 .....	131
Figura 3.87	Puerto profinet .....	132
Figura 3.88	Ventana de programación TIA PORTAL.....	134
Figura 3.89	Programa de configuración del PLC.....	135
Figura 3.90	Mensaje de visualización modo local manual .....	136
Figura 3.91	Programa de modo local del PLC .....	137
Figura 4.92	Tensor de la banda transportadora .....	139
Figura 4.93	Sistema de tren de llenado .....	140
Figura 4.94	Sistema de clasificación .....	143
Figura 4.95	Fuente de alimentación de 5V - 12V .....	144
Figura 4.96	Circuitos de control y de potencia .....	144
Figura 4.97	Tarjeta principal de comunicación PLC – Proceso.....	145
Figura 4.98	Calibración de volumen a dosificar .....	146
Figura 4.99	Conexión a PLC .....	148
Figura 4.100	Sistema de dosificación de sólidos.....	148
Figura 5.101	Arquitectura del sistema.....	149

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Formas de detección en el Desequilibrio Estático .....	48
Tabla 3.2 Formas de detección en Holguras y piezas sueltas.....	49
Tabla 3.3 Ciclos de Resonancia.....	53
Tabla 3.4 Tipos de Envases .....	54
Tabla 3.5 Banda con revestimiento de PVC.....	58
Tabla 3.6 Especificaciones Metal Gearmotor 37Dx57L mm .....	62
Tabla 3.7 Ancho mínimo de las poleas .....	63
Tabla 3.8 Factor de Superficie .....	74
Tabla 3.9 Factor de Confiabilidad .....	75
Tabla 3.10 Selección de Envases.....	76
Tabla 3.11 Especificaciones Metal Gearmotor 37Dx57L mm .....	79
Tabla 3.12 Densidad Aparente.....	81
Tabla 3.13 Ángulo de Talud.....	83
Tabla 3.14 Cilindro Simple Efecto AIRTAC .....	102
Tabla 3.15 Cilindro de Doble Efecto .....	109
Tabla 3.16 Especificaciones técnicas del sensor fotoeléctrico .....	125
Tabla 3.17 Especificaciones técnicas del sensor capacitivo.....	127
Tabla 3.18 Disposición de entradas digitales usadas en el PLC.....	130
Tabla 3.19 Disposición de salidas digitales usadas en el PLC.....	131
Tabla 4.20 Dato teorico .....	141
Tabla 4.21 Toma de datos de envase pequeño.....	141
Tabla 4.22 Toma de datos de envase mediano.....	142
Tabla 5.23 Salidas digitales .....	154
Tabla 5.24 Entradas y salidas digitales.....	156
Tabla 5.25 Entradas y salidas digitales.....	158
Tabla 5.26 Salidas digitales .....	160
Tabla 5.27 Salidas digitales .....	162
Tabla 6.28 Mano de obra tecnólogo .....	164
Tabla 6.29 Elaboración de la banda.....	164
Tabla 6.30 Costo de la ingeniería de los ejecutores .....	164
Tabla 6.31 Lista de materiales de la parte Mecánica.....	165
Tabla 6.32 Lista de materiales de la parte electrónica.....	167
Tabla 6.33 Lista de materiales de la tarjeta de control .....	168
Tabla 6.34 Lista de la tarjeta de potencia .....	169
Tabla 6.35 Lista de materiales de la tarjeta principal .....	169
Tabla 6.36 Lista de materiales de la parte neumática.....	170
Tabla 6.37 Costos indirectos .....	171
Tabla 6.38 Ingresos al laboratorio por utilización del prototipo.....	172
Tabla 6.39 Costo para la elaboración de prácticas en el primer año .....	174

Tabla 6.40 Costo proyectado a diez años .....	175
Tabla 6.41 Ingresos proyectados a diez años.....	176
Tabla 6.42 Flujo neto de caja proyectado a diez años.....	177
Tabla 6.43 Calculo del VAN.....	177
Tabla 6.44 VAN y TIR.....	179

## RESUMEN

El presente trabajo describe el diseño y construcción de un sistema de dosificación de flujo continuo, para descarga de un producto situado en un contenedor, desarrollado en el Laboratorio de Automatización Industrial Mecatrónica de la Escuela Politécnica del Ejército. Para su diseño y construcción se realizaron adecuaciones mecánicas, eléctricas y electrónicas además se implementó sistemas de control para la automatización de todo el proceso de dosificación de sólidos. El sistema de control general está dividido en el proceso de disco giratorio, detección del envase, proceso de transportación, ubicación bajo el sistema de dosificación, proceso de visión artificial y proceso de selección de envases empleando un Controlador Lógico Programable (PLC). Cada una de las funciones es ejecutada por elementos mecánicos, neumáticos, eléctricos y electrónicos. Para la visualización del funcionamiento del módulo didáctico se realizó un HMI, con el propósito de identificar las variables que permitirán realizar la configuración de parámetros para realizar el proceso de control del sistema de dosificación. Este proyecto beneficiaria a la Escuela Politécnica del Ejército, debido a que el desarrollo del mismo se llevará a cabo en las instalaciones de dicha Institución y podrá ser utilizado por los estudiantes, para las prácticas en el laboratorio de AIM, esto permitirá mejorar su proceso de aprendizaje y conocer procesos que son utilizados en el Sector Industrial.

**Palabras clave:** Mecatrónica, Dosificación, Transportación, Visión artificial, HMI.

## **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODULO DIDÁCTICO DE DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE SÓLIDOS, PARA EL LABORATORIO DE AIM DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO”**

En la actualidad la industria ha ido avanzada a pasos agigantados junto con el desarrollo de la tecnología, es por esta razón que se diseñará e implementará un módulo didáctico que permita a los estudiantes identificar una parte de un proceso industrial.

Es por esta razón, que se propone diseñar e implementar un sistema de dosificación automática de sólidos, que permitirá realizar prácticas en el laboratorio de Automatización Industrial Mecatrónica, debido a los costos de los módulos didácticos para aprendizaje que se encuentran en el mercado, es necesario desarrollar nuevas técnicas y estructuras que mejoren el funcionamiento de los equipos, manteniendo la fiabilidad y disminuyendo la inversión.

Adquirir un módulo didáctico con similares características resultaría muy costoso, es por esta razón que se realizara un módulo didáctico el cuál permita identificar un determinado proceso, algunos de los elementos que se utilizan son materiales existentes en el mercado nacional, utilizando la tecnología del medio.

# **CAPÍTULO 1**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 ANTECEDENTES**

La Escuela Politécnica del Ejército es un centro de estudio superior comprometido con el desarrollo de la sociedad ecuatoriana, a través de la formación de profesionales de alto nivel, acorde con las exigencias del país.

Las prácticas que se desarrollan en el Laboratorio de Automatización Industrial, se basan en los módulos didácticos neumáticos digitales; dichos módulos cuentan con su propio software, por lo cual el estudiante, no analiza las áreas importantes al momento de realizar el control, como son la mecánica, electrónica, control y programación en un proceso conjunto.

Se considera también que adquirir una planta que cumpla con todos los parámetros antes mencionados resultaría muy costoso para esto nos hemos basado en referencias acerca de procesos industriales.

Es por esta razón, que se propone diseñar e implementar un sistema de dosificación automática de sólidos, con la finalidad de dar una solución práctica y real a un proceso industrial, considerando que es un módulo didáctico, que será implementado para realizar prácticas en el laboratorio de Automatización Industrial Mecatrónica.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo describe el diseño y construcción de un sistema de dosificación automática de sólidos, desarrollado para el Laboratorio de Automatización Industrial Mecatrónica de la Escuela Politécnica del Ejército.

Es importante considerar que el Laboratorio de Automatización Industrial, no cuenta con un equipo completo que permita identificar un proceso industrial, es por esta razón que el sistema de dosificación automática de sólidos permitirá realizar prácticas en las áreas más relevantes del estudio teórico-práctico como son mecánica, eléctrica /electrónica, control y programación. Esto permitirá a los estudiantes desarrollar prácticas didácticas que combinen la parte teórica con la práctica.

Se considera muy relevante que el estudiante pueda identificar etapas de un proceso industrial, pero con un fin didáctico y práctico, no solamente se podrá realizar las prácticas que mencionaremos a continuación, sino también se podrá colocar más entradas digitales o analógicas y adaptar más elementos electrónicos como sensores de posición, inductivos, capacitivos etc. La finalidad es que el estudiante pueda identificar el proceso y automatizarlo.

## 1.3 ALCANCE

El módulo didáctico tiene las siguientes características generales:

- Constará de dispositivo dosificador de flujo continuo el cual tiene un contenedor en el que se ha introducido una carga de productos sólidos
- Se realizará el diseño mecánico de las distintas partes que conforman la dosificadora, para esto se diseñara un feeder, el cual nos permitirá ordenar las botellas para el ingreso hacia el dosificador.
- Se diseñará un mecanismo de banda transportadora con el objetivo de transportar los envases en todo el proceso.
- Se diseñará un contenedor (tolva) el cual permitirá que el producto este almacenado además está provista de una compuerta regulable en su abertura mediante un pistón neumático, para la dosificación del producto que será evacuado a través de ella, originándose así el flujo continuo de producto dosificado.
- Se implementará un panel de control con HMI para el arranque y paro de la máquina, además será el lugar donde se visualizará el estado de los distintos elementos eléctricos y electrónicos.

## **1.4 OBJETIVO DEL PROYECTO**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un módulo didáctico de dosificación automática de sólidos de flujo continuo, para el laboratorio de Automatización Industrial Mecatrónica de la Escuela Politécnica del Ejército que contribuya con un equipo eficiente.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Involucrar estructuras mecánicas y sistemas electrónicos que le den soporte, seguridad y precisión al sistema de dosificación.
- Complementar los circuitos eléctricos, electrónicos y neumáticos para el funcionamiento adecuado del Sistema de Producción Modular Didáctico.
- Realizar un mecanismo de Dosificador de flujo continuo.
- Diseñar e Implementar los dispositivos que van a permitir la dosificación, llenado, transporte, control, verificación, clasificación y descarga de los diferentes envases.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN**

En el desarrollo de la actividad industrial, es necesario un control de materias primas, subproductos o producto final. El llenado de botellas es una de las principales operaciones en la industria. El esquema del proceso y su complejidad, varían en función del tipo de producto a dosificar, la capacidad productiva de la industria, el tipo de envase y cierre, además de muchos otros factores.

Los sistemas de dosificación pueden abordarse desde la perspectiva de una máquina, línea, o planta de producción en su conjunto. Sectores como el químico, metalúrgico, cementero, alimentario, etc., demandan este tipo de tecnología como elemento indispensable en su proceso productivo. Actualmente el pesaje de mercancía, materias primas o vehículos permiten un mayor conocimiento y control sobre las diferentes materias primas, subproductos o productos finales, permitiendo de esta forma un ahorro de costes considerables.

A continuación se describirán algunos de los procesos industriales los cuales en ciertas etapas serán modificados o anulados, en función de las necesidades de nuestro diseño.

## **2.1.1. TIPOS DE DOSIFICADORES Y APLICACIONES**

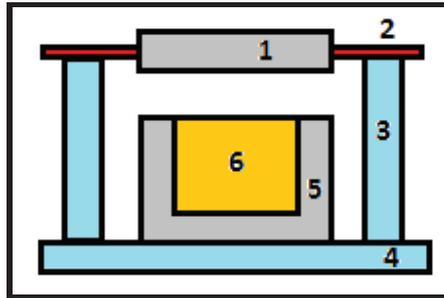
### **2.1.1.1. Tipos de dosificadores**

Un dosificador es un equipo que de manera integral forma parte de una línea de producción. La función del dosificador es entregar o suministrar de forma ágil la cantidad de material o insumo necesario para la realización de un proceso.

Este es un equipo o medidor con el cual se administran dosis específicas de algún producto determinado. El producto a dosificar en la industria puede ser de diferentes tipos así tenemos: Lubricantes, líquidos, Fertilizante de Plantas, Insecticidas, Compuestos Químicos, Detergentes, Alimentos Concentrados, etc.

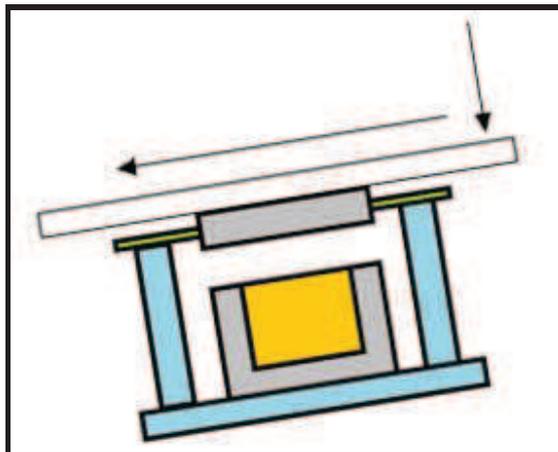
#### **2.1.1.1.1. Por vibración**

En la industria el sistema de dosificación por vibración es ideal para productos sólidos, entonces tenemos un electroimán conformado por el núcleo (5) y la bobina (6), la estructura rígida (3 y 4) la lámina (1) es atraída el campo magnético que genera el electroimán, y este no se topa con el núcleo por las barras (2) que están separadas de 3 a 4mm. El campo magnético es una onda que varía 50 veces por segundo esto debido a nuestra red eléctrica.



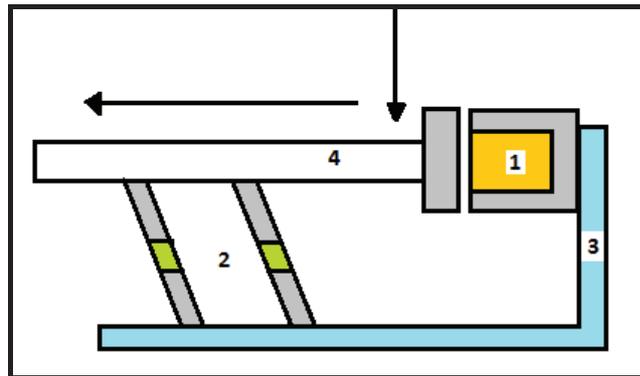
**Figura 2.1 Dosificación por vibrador electromagnético**  
Fuente: Propia del autor

Con este sistema se coloca un perfil en forma de U y se inclina el conjunto, para que el producto se deslice hacia abajo y se realice la dosificación, también se puede regular la vibración que se realiza en el mecanismo según la cantidad del producto a dosificar.



**Figura 2.2 Dosificación por vibrador electromagnético inclinado**  
Fuente: Propia del autor

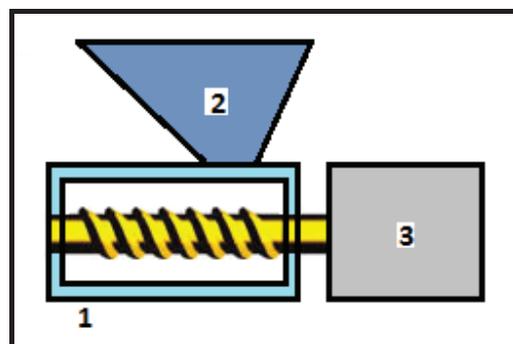
Otro sistema de dosificación por vibración es que la mesa (4) esta horizontal sujeta en un extremo por el electroimán (1) y dos resortes (2) que tienen una zona flexible sujeta a una estructura rígida (3) y al momento de su funcionamiento la mesa se desliza hacia adelante.



**Figura 2.3 Dosificación por vibrador electromagnético horizontal**  
Fuente: Propia del autor

#### 2.1.1.1.2. Por tornillo Sinfín

El presente sistema de dosificación es un mecanismo que cuenta entre sus partes principales un tornillo sinfín (1) como se describe en la figura, para la parte superior cuenta con una tolva (2) donde está almacenado el producto y en uno de los extremos del tornillo sinfín está ubicado un servomotor (3) el cual permitirá realizar con precisión el proceso de dosificación.



**Figura 2.4 Dosificación por tornillo sinfín**  
Fuente: Propia del autor

#### 2.1.1.2. Aplicaciones

A pesar de que existe una gran variedad de dosificadores cada uno de estos presenta sus diferencias, los más importantes es la reducción de costos y

tiempos para aumentar la eficiencia en la producción obteniendo un mayor porcentaje de productos dosificados con sus respectivas materias primas.

#### 2.1.1.2.1. Dosificador volumétrico

Estos dosificadores volumétricos son para productos sólidos porque entrega una precisión y caudal constante de los productos ya sean estos granulados, fibrosos o pulverulentos. Este mecanismo no requiere de gran espacio además que su diseño es sencillo, dentro de la tolva tiene una mezcladora para que el producto no se quede pegado a la tolva.



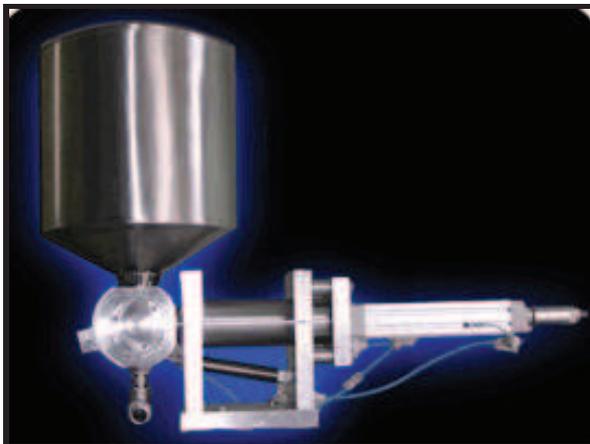
**Figura 2.5 Dosificador volumétrico**

Fuente: <http://www.audion.com/es/productos/moldeado-relleno-y-sellado/sistemas-de-dosificacin/6dosificador-de-volumen-.html>

#### 2.1.1.2.2. Dosificador a pistón

Este dosificador es el más apto para productos viscosos o semilíquidos. En la parte superior tiene la tolva donde almacena el producto luego tiene el pistón que realiza la absorción del producto por medio de una válvula de dirección

entre la tolva y pistón, se puede regular el volumen dependiendo de la carrera que se le coloque y luego el pistón descarga el producto en el envase.

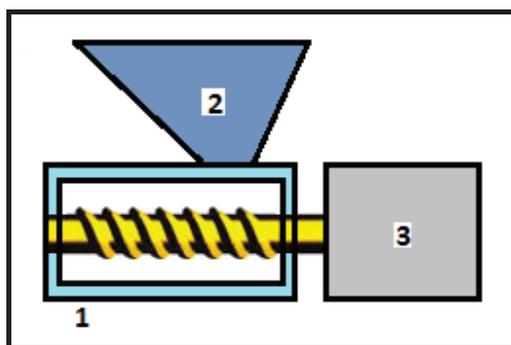


**Figura 2.6 Dosificador a pistón**

Fuente: <http://www.tecnoflex.com.mx/piston.html>

#### 2.1.1.2.3. Dosificador a tornillo Sinfín

Este dosificador ayuda a remover el producto desde su ingreso de la tolva hasta la dosificación para que sea preciso el volumen se utiliza un servomotor con el cual realiza un numero de vueltas el tornillo y produce la dosificación.



**Figura 2.7 Dosificador por tornillo sinfín**

Fuente: Propia del autor

#### 2.1.1.2.4. Dosificador isobárico

Este dosificador es ideal para productos líquidos y está compuesto de un tanque donde está almacenado el producto, el cual tiene dos sensores de nivel uno que indica si está lleno y otro que está vacío, se encarga de hacer la dosificación por medio de una válvula de cierre la cual se regula por tiempo.



**Figura 2.8 Dosificador Isobárico**

Fuente: <http://www.solostocks.com.ar/venta-productos/maquinaria-ensado/otra-maquinaria-ensado/dosificador-isobarico-162822>

#### 2.1.1.2.5. Dosificador gravimétrico

Este dosificador es ideal para productos líquidos y está compuesto de un tanque donde está almacenado el producto, y solo tiene una llave de paso que puede ser manual o automática al igual que la isobárica se la regula por el tiempo.



Figura 2.9 Dosificador gravimétrico

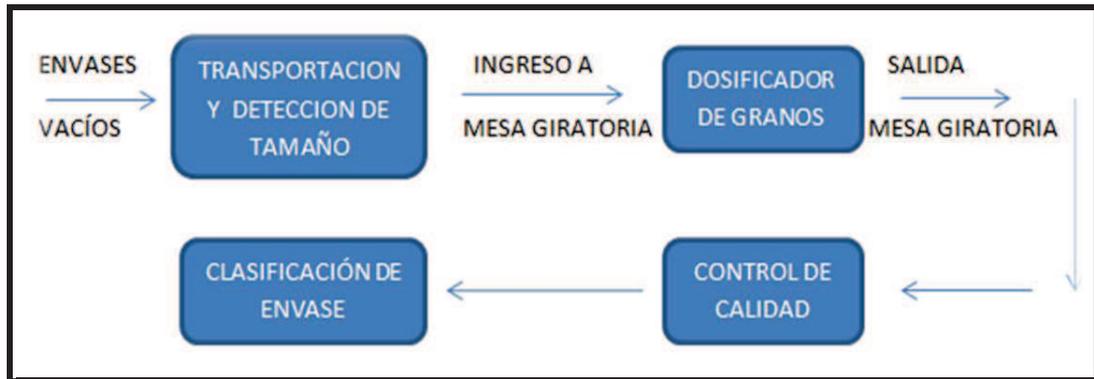
Fuente: <http://www.cavicchiimpianti.com/page.jsp?idPagina=566&idLingua=50>

## 2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Como se puede observar en la fig. 2.10 El proceso general de dosificación de sólidos consta de la entrada de envases vacíos y la salida es la clasificación de tipo de envase con el tipo de envase seleccionado.



Figura 2.10 Proceso general  
Fuente: Propia del autor



**Figura 2.11 Sistema de control de dosificación**  
Fuente: Propia del autor

### 2.2.1. TRANSPORTACION Y DETECCION DE ENVASES

Estos ingresarán a la banda transportadora, cada uno de los envases que serán detectados a través de un sensor fotoeléctrico que nos indicaran una señal la cual será utilizada para clasificar los envases de acuerdo a su tamaño, en el medio cada uno de los envases ingresarán a una disco giratorio, esto será utilizado para los envases que ingresen. El disco giratorio recibe los envases esto permitirá ubicar los envases en su correcta posición y proceder al proceso de dosificación.

El disco giratorio es una mesa plana. El número de revoluciones dependerá del diámetro y puede estar entre 1 - 2 vueltas por minuto para esto se deberá ajustar la velocidad mediante un motor de velocidad variable.

### **2.2.2. DOSIFICACIÓN**

Ubicados los envases en su correcta posición dentro del disco giratorio, por debajo de la tolva de dosificación se realizará el proceso de dosificación de flujo continuo, para productos sólidos situados en un contenedor, el cual desciende hacia la parte central del embudo, la cual posee en el centro de su parte inferior una tapa de evacuación, provista de una compuerta, regulable en su abertura mediante un pistón neumático, para la dosificación del producto que será evacuado a través de ella, originándose así el flujo continuo de producto dosificado.

### **2.2.3. CONTROL DE CALIDAD**

Se utilizará visión artificial para identificar parámetros que serán importantes dentro del proceso y serán destinados a realizar el análisis de imágenes. Estos procesos son: captación de imágenes, memorización de la información, procesamiento e interpretación de los resultados. Se analizarán parámetros como tamaño, color de los diferentes tipos de envases. Para esto utilizaremos una cámara web y el software Labview 2011 toolkit NI visión Assistant.

### **2.2.4. CLASIFICACIÓN**

En base a los parámetros antes mencionados en el proceso de visión artificial se realizará el proceso de clasificación para cada uno de los envases que vayan ingresando, se analizará tamaño, color de cada uno de los envases así se clasificará y se analizará los diferentes parámetros para transportarlos

por cada uno de los diferentes carriles, este es un mecanismo de clasificación de envases, controlado por cilindros neumáticos y electroválvulas los cuales recibirán señales enviadas a través del PLC y estos cilindros se activaran y clasificaran los envases por dos diferentes carriles.

## 2.3. SISTEMAS QUE INTEGRAN LOS MÓDULOS

### 2.3.1. SISTEMAS NEUMÁTICOS

Los sistemas neumáticos son sistemas que utilizan el aire que están constituidos por elementos de señalización, elementos de mando y un aporte de trabajo para la transmisión de señales o potencia. Dentro del campo de la neumática la tecnología se ocupa, sobre todo, de la aplicación del aire comprimido en la automatización industrial (ensamblado, empaquetado, etc.).

Los sistemas neumáticos se usan mucho en la automatización de máquinas y en el campo de los controladores automáticos. Se encuentran muchas aplicaciones a nivel industrial, los circuitos neumáticos pueden convertir la energía del aire comprimido en energía mecánica tienen un amplio campo de aplicación (martillos y herramientas neumáticas, dedos de robots, etc.) por la velocidad de reacción de los actuadores y por no necesitar un circuito de retorno del aire.

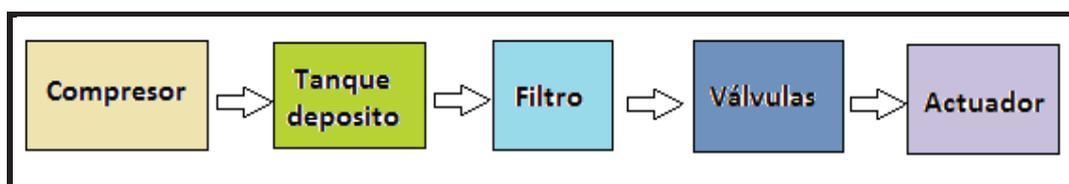


Figura 2.12 Elementos principales que comandan un sistema Neumático

Fuente: Propia del autor

### **2.3.1.1. Válvulas neumáticas**

Las válvulas son elementos que ayudan a controlar el arranque, parada, dirección y sentido del flujo de aire en un circuito neumático. Cumplen la función de válvulas distribuidoras cuando se utilizan para gobernar todo tipo de actuadores, bien sean lineales como los cilindros, rotativos como los motores neumáticos o pinzas.

Las válvulas de mando o pilotaje, se emplean en general para gobernar de forma directa o indirecta, las válvulas distribuidoras anteriores. Estas válvulas de pilotaje, se montan en los circuitos en paneles de mando, para ser manipuladas voluntariamente por el operador de la máquina, o bien se montan cerca de los actuadores para ser pulsadas mecánicamente por dichos elementos.

### **2.3.1.2. Válvulas direccionales**

La función de las válvulas es permitir, orientar o detener el flujo de aire para distribuir el aire hacia los elementos de trabajo son conocidas también como válvulas distribuidoras.

Constituyen los órganos de mando de un circuito. También son utilizadas en sus tamaños más pequeños como emisoras o captoras de señales para el mando de las válvulas principales del sistema, y aún en funciones de tratamiento de señales.

Las válvulas direccionales pueden ser manipuladas de tres formas distintas:

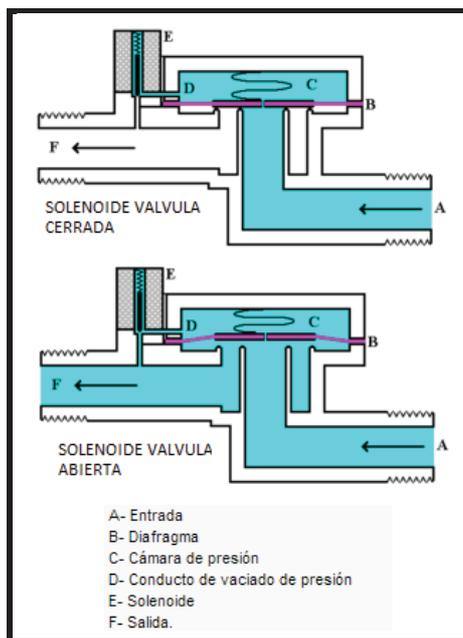
- De accionamiento mecánico (apertura y cierre se realiza por medio de una palanca accionada desde el exterior).
- De accionamiento eléctrico (apertura y cierre se realiza por medio de un electroimán).
- De accionamiento hidráulico (apertura y cierre se realiza por medio de presión hidráulica).

### **2.3.1.3. Electroválvulas**

Es una válvula electromecánica, se basan en un diseño para controlar el flujo de un fluido por medio de un conducto como una tubería, está compuesto por dos elementos fundamentales para el funcionamiento la válvula y la bobina solenoide, esta convierte energía eléctrica en energía mecánica para actuar la válvula.

Existen diferentes tipos de electroválvulas

- Donde el solenoide actúa de forma directa sobre la válvula distribuyendo de energía necesaria para el movimiento.
- Solo hace conmutar la entrada entre dos salidas y este tipo de electroválvula solo utiliza una bomba de circulación.
- No controla la válvula de forma directa sino que el solenoide tiene el control de una válvula piloto secundaria y la energía para que actúe la válvula principal la suministra la presión del propio fluido.



**Figura 2.13 Diagrama de válvula cerrada y válvula abierta**

Fuente: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solenoid\\_Valve.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solenoid_Valve.png)

#### **2.3.1.4. Electroválvula distribuidora 5/2**

La válvula 5/2 indica que es de 5 posiciones y 2 vías por el cual conduce el aire, es biestables quiere decir que la electroválvula tiene memoria y cuando recibe un pulso en una de sus bobinas mantiene esa posición y al momento de recibir otro pulso esta actúa y cambia de posición dentro de la válvula.

#### **2.3.1.5. Electroválvula distribuidora 3/2**

La válvula 3/2 indica que es de 3 posiciones y 2 vías por el cual conduce el aire, es monoestables quiere decir que no tiene memoria, entonces cuando recibe un pulso en la única bobinas cambia de posición hasta el momento en el cual termina el pulso y dentro de la válvula hace que regrese a la posición

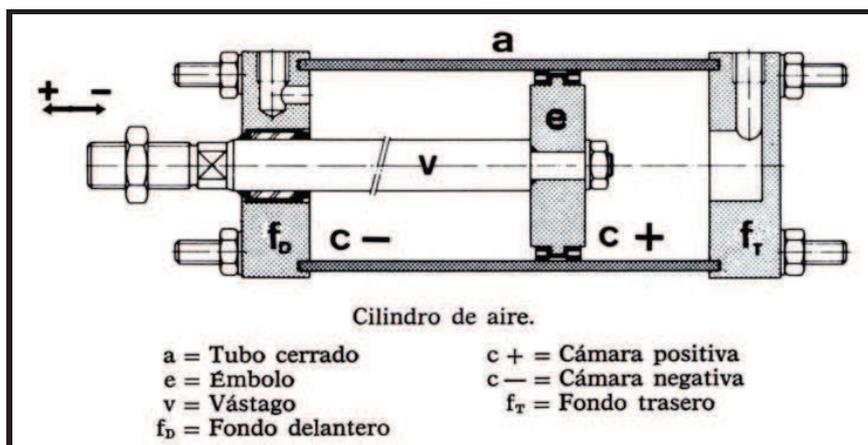
mediante un retorno automático por muelle. El impulso debe ser de 110v o 24v esto depende con que voltaje esté funcionando el proyecto.

### 2.3.1.6. Actuador Neumático

Son mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico por medio de un movimiento lineal.

### 2.3.1.7. Cilindro neumático

Son los elementos que actúan al recibir la orden de las válvulas distribuidoras, en si el cilindro neumático transforma la energía neumática en trabajo mecánico y este depende de la carrera que tenga en el vástago según la aplicación.



**Figura 2.14 Partes del cilindro neumático**

Fuente: [http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com/2010\\_07\\_01\\_archive.html](http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com/2010_07_01_archive.html)

Los cilindros se pueden clasificar en:

- Simple efecto
- Doble efecto
- De rotación

### 2.3.1.8. Racores neumáticos

Es la herramienta de fácil conexión, para garantizar la mayor eficacia, seguridad y fiabilidad que se requiere en las instalaciones.



**Figura 2.15 Tipos de racores**

Fuente: <http://www.tefesur.com/racores.html>

### 2.3.1.9. Mangueras neumáticas

Son los accesorios más utilizados para conducir aire comprimido en los sistemas neumáticos, en líneas de señal y control, ya que es de material ligero, resistente y flexible para el paso de aire comprimido.



**Figura 2.16 Manguera neumática**

Fuente: <http://neumatica-es.timmer-pneumatik.de/artikel/H-Schlaeuche/h-schlaeuche-4169.html>

Hay que recalcar que los racores y las mangueras han ayudado a reducir los tiempos de ensamble y mantenimiento en las conexiones de aire comprimido en los procesos.

### 2.3.1.10. Finales de carrera

Son conocidos como "interruptor de límite", son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido de un elemento móvil, el objetivo es que manda señales que logran modificar el estado de un circuito dependiendo de la operación al ser accionados. Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA), cerrados (NC) o conmutadores, de ahí la gran variedad de finales de carrera que existen en mercado.



Figura 2.17 Fin de carrera

Fuente: <http://tecnosi.wikispaces.com/3.+Control+electromec%C3%A1nico.+Leva,+final+de+carrera+y+rel%C3%A9>.

### 2.3.1.11. Sistemas complementarios

#### 2.3.1.11.1. Sistema de aire comprimido

Un sistema de aire comprimido está formado por un grupo de equipos y accesorios los cuales cuentan con cierta disposición específica, con el fin de proporcionar un caudal de aire determinado, a unas condiciones de presión y calidad de acuerdo con los requerimientos de la aplicación.

La utilización de aire comprimido para diferentes actividades industriales está fundamentada en las ventajas que lo preceden. Entre otras se destacan la amplia disponibilidad de esta sustancia; su compresibilidad; la posibilidad y facilidad para ser transportando en recipientes a presión.

Cada uno de los sistemas requiere una cierta condición de operación mínima de presión y caudal de aire para su correcto funcionamiento.

Un sistema de aire comprimido, consta de tres elementos básicos los cuales se describirán a continuación:

- Sistema de distribución, está formado por elementos los cuales el aire es transportado (tuberías, válvulas, etc.), Desde el compresor a su punto de utilización más lejano, no deberá tener una pérdida de presión mayor al 5%.
- Compresor, que se utiliza para la producción del aire comprimido, los cuales se pueden clasificar en compresores de flujo intermitente (o desplazamiento positivo) y compresores de flujo continuo.

## **2.3.2. SISTEMAS MECÁNICOS**

### **2.3.2.1. Estructura de módulo**

La estructura del módulo se lo va a realizar mediante cálculos que eviten los inconvenientes de deflexión si se coloca un peso mayor al establecido, la selección del material para que el sistema tenga un factor de seguridad.

### 2.3.2.2. Sistema de silos

Son los sistemas de almacenaje de una gran variedad de materia prima para las diferentes industrias, son necesarios ya que en ellos puede estar el producto por un largo o corto periodo, ejemplo

- Granos
- Agua
- Semillas

#### 2.3.2.2.1. Tipos de silos

Existen dos grupos en los que se los puede clasificar en función del material del cuales fabricado.

- **Silos de acero**

Los más frecuentes son de acero al carbono o de acero inoxidable, este ya que es por consumo humano, estos pueden ser de varios acabados superficiales y tiene una capa para protegerlo, en si las paredes internas son lisas empernadas o soldadas, también corrugadas empernadas. Los silos también pueden ser en la parte inferior plana o cónica.

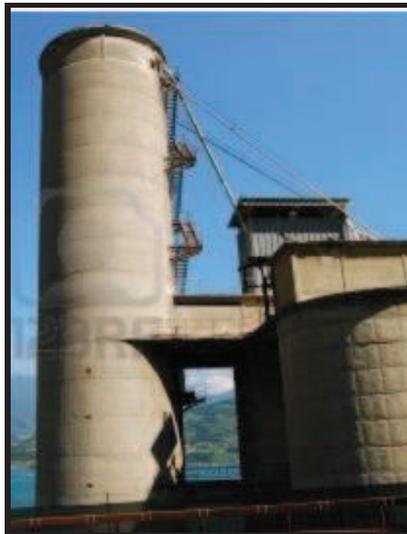


**Figura 2.18 Silo de acero**

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/masa-transplast/silos-de-acero-inoxidable-97735-891089.html>

- **Silo de concreto**

Se encuentran dos grandes grupos: silos con moldes prefabricados y silos de concreto de construcción. Los silos con moldes prefabricados se construyen con bloques que se los ponen juntos formando una pared circular, luego se los ajusta por medio de anillos de acero. Los silos de concreto de construcción, se utiliza encofrados que tienen la forma del silo deseado. En el espacio que queda entre los encofrados se verterá el concreto formando así el silo una vez que este se halla fraguado.



**Figura 2.19 Silo de concreto**

Fuente: [http://es.123rf.com/photo\\_3392963\\_industriales-silos-en-fabrica-de-cemento.html](http://es.123rf.com/photo_3392963_industriales-silos-en-fabrica-de-cemento.html)

### **2.3.2.3. Banda transportadora**

Son el mecanismo más eficaz en cuanto a elevación, como de transporte del producto de un lugar a otro, con la ayuda de ellas se ha logrado en el campo industrial reducir los tiempos y costos de producción, también para ayudar a reducir el riesgo a las personas que hacían trabajo pesado.

Los materiales usados en las bandas transportadoras y la superficie de las mismas depende del producto que va a transportar, es un proceso que no tiene la necesidad de detenerse para la carga y descarga, es así que, los fabricantes ofrecen varios diseños para dar solución a los procesos que requiera la industria, materiales como: PVC, malla metálica, poliuretano, goma, etc.

#### **2.3.2.4. Mecanismos de clasificación de envases**

El mecanismo de clasificación es una gran ayuda en el campo industrial, ya que esta ayuda a que en los procesos se separe los productos que estén defectuosos, o estos sean de diferente color, forma y a su vez guie al siguiente proceso ya sea de dosificación, empaque, etc.

#### **2.3.2.5. Mecanismo de mesa giratoria**

Una mesa giratoria es un elemento esencial para una mejor precisión que es ideal para posicionamiento de un proceso. Hay una gran variedad de mesas giratorias y estas dependen de la aplicación. Algunas de estas mesas son utilizadas como mesas de indexación esto quiere decir que realiza un proceso ordenado, para que el trabajo sea más efectivo.

#### **2.3.2.6. Tipos de envases**

Se denomina envase al contenedor que está en contacto directo con el producto y su función es almacenar, proteger, conservar e identificar el producto; también facilita su manejo y comercialización.

Tipos de envase:

- Madera: en si se emplea para la elaboración de cajas, carretes, cajones, etc. La ayuda de estos nos ayuda por solidez y duración ya que este depende de las propiedades del material.
- Vidrio: estos envases se emplean por su versatilidad de diseños por su color, forma, capacidad por ejemplo botellas, frascos, ampollas.
- Metal: estos envases son rígidos y en si son para contener productos sólidos como líquidos y estos son cerrados herméticamente.
- Plástico: estos materiales son para una vez consumido el producto se lo descarta ya que este tipo de material es reciclable.
- Papel y cartón: estos son usados para la transportación de cantidades grandes de botellas, latas, etc. Y son los materiales reciclables más tradicionales, en ayuda al medio ambiente.



**Figura 2.20 Tipos de envases**

Fuente: Propia del autor

### **2.3.3. SISTEMAS ELÉCTRICOS/ELECTRÓNICOS**

Un sistema electrónico es un arreglo de dispositivos y componentes electrónicos que tiene un conjunto definido de entradas y salidas. Con frecuencia los sistemas electrónicos utilizan sensores para captar variables externas de entrada y actuadores para controlar variables externas de salida.

#### **2.3.3.1. Motores eléctricos**

Los Motores Eléctricos son máquinas eléctricas que transforman en energía mecánica la energía eléctrica que absorben por sus bornes.

Estos se clasifican en motores de corriente continua y motores de corriente alterna, entre los motores de corriente continua más comunes y representativos son los actuadores debido a que son muy potentes y que giran a demasiada velocidad y son muy utilizados en aplicaciones robóticas. Es por esa razón se utilizan los reductores que están basados en engranajes.

#### **2.3.3.2. Motor reductor**

Son utilizados para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad de manera eficiente.

- Regulación perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- Alta eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.
- Transmisión segura, reduciendo los costos en el mantenimiento.
- Bajo espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.



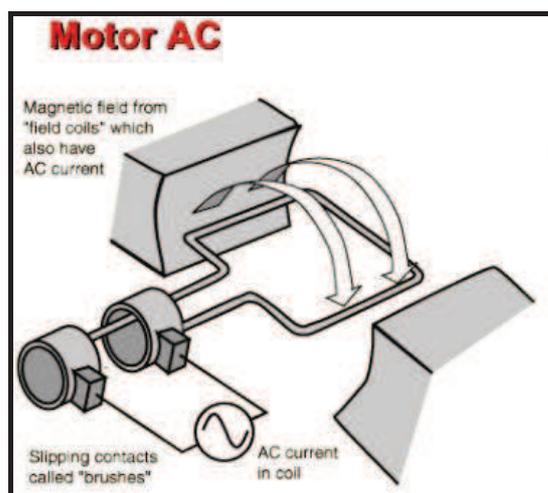
**Figura 2.21 Motor reductor eléctrico**  
Fuente: Propia del autor

### **2.3.3.3. Motor ac**

En un Motor AC dado que la corriente es alterna, el motor girara suavemente a la frecuencia de la forma senoidal, denominándose un Motor Asíncronico.

El más común es el motor de inducción, donde la corriente eléctrica es inducida en los bobinados del rotor, más que alimentada directamente. El campo magnético es producido por un electroimán accionado por el mismo voltaje de A.C. como en el rotor.

Los bobinados que producen el campo magnético se llaman tradicionalmente los bobinados de campo, mientras los bobinados y el rotor que giran se llaman armadura. En un motor A.C. el campo magnético varía sinusoidalmente, tal y como la corriente varíe en el bobinado.



**Figura 2.22 Motor ac**

Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/motorac.html>

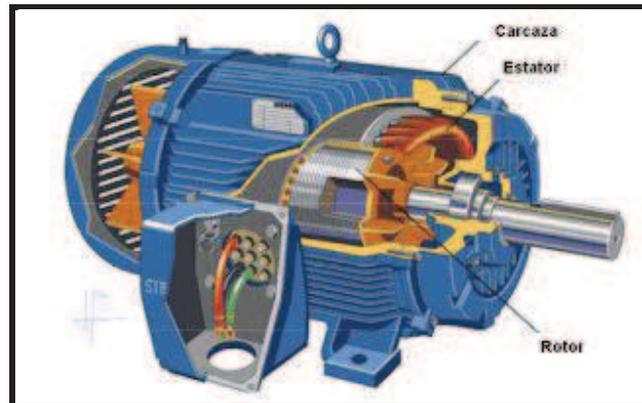
#### 2.3.3.4. Motor dc

Estos motores son muy utilizados para poder regular continuamente la velocidad del eje. Además tienen un par de arranque elevado.

En un motor DC se debe suministrar corriente continua en el inducido (bobinado situado en el rotor) y en el inductor (bobinado o imán situado en el estator).

Rotor: Constituye la parte móvil del motor, proporciona el par para mover a la carga.

Estator: Constituye la parte fija de la máquina, la función del estator es suministrar el flujo magnético, el cual será usado por el bobinado del rotor para realizar su movimiento giratorio.



**Figura 2.23 Motor dc**

Fuente: <http://pmtrmagnetismo.blogspot.com/2012/05/motor-de-corriente-directa-cd.html>

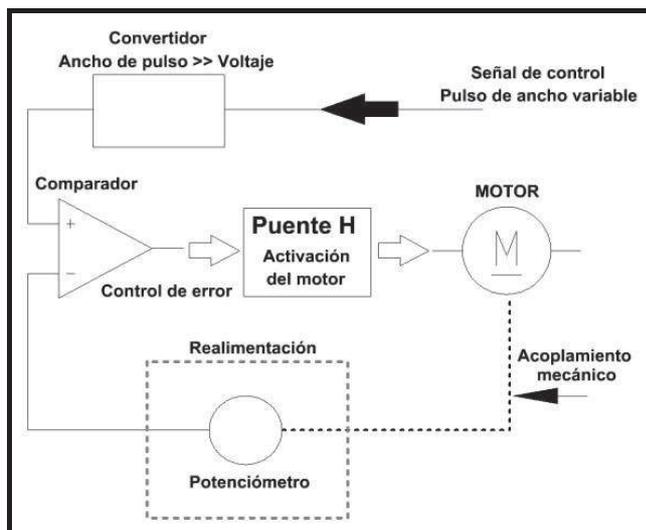
### 2.3.3.5. Servomotor

Un servomotor es un actuador mecánico de corriente continua, que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición, el cual cuenta con un motor y un conjunto de engranes esto permite multiplicar el torque final del sistema, este posee elementos de control los cuales permiten monitorear de manera constante la posición de un elemento mecánico, el cual esta enlazado con algún dispositivo para su control. La acción inducida electrónicamente a un servomotor, permitirá tener una respuesta mecánica controlada.



**Figura 2.24 Servomotor**

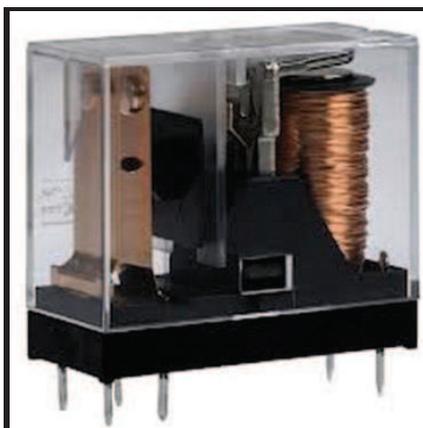
Fuente: <http://www.robotshop.com/ca/hitec-hs-5585mh-servo-motor.html>



**Figura 2.25** Diagrama en bloques de la estructura de un servomotor  
 Fuente: <http://www.servisystem.com.ar/NEOTEO/Servo/servo.htm>

### 2.3.3.6. Relés

El **relé** o **relevador** es un elemento electromecánico. Se lo utiliza como un interruptor controlado por un circuito eléctrico ya que en su interior tiene una bobina y un electroimán, al accionarse estos realizan un juego para mandar señales a uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos de salida de mayor potencia que el de entrada, también se lo considera, como un amplificador eléctrico.



**Figura 2.26** Relé  
 Fuente: <http://www.zigbe.net/archivos/393>

### 2.3.3.7. Sensores digitales

Los sensores digitales son aquellos que ofrecen a su salida una señal en forma digital, por la simplificación que suponen en el acondicionamiento de señales y su mayor inmunidad a las transferencias electromagnéticas en determinados casos. Los sensores digitales pueden ser de dos tipos los que ofrecen directamente una señal digital a partir de una entrada analógica, este grupo lo forman los codificadores de posición. El segundo tipo es el de los sensores que están basados en un cierto fenómeno físico de tipo oscilatorio, transducido posteriormente por un sensor modular convencional. Los sensores de este grupo se denominada auto resonantes, de frecuencia variable, o casi digitales, y necesitan un circuito electrónico posterior (un contador) para ofrecer la señal digital deseada.



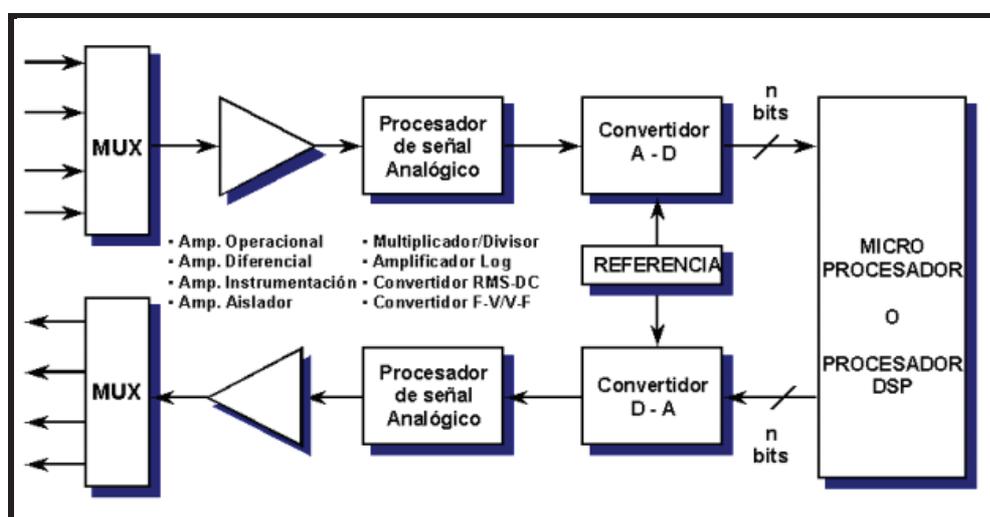
**Figura 2.27 Sensor digital**

Fuente: <http://1510679.blogspot.com/2012/11/21-sensores-y-transductores.html>

### 2.3.3.8. Acondicionadores y procesadores de señal

Los sensores, no pueden solo representar un componente electrónico básico, estos deben adaptarse a un sistema de adquisición y control. Por lo que estos sensores deben adaptarse como parte de una cadena de dispositivos, que formaran un sistema y proporcionar su salida con características

determinadas, para esto se diseñan acondicionadores de señal, basados en amplificadores operacionales en sus diferentes estructuras de montaje, pasando por filtros o por procesadores analógicos, convirtiendo estas señales de analógico a digital para posteriormente ser procesados los datos con un DSP o Micro controlador y actuando por medio de las salidas lógicas del procesador o por medio de un convertidor digital a analógico.



**Figura 2.28 Acondicionamiento y procesamiento de señal**

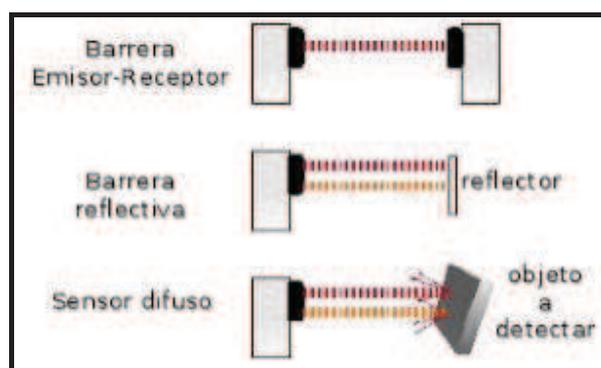
Fuente: <http://dc376.4shared.com/doc/lrTla-VF/preview.html>

### 2.3.3.9. Sensor fotoeléctrico

Los sensores fotoeléctricos emplean un haz luminoso como condicionante para detectar objetos su funcionamiento se da a través del cambio en la cantidad de luz que es reflejada o bloqueada por el objeto que se desea detectar. El cambio de luz puede ser producido por la ausencia del objetivo, como resultado de un cambio de tamaño, forma, reflexividad o color del objetivo. Los parámetros que se analizan son:

Salida de operación con luz (LO): La salida se activa (energiza) cuando el receptor puede detectar suficiente luz proveniente de la fuente de luz.

Salida de operación en oscuro (DO): La salida se activa (energiza) cuando el receptor no puede detectar la luz proveniente de la fuente de luz.



**Figura 2.29 Modos de detección estándar**

Fuente: <http://miguelangelmei.blogspot.com/2011/06/sensor-fotoelectronico.html>

### 2.3.3.10. Sensor Capacitivo

Estos sensores tienen una ventaja sobre los sensores inductivos, reaccionan ante metales y no metales por proximidad a la superficie. La distancia para que se active depende también del material, su respuesta es más rápida cuanto más elevada sea su constante dieléctrica.

Son usados para identificar, contar objetos, también para toda clase de controles de nivel de carga ya sea este sólido o líquido. El uso que se le ha dado en la última década es en los dispositivos con pantalla táctil, como teléfonos móviles o computadoras ya que el sensor percibe la pequeña diferencia de potencial por medio de las membranas de los dedos que están eléctricamente polarizados de una persona adulta. Existen diferentes tipos de sensores capacitivos como:

- Sensor capacitivo de nivel
- Sensor capacitivo de posición



**Figura 2.30 Sensor capacitivo**

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/hanyoung/sensores-de-cercania-capacitivos-39710-328848.html>

#### **2.3.3.11. Sensor Capacitivo de nivel**

Cuando un objeto ingresa en el campo eléctrico que hay entre las placas del sensor, varía el dieléctrico, variando consecuentemente el valor de capacitancia.

#### **2.3.3.12. Sensor Capacitivo de posición**

En esta aplicación se utiliza un condensador variable, y una de las placas es móvil, así se puede manipular la superficie efectiva ya sea esta mayor o menor entre las dos placas y logrando variar el valor de la capacitancia.

#### **2.3.3.13. Actuadores**

Los actuadores producen una salida no eléctrica a partir una señal eléctrica. Existen muchas clases de actuadores, como:

En este caso las aplicaciones más utilizadas para actuadores:

- Diodos emisores luz (LED) como indicadores, utilizados en el control de la cantidad de luz.
- Solenoides, para activar las electroválvulas
- Motores eléctricos, que se utilizan en la producción de movimiento o velocidad.

#### **2.3.4. SISTEMAS DE CONTROL**

Este sistema nos permite controlar el proceso por medio del PLC S7-1200 y una interfaz HMI. Se realiza especificaciones de cada sistema para que el usuario identifique el proceso y pueda realizar el control.

##### **2.3.4.1. Visión artificial**

La visión artificial es considerada en el campo de “Inteligencia artificial”, ya que con las técnicas que usa obtiene, procesa y analiza varios tipos de información a través de imágenes.

Además es un conjunto destinado a realizar el análisis de las imágenes, ya que con el software adecuado este capta, procesa las imágenes e interpreta los resultados.

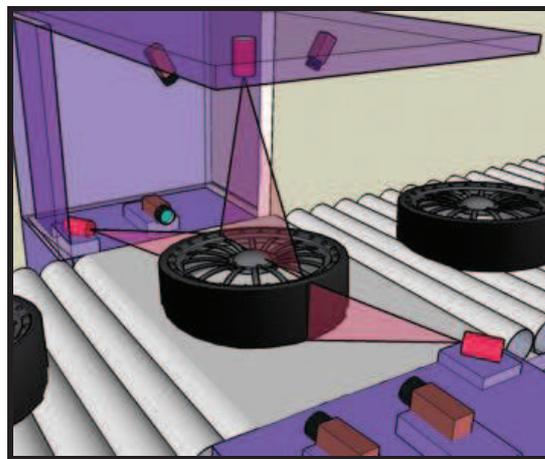
Se pueden realizar varias tareas con la visión artificial:

- Inspecciona los objetos por medio de cámaras.
- Automatiza tareas de inspección repetitiva.
- Realiza el control de calidad que eran difíciles de verificar.
- Reduce el tiempo en los ciclos de procesos automatizados.

- Realiza la inspección del 100% de la producción.

Las aplicaciones más usadas en la industria son:

- Identificación e inspección de objetos.
- Mediciones tridimensionales.
- Determinar las coordenadas importantes de un objeto.
- Realizar mediciones angulares.



**Figura 2.31 Visión artificial**

Fuente: <http://blog.infaimon.com/2011/12/soluciones-de-vision-artificial-para-automocion/>

#### **2.3.4.2. Control de calidad**

El control de calidad es la herramienta que se utiliza en varios campos de la industria de trabajo para detectar la presencia de fallas que existan. El control de calidad es una organización de servicio, que permite indicar las especificaciones establecidas hacia los productos y así ayudar al departamento de producción para que los productos no tengan fallas. En si esta función consiste en la recolección y análisis de grandes cantidades de productos que después de verificar cual fue la falla se inicia una acción correctiva adecuada,

todo producto que no cumpla las especificaciones mínimas para decir que aprobó, será eliminado, sin la posibilidad de reutilizarlo.

### **Pasos**

1. Probar la necesidad de mejoramiento.
2. Identificar los proyectos concretos de mejoramiento.
3. Organizar para la conducción de los proyectos.
4. Organizar para el diagnóstico o descubrimiento de las causas.
5. Diagnosticar las causas.
6. Probar que la solución es efectiva bajo condiciones de operación.
7. Proveer un sistema de control para mantener lo ganado.

#### **2.3.4.3. Sistema HMI**

Las siglas de HMI es la abreviación de Interfaz Humano Máquina, es decir que se puede observar en una pantalla un proceso industrial, en si estos dispositivos se ubican en los paneles del operador o en una computadora, también son conocidos como monitoreo y control de supervisión. Para observar las señales del proceso en el HMI se utiliza tarjetas de entrada/salida en la computadora, PLC, RTU, todos estos dispositivos deben tener una interfaz de comunicación que entienda el HMI.

Las funciones principales de un software HMI son:

- Monitoreo
- Supervisión
- Alarmas

- Control
- Históricos

### **2.3.5. SOFTWARE PARA LOS MÓDULOS**

#### **2.3.5.1. Introducción al autómata s7 1200**

El autómata S7-1200, es el último dentro de una gama de controladores SIMATIC de Siemens, es el sucesor del S7-200 y está disponible desde junio del 2009. El controlador compacto SIMATIC S7-1200 es el modelo modular y compacto para pequeños sistemas de automatización que requieran funciones simples o avanzadas para lógica, HMI o redes. Gracias a su diseño compacto, su bajo coste y sus potentes funciones, los sistemas de automatización S7-1200 son idóneos para controlar tareas sencillas. En el marco del compromiso SIMATIC para con la automatización plenamente integrada (TIA: Totally Integrated Automation), la familia de productos S7-1200 y la herramienta de programación STEP 7 Basic proporcionan la flexibilidad necesaria para cubrir las diferentes necesidades de automatización de cada caso.

El controlador S7-1200 ofrece la flexibilidad y potencia necesarias para controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas necesidades de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones.

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, PROFINET integrado, E/S de control de

movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas, todo ello en una carcasa compacta, conformando así un potente controlador. Una vez descargado el programa, la CPU contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de contaje y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes.

Para comunicarse con una programadora, la CPU incorpora un puerto PROFINET integrado. La CPU puede comunicarse con paneles HMI o una CPU diferente en la red PROFINET.

SIMATIC S7-1200 es el controlador de lazo abierto y lazo cerrado de control de tareas en la fabricación de equipo mecánico y la construcción de la planta. Se combina la automatización máxima y mínimo coste. Debido al diseño modular compacto con un alto rendimiento al mismo tiempo, el SIMATIC S7-1200 es adecuado para una amplia variedad de aplicaciones de automatización. Su campo de aplicación se extiende desde la sustitución de los relés y contactores hasta tareas complejas de la automatización en las redes y en las estructuras de distribución. El S7-1200 también se abre cada vez más ámbitos en los que la electrónica especial ha sido desarrollada previamente por razones económicas.

**Instalación sencilla y cómoda.**

El hardware completo SIMATIC S7-1200 incorpora clips para un montaje rápido y fácil en perfil DIN de 35 mm, Además, estos clips integrados son extraíbles, lo que significa que pueden funcionar como taladros de montaje en caso de no utilizarse perfil soporte. El hardware SIMATIC S7-1200 puede instalarse, con absoluta flexibilidad, tanto en posición horizontal como vertical.

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO DE LOS SISTEMAS MODULARES

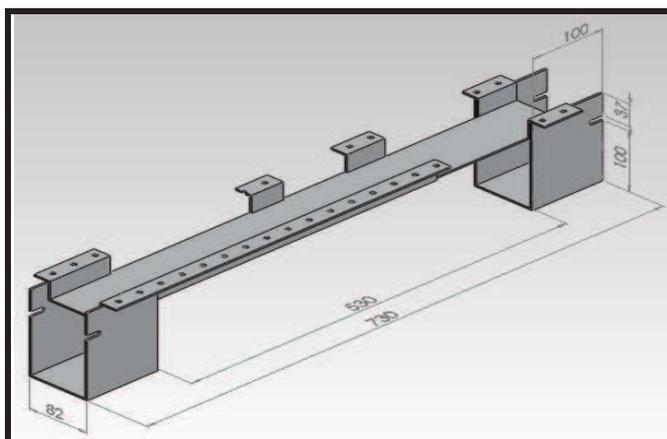
#### GENERALIDADES

En el presente capítulo se determinará el cálculo y diseño de todos los elementos mecánicos que componen el sistema de dosificación, los parámetros iniciales son capacidad de carga, velocidad de trabajo de masas y banda, diseño del sistema contenedor el diseño de la estructura teniendo en cuenta la longitud, ancho y altura y cálculo de los elementos neumáticos.

#### 3.1. MECÁNICO

##### 3.1.1. DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

La figura 3.32 se observa las dimensiones de la banda transportadora, a partir de las siguientes dimensiones se realizará el cálculo en la estructura.

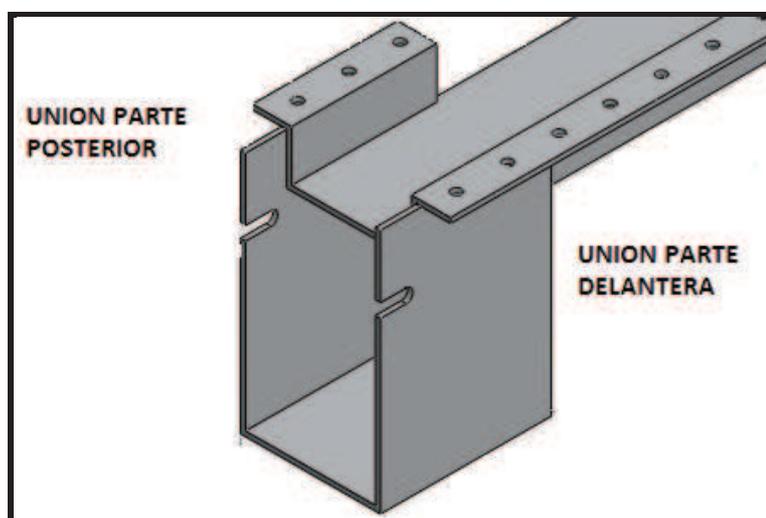


**Figura 3.32 Dimensiones de la Estructura**

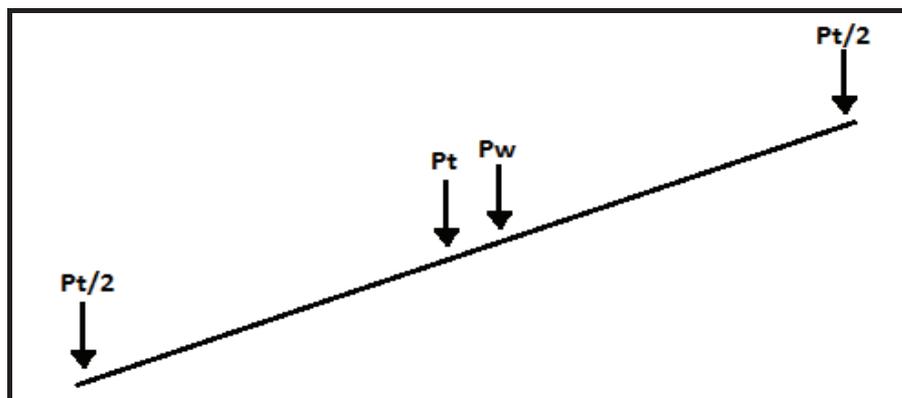
Fuente: Propia del autor

### 3.1.2. ANÁLISIS ESTÁTICO EN LA ESTRUCTURA

El peso total se divide para dos, debido a que esta sujeta a los dos soportes los cuales se unen en la parte del frente y en la posterior como se indica en la figura 3.34, resultaría que el peso total en cada punto afectaría en  $Pt/4$ . La parte en la cual se realiza el análisis es el soporte ya que este elemento es el que es sometido a compresión por los pesos que son puestos en la estructura.



**Figura 3.33 Soporte**  
Fuente: Propia del autor



**Figura 3.34 Cargas aplicadas a la estructura**  
Fuente: Propia del autor

Pt: Peso total; Penvases +Pejes

Pw: Peso de la barra

$$Pt = 1\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 = 9,8\text{N}$$

$$Pw = 0,704\text{ kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 = 6,9\text{N}$$

$$X1 = 0,35\text{m}$$

$$X2 = 0,7\text{m}$$

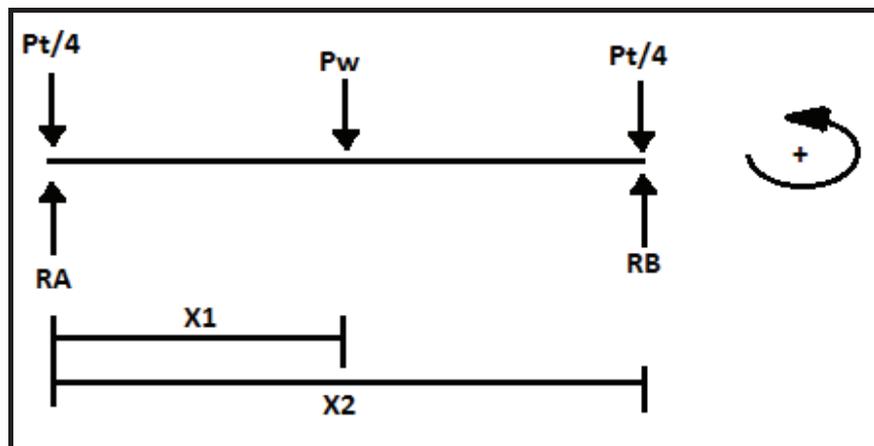


Figura 3.35 Cargas y reacciones aplicadas en la estructura  
Fuente: Propia del autor

$$\sum Fy = 0$$

$$Pt/4 + Pw + Pt/4 - RA - RB = 0 \quad (3.1)$$

$$\sum Ma = 0$$

$$-Pw (X1) - Pt/4 (X2) + RB(X2) = 0 \quad (3.2)$$

$$-6.9 \cdot 0.35 - 2.45 \cdot 0.7 + 0.7RB = 0$$

$$RB = 5.9\text{ N}$$

Entonces RB reemplazamos en la ecuación (3.1)

$$2.45 + 6.9 + 2.45 - RA - 5.9 = 0$$

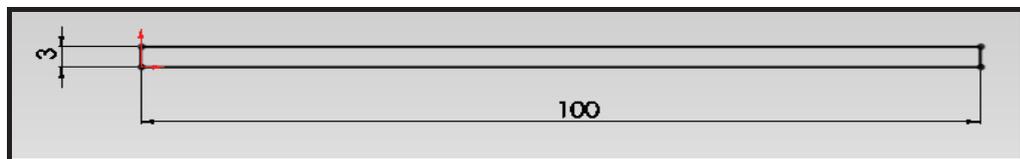
$$RA = 5.9 \text{ N}$$

Teniendo en cuenta que el análisis son los soportes a cada lado, para ello usamos la ecuación de esfuerzo máximo y deformación admisible respectivamente.

$$\sigma_{\text{máx.}} = \frac{F}{A} \quad (3.3)$$

$$\delta_{\text{adm}} = \frac{Sy}{FS} \quad (3.4)$$

El área donde se aplica tiene las siguientes dimensiones



**Figura 3.36 Dimensiones del soporte**

Fuente: Propia del autor

$$A = e * b \quad (3.5)$$

Dónde:

e: 0.003m es el espesor del soporte

b: 0.1m es el largo del soporte

$$A = 0,0003 \text{ m}^2$$

Teniendo en cuenta que  $[\sigma \text{ máx}] \leq [\delta \text{ adm}]$  podemos igualar las dos ecuaciones (3.3) y (3.4) para así obtener el factor de seguridad del soporte para la estructura

Y teniendo en cuenta que el aluminio es 6061

Donde

$S_y = 5.5 \text{ MPa}$  es el límite elástico.

$$\frac{F}{A} = \frac{S_y}{FS}$$

$$FS = \frac{S_y * A}{F} \quad (3.6)$$

$$FS = \frac{55148500 * 0,0003}{5.9}$$

$$FS = 2804.16$$

Ahora si nos antepone el  $FS = 1.5$ , tendremos que determinar el largo del soporte, entonces partimos de la misma igualdad solo que en este caso despejamos el largo.

$$b = \frac{FS * F}{S_y * e} \quad (3.7)$$

$$b = \frac{1.5 * 5.9}{55148500 * 0.003}$$

$$b = 0.053 \text{ mm}$$

Obteniendo este resultado nos damos cuenta que no podríamos hacer los soportes con estas dimensiones y a pesar que tenemos un elevado factor de seguridad con las dimensiones ya propuestas por diseño y porque nuestro sistema no va a estar exigido a una carga extrema para que así cause daños en la estructura.

- Esfuerzo máximo  $\sigma$  máx.
- Esfuerzo admisible  $[\sigma]$
- Deformación máxima  $\delta$  máx.
- Deformación admisible  $[\delta]$
- Factor de Seguridad FS

### **3.1.3. VIBRACIONES EN LA ESTRUCTURA**

#### **3.1.3.1. Criterios en el cálculo de vibraciones de la estructura**

La resonancia se produce cuando un cuerpo capaz de vibrar es sometido a la acción de una fuerza periódica, cuyo periodo de vibración coincide con el periodo de vibración característico de dicho cuerpo. En el cual una fuerza relativamente pequeña aplicada en forma repetida, hace que una amplitud de un sistema oscilante se haga muy grande.

A partir de esto se analizarán diferentes criterios de diseño:

- Las vibraciones relativas del eje no deben de exceder ciertos valores máximos.

- La variación en las vibraciones del eje respecto a los valores iniciales no debe exceder de ciertos límites.

Para nuestro diseño se determinó que a velocidades menores a las 500 rpm se realizará un análisis a partir de elemento finitos debido a que las cargas que se consideran sobre la estructura son pequeñas, también se determinó que sobre la estructura solo estarán cargas estáticas, y las cargas dinámicas serán despreciables.

En el caso del diseño de la estructura, se podrá tener mayor rigidez aumentando el espesor de las paredes de las bases, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- **Dominio temporal frente a la frecuencia**
- **Desequilibrio**

El desequilibrio empieza a originarse por no estar la masa uniformemente distribuida con respecto del centro de giro del rotor, de modo que el centro de gravedad y el centro de giro no coinciden.

**Tabla 3.1 Formas de detección en el Desequilibrio Estático**

<b>Tipo de Desequilibrio</b>	<b>Frecuencia (CPM)</b>	<b>Amplitud respecto a los extremo</b>	<b>Fase respecto a los extremos</b>	<b>Dirección de medida</b>
<b>Estático</b>	1xrpm	Misma Amplitud	Misma Fase	Radial

Fuente: Vibraciones Mecánicas, Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), [www.uclm.es/area/imecanica/.../Vibraciones.../Tema05\\_2.pdf](http://www.uclm.es/area/imecanica/.../Vibraciones.../Tema05_2.pdf)

- **Holguras y piezas sueltas**

Si uno de los pernos de sujeción estuviese flojo, por el desequilibrio residual, la fuerza de dicho desequilibrio produce un “levantamiento”, que se repetiría cuando dicha fuerza no fuese suficiente para compensar el peso del cuerpo (2 impactos por vuelta).

**Tabla 3.2 Formas de detección en Holguras y piezas sueltas**

<b>Frecuencia (CPM)</b>	<b>Amplitud</b>	<b>Dirección de medida</b>
<b>2,4,6x rpm</b>	Amplitud de la vibración más alta en la dirección de la holgura.	Radial

Fuente: Vibraciones Mecánicas, Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), [www.uclm.es/area/imecanica/.../Vibraciones.../Tema05\\_2.pdf](http://www.uclm.es/area/imecanica/.../Vibraciones.../Tema05_2.pdf)

- **Problemas eléctricos**

La Vibración es el resultado de fuerzas electromagnéticas desiguales que actúan sobre rotor y estator. Las causas que lo producen son las barras rotas en el rotor, rotores excéntricos, desequilibrio entre fases múltiples, entrehierro no uniforme, problemas impulso momento torsor (barras sueltas o devanados sueltos en estator).

Hertzio= Hz =ciclos por segundo

RPM= Revoluciones por minuto

CPM= Ciclos por minuto

CPM=RPM= Hz\*60

Aparecen a las frecuencias de la red: 60 Hz-3000cpm

Problema de impulso momento torsor: 2x frecuencia de Red (120Hz-6000cpm).

### **3.1.3.2. Método de los elementos finitos (SolidWorks )**

Se utiliza esta herramienta de simulación, debido que nos permite realizar una simulación de algún proceso reduciendo los costos y disminuyendo su tiempo, para esto se incluyen los siguientes pasos:

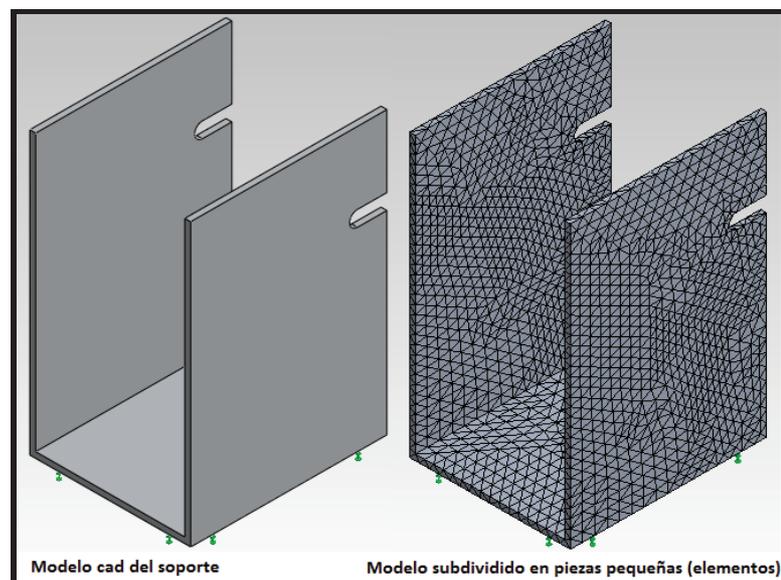
1. Crear el modelo en el sistema de CAD de SolidWorks.
2. Hacer el prototipo del diseño.
3. Probar el prototipo en el campo.
4. Evaluar los resultados de las pruebas de campo.
5. Modificar el diseño basándose en los resultados de la prueba de campo.

La simulación puede ayudarlo a realizar las siguientes tareas:

- Reducir costos al probar su modelo utilizando la computadora en lugar de pruebas de campo.
- Adelantar la comercialización del producto reduciendo el número de ciclos de desarrollo del mismo.
- Optimizar sus diseños al simular conceptos y escenarios antes de tomar decisiones finales.

Para esto se incluye el análisis de las tensiones o análisis estático, calcula los desplazamientos, deformaciones unitarias, y tensiones en una pieza basándose en el material, las sujeciones y las cargas. Un material falla cuando la tensión alcanza un determinado nivel. Diferentes materiales fallan a diferentes niveles de tensión. El análisis estático lineal realiza varias suposiciones para calcular las tensiones de la pieza.

El Método de elementos finitos es una técnica numérica fiable para analizar los diseños de ingeniería. Este método sustituye los problemas complejos por múltiples problemas simples. Divide el modelo en múltiples partes pequeñas de formas sencillas denominadas "elementos".



**Figura 3.37 Método de elementos finitos**  
**Fuente: Propia del autor**

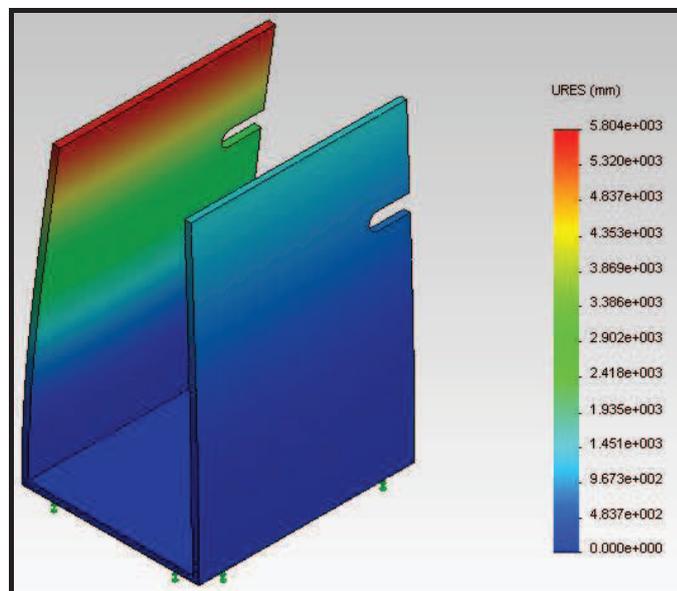
Los elementos comparten puntos comunes denominados "nodos". El comportamiento de estos elementos es conocido bajo todas las situaciones de soporte y carga posibles. El movimiento de cada nodo se describe por

completo mediante conversiones en las direcciones (X, Y, Z), denominado grados de libertad (GDL). El análisis que utiliza FEM se denomina Análisis de elementos finitos (FEA).

- **Cálculo de vibraciones**

Como anteriormente realizamos el análisis estático en los soportes, tenemos que analizar de nuevo ya que a estos soportes esta acoplado el motor para la banda transportadora por el cual va a estar sujeto el eje.

Realizando el análisis por medio de elementos finitos en el programa solidworks podemos observar que se tendría una deformación en la primera frecuencia de 782.82 rad/s entrando en resonancia.



**Figura 3.38 Primer ciclo de resonancia**  
Fuente: Propia del autor

**Tabla 3.3 Ciclos de Resonancia**

<b>Nro.</b>	<b>Frecuencia (rad/s)</b>	<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Periodo (seg)</b>
<b>1</b>	782.82	124.59	0.0080263
<b>2</b>	783.53	124.7	0.0080191
<b>3</b>	2455.6	390.82	0.0025587
<b>4</b>	2467.2	392.67	0.0025467
<b>5</b>	4690.3	746.48	0.0013396

Fuente: solidwork datos de los ciclos de resonancia

Entonces para que en nuestro sistema exista resonancia no debe sobrepasar la frecuencia de

$$f = 782.82 \text{ rad/s} * \frac{1 \text{ rev} * 60}{2\pi \text{ min}} \quad (3.7)$$

$$f = 7475.38 \text{ rev/min}$$

A la frecuencia que va a estar sometido el sistema de la banda transportadora es de 80rev/min y con este resultado no va a entrar en ningún ciclo de resonancia.

### **3.1.4. CRITERIO PARA LA SELECCIÓN DE ENVASES**

Se seleccionó envases de vidrio, ya que es uno de los materiales más cotidianos y con el que estamos continuamente en contacto. De vidrio se fabrican envases y embalajes para alimentos, bebidas. Este material es impermeable, resiste el calor dentro de un cierto rango, puede apilarse sin aplastarse, además de que el consumidor puede ver el interior del envase para verificar la apariencia del producto.

- **Características de los envases**

**Tabla 3.4 Tipos de Envases**

ENVASES	Sin Producto	Con Producto
PEQUEÑO	66,5 gr.	114 gr.
MEDIANO	86,2 gr.	165 gr.

Fuente: Propia del autor

- **Criterio aproximado para velocidad en los envases**

Ø Envase = 5cm.

5 envases en la banda

Dónde:

Cap.1= Cantidad de Envases por minuto que ingresaran al proceso.

Cap.2= Distancia de separación entre envases

Cap. 1= 10 envases/min.

Cap.2 = 20 cm/envases

Velocidad = Cap.1\*Cap.2 (3.8)

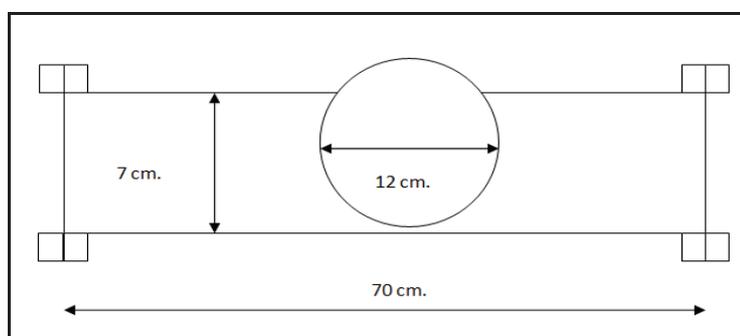
Velocidad= 90 cm/ min.  $\longrightarrow$  0.033 m/seg.

### 3.1.5. DISEÑO BANDA TRANSPORTADORA

Se efectúa la descomposición de todas las fuerzas que intervienen en la banda transportadora con la finalidad de realizar un análisis de cada uno de los elementos que componen la banda transportadora telescópica, por medio de cálculos y diseño se selecciona los perfiles adecuados que soporten la carga en la estructura, también se analiza y se efectúa el cálculo de columnas, ejes, planchas, rodillos, tipos de chumaceras, transmisión de movimiento a través de piñón cadena, análisis de soldadura, elementos de sujeción, sujetadores, sistema electromecánico y con el análisis realizado se considerará los esfuerzos determinados en los cálculos anteriores, para establecer un excelente diseño y selección de materiales, componentes mecánicos de esta forma se garantizan tener un diseño óptimo de la banda transportadora telescópica.

#### 3.1.5.1. Cálculo de la holgura de la banda

Se define la holgura de la banda (c) como el espacio que se ubica en los costados de la banda, ésta permite tener un margen de espacio utilizado para impedir que el material a transportar resbale.



**Figura 3.39 Esquema Banda Transportadora**

Fuente: Propia del autor

Así tenemos:

$c$  = Holgura de la banda (in)

$B$  = Ancho de la Banda (in)

$$c = 0.055 * (B + 0.9) \quad (3.9)$$

$$B = 8 \text{ cm.} / 3,15 \text{ in}$$

$$c = 0.055 * (3,15 + 0.9)$$

$$c = 0,223 \text{ in} \quad \longrightarrow \quad 0,56 \text{ cm}$$

### 3.1.5.2. Cálculo del ancho plano de la Banda

El ancho plano de la banda se refiere al espacio donde se ubicará el material para ser transportado.

$$Apb = 0.371 * B \quad (3.10)$$

Siendo:

$B$  = Ancho de la Banda (in)

$$Apb = 1,17 \text{ in} \quad \longrightarrow \quad 2,97 \text{ cm}$$

### 3.1.5.3. Cálculo del área del material a transportar

$$Am = \pi * r^2 \quad (3.11)$$

Siendo:

$A_m$  = área del material (m<sup>2</sup>)

$r$  = radio del cilindro (5 cm.)

$$A_m = \pi * (2.5)^2$$

$$A_m = 19.635 \text{ cm}^2$$

#### 3.1.5.4. Cálculo volumen del Envase

$$V_m = A_m * h \quad (3.12)$$

Siendo:

$h$  = Altura del Cilindro (9 cm.)

$$V_m = 19,635 * 9$$

$$V_m = 176,72 \text{ cm}^3$$

#### 3.1.5.5. Criterios de Selección de una Banda

##### Transportadora

- Una banda o cinta transportadora es una estructura de goma o tejido en forma de correa cerrada en anillo, con una unión vulcanizada o con empalme metálico, utilizada para el transporte de materiales.
- Las bandas transportadoras son los aparatos más utilizados para el transporte de objetos sólidos y material a granel a gran velocidad y cubriendo grandes distancias.
- Definimos el tipo de producto que se va a transportar, en nuestro caso son envases de vidrio.

- Son bandas ligeras resistentes a los aceites y aptas para la industria alimentaria, soportan temperaturas desde -15° hasta 80° grados centígrados.

### 3.1.5.6. Selección de la Banda Transportadora

Se seleccionó una banda transportadora de PVC debido a sus múltiples características, además estas bandas transportadoras se utilizan para aplicaciones estándar en el transporte de productos alimenticios, además es necesario indicar que las bandas de PVC tienen baja exigencia mecánica.

**Tabla 3.5 Banda con revestimiento de PVC**

Código de producto/banda	Construcción del producto/diseño				Datos técnicos									
	Material	Superficie	Propiedad	Color	Grosor		Radio del canto vivo		Diám. de la polea mínimo		Temperatura de funcionamiento			
					[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	max °C	min °C	max °F	min °F
NAB-5EFWW	PVC	Suave/plano	Adhesivo	Blanco	1	0.04	NA	NA	20	0.8	70	-10	158	14
NAB-10EFWW	PVC	Estera	Adhesivo	Azul cobalto	2	0.08	NA	NA	24	0.9	70	-10	158	14
NAB-12EFWW	PVC	Estera	Adhesivo	Blanco	2.8	0.11	NA	NA	80	3.1	70	-10	158	14
NAB-8E1WW	PVC	Patrón cuadro	Adhesivo	Blanco	2	0.08	NA	NA	20	0.8	70	-10	158	14
NAB-10E1WW	PVC	Suave/plano	Adhesivo	Blanco	2.5	0.1	NA	NA	24	0.9	70	-10	158	14
NAB-15E1WW	PVC	Suave/plano	Adhesivo	Blanco	3	0.12	NA	NA	80	3.1	70	-10	158	14
NAB-18E1WW	PVC	Estera	Adhesivo	Blanco	4.6	0.18	NA	NA	120	4.7	70	-10	158	14
NAB-24EDWW	PVC	Suave/plano	Adhesivo	Blanco	6	0.24	NA	NA	280	11	70	-10	158	14
NAB-24EFWW	PVC	Suave/plano	Adhesivo	Blanco	4	0.16	NA	NA	120	4.7	70	-10	158	14
NAB-25E1WW	PVC	Estera	Adhesivo	Blanco	6	0.24	NA	NA	280	11	70	-10	158	14
NAW-8E1WW	PVC	Grabado pira.	Adhesivo	Blanco	2	0.08	NA	NA	25	1	70	-10	158	14
NNI-5EFTU	TPU	Tejido impreg.	No adhesivo	Transparente	0.55	0.02	4	0.16	10	0.4	80	-20	176	-4
NNR-5RFWR	PET/CO	Tejido	No adhesivo	Blanco	2.5	0.1	NA	NA	25	1	90	-10	194	14
NNT-5CFWC	CO	Tejido	No adhesivo	Blanco	4.1	0.16	NA	NA	120	4.7	90	-10	194	14
NNT-8EEWE	PET	Tejido	No adhesivo	Blanco	1.6	0.06	NA	NA	24	0.9	90	-10	194	14
NNT-5EFWE	PET	Tejido	No adhesivo	Blanco	1.4	0.06	NA	NA	40	1.6	70	-10	158	14
NNT-8EFWE	PET	Tejido	No adhesivo	Blanco	1.6	0.06	NA	NA	20	0.8	90	-10	194	14
NNT-10EFWE	PET	Tejido	No adhesivo	Blanco	2.1	0.06	NA	NA	30	1.2	90	-10	194	14

Fuente: Bandas Transportadoras y de procesamiento Food HABASIT

- **Características Banda transportadora PVC**

Material: PVC blanco Liso

Espesor: 2mm

Diámetro Mínimo de la Polea: 1(in) – 25,4 mm

Peso de la banda =  $1,40 \frac{kg}{m^2}$

Peso botellas llenas= 220 gr  $\longrightarrow$  0,220 Kg.

Peso botellas vacías = 99.4 gr.

Total de botellas sobre la banda = 2 botellas llenas+2 botellas vacías

Pesos de botellas = 638.8 gr.

Ancho de banda = 7 cm.  $\longrightarrow$  0.07 m

### 3.1.5.7. Cálculo de la Longitud de la Banda

Longitud entre centros de los rodillos (700 mm)

Dónde:

Lr: Mitad del Perímetro del rodillo

dr : Diámetro del rodillo (25,4 mm)

$$Lr = \pi * \frac{dr}{2} \quad (3.13)$$

L=  $3,1416 * 12,7 = 39,9$  mm

Longitud total de la banda=  $(2 * 700) + (39,9 * 2)$

Longitud total de la banda= 1480 mm =1,480 m

### 3.1.5.8. Cargas sobre la Banda Transportadora

$$\text{Peso banda Total} = \text{Peso banda} * \text{Ancho de Banda} * \text{Longitud total de la banda} \quad (3.14)$$

$$\text{Pesobandatotal} = 2,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 1.480\text{m} * 0.07\text{m}$$

$$\text{Pesobandatotal} = 0.259 \text{ kg.}$$

PT = Peso total

$$PT = \text{PesodelabandaTotal} + \text{Pesosdebotellas} \quad (3.15)$$

$$PT = 0.259 + 0.638$$

$$PT = 0.897 \text{ kg.}$$

$\mu c = 0,25$  Entre el PVC y Aluminio.

$$Fr = \mu c * N_{max} \quad (3.16)$$

$$N_{max} = PT * 9,8$$

$$N_{max} = 8,80$$

$$Fr = 0,25 * 8,84$$

$$Fr = 2,197 \text{ N}$$

### 3.1.5.9. Cálculo de la Potencia del Motor

$$Pm = Fr * \text{Velocidad} \quad (3.17)$$

$$P_m = 0.073 \text{ W}$$

### 3.1.5.10. Cálculo Velocidad Angular

Dónde:

r : radio del rodillo

$$\omega = \frac{\text{velocidad}}{r} \quad (3.18)$$

$$\omega = \frac{0.033}{\frac{12,7}{1000}}$$

$$\omega = 2,6 \frac{\text{rad}}{\text{seg.}}$$

$$RPM = 25$$

### 3.1.5.11. Cálculo Velocidad Angular

$$\text{Torque} = \frac{P_m}{\omega} \quad (3.19)$$

$$\text{Torque} = 0,03 \text{ Nm}$$

### 3.1.5.12. Selección del Motor

Seleccionamos el siguiente motor para el diseño:



**Figura 3.40 Metal Gearmotor**

Fuente: <http://www.pololu.com/catalog/product/1102>

**Tabla 3.6 Especificaciones Metal Gearmotor 37Dx57L mm**

Características	Especificaciones
Alimentación	12V
Torque	18 kg-cm
RPM	80
Tamaño	37D x 57L mm
Corriente Máxima	5 A

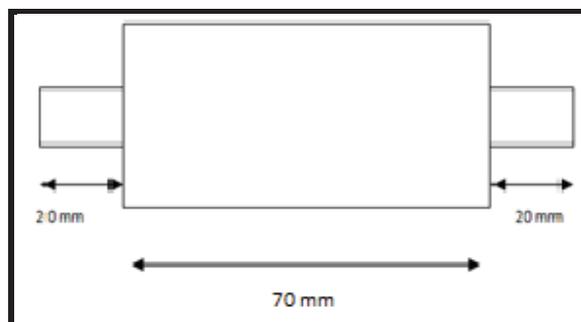
Fuente: Catalogo de Producto, PololuRobotics&Electronics, [www.pololu.com](http://www.pololu.com).

Para el caso de la selección del motor utilizamos el motor con torque de funcionamiento en esta caso es de 16 kg cm a 5A y 100rpm, este valor lo transformamos a Nm. Para poder comparar con nuestro calculo.

Torque del motor= 1,57 Nm., por lo que para nuestro diseño utilizaremos este motor debido a que cumple con los requerimientos antes analizados.

### 3.1.6. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS RODILLOS

#### 3.1.6.1. Cálculo de fuerzas sobre el eje



**Figura 3.41 Dimensiones de los Rodillos**  
Fuente: Propia del autor

Dimensiones:

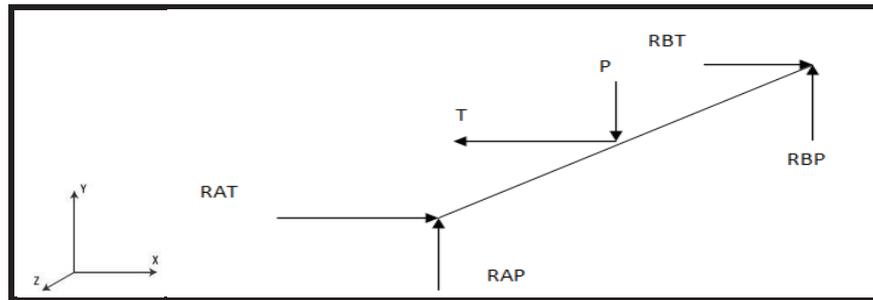
Ancho de la banda: 70 mm

**Tabla 3.7 Ancho mínimo de las poleas**

Ancho de la Cinta (mm)	Ancho de las poleas mayor que el ancho de la cinta (mm)
Menor de 460	25
De 461 hasta 750 incl.	50
De 761 hasta 1000 incl.	75
De 1001 hasta 1400 incl.	100
De 1401 hasta 1700 incl.	125
De 1701 hasta 2000 incl.	150

Fuente: Manual de cálculo de cintas transportadoras, PIRELLI

Considerando el criterio de Bandas transportadoras, ANEXO de la tabla 29 del Manual PIRELLI en obtenemos que si el ancho de la banda es menor a 400 mm.



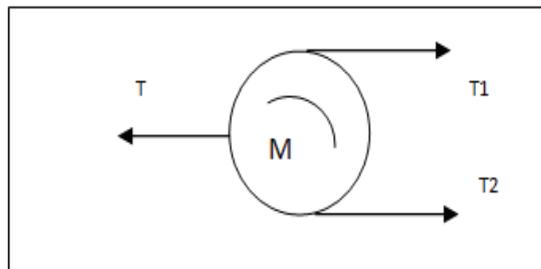
**Figura 3.42 Diagrama de cuerpo Libre**  
Fuente: Propia del autor

- **Análisis de las cargas sobre el Rodillo**

$$PT = 0.897 \text{ kg.}$$

$$\text{Carga}_{PT} = 8.79 \text{ N}$$

T= Tensión



**Figura 3.43 Tensiones del Rodillo**  
Fuente: Propia del autor

$$T = \frac{2 * M}{r} (3.20)$$

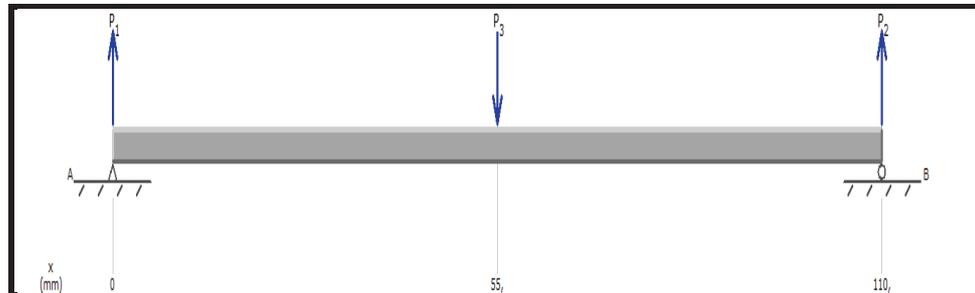
Radio del rodillo = 12,7 mm

$$T = \frac{2 * 0,03Nm}{0,0127 \text{ m}}$$

$$T = \frac{2 * 0,03Nm}{0,0127 \text{ m}}$$

$$T = 4,7 \text{ N}$$

- **Análisis de fuerzas Y-Z**



**Figura 3.44 Distribución de Cargas eje Y-Z**  
Fuente: Propia del autor

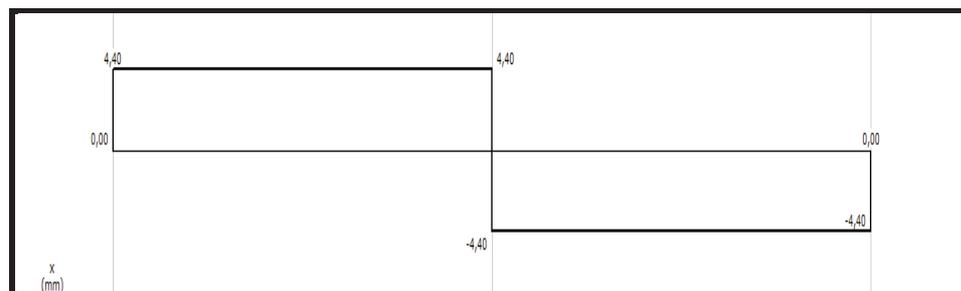
$$\Sigma F_y = 0 \quad (3.21)$$

$$P_T - R_{AP} - R_{BP} = 0 \quad R_{AP} = R_{BP}$$

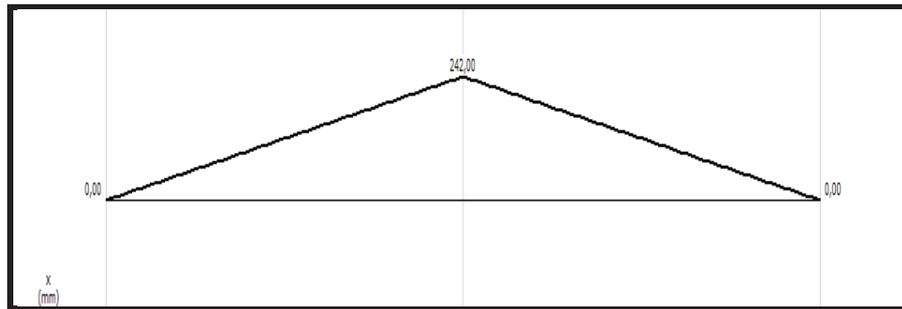
$$P_T = 2R_{BP}$$

$$R_{BP} = 4.395 \text{ N}$$

Analizamos las fuerzas que actúan sobre el rodillo, en el programa MDSolids y podemos obtener su momento y torque.

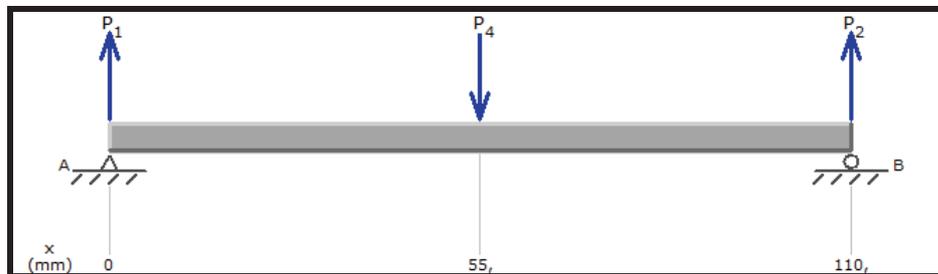


**Figura 3.45 Fuerza Plano Y-Z**  
Fuente: Propia del autor



**Figura 3.46 Momento Plano Y-Z**  
Fuente: Propia del autor

- **Análisis de fuerzas X-Z**



**Figura 3.47 Distribución de cargas Plano X-Z**  
Fuente: Propia del autor

$$\Sigma F_x = 0$$

$$T - Ax - Bx = 0$$

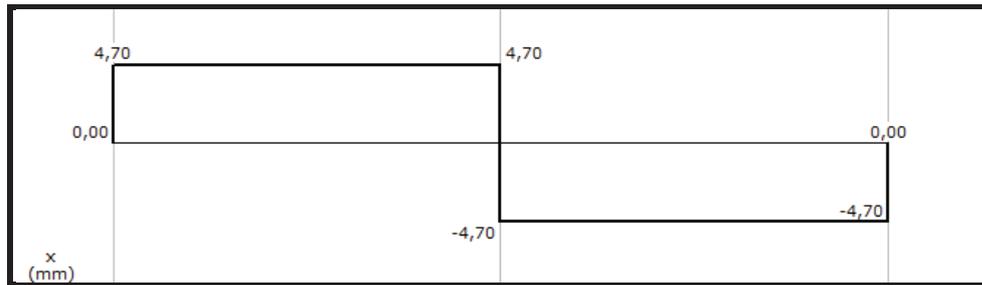
$$Ax = Bx \quad (3.22)$$

$$T = 2Ax$$

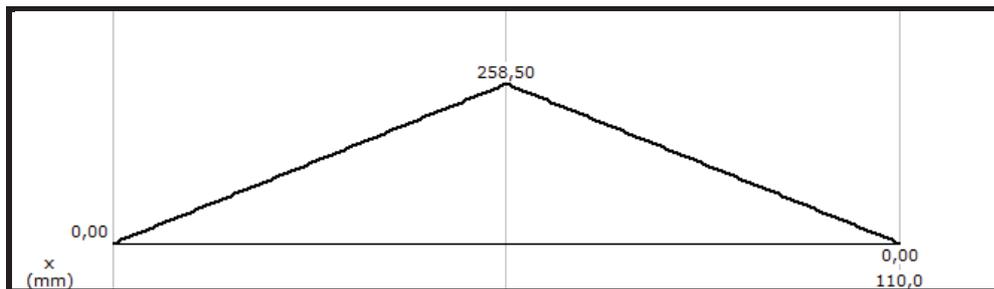
$$Ax = \frac{T}{2}$$

$$Ax = 2,35 \text{ N}$$

Analizamos las fuerzas que actúan sobre el rodillo, en el programa MDsolids y podemos obtener su momento y torque.



**Figura 3.48 Fuerza Plano X-Z**  
Fuente: Propia del autor



**Figura 3.49 Momento Plano X-Z**  
Fuente: Propia del autor

### 3.1.6.2. Cálculo en el cambio de sección del Rodillo

- Calculo del diámetro en el cambio sección del rodillo (diámetro menor)

Fuerza aplicada en el apoyo del rodillo

$$FT = \sqrt{Ax^2 + RBP^2} \quad (3.23)$$

$$FT = \sqrt{2,35^2 + 4,39^2}$$

$$FT = 4,97 \text{ N}$$

- Momento Flector:

$$MF = FT * Lr \quad (3.24)$$

Dónde:

FT: Fuerza aplicada en el apoyo del rodillo

Lr: Longitud del rodillo del diámetro menor

$$M_f = 4,97\text{N} * 20\text{mm}$$

$$M = 99,58\text{ Nmm} \longrightarrow 0,0994\text{ Nm}$$

- **Cálculo del esfuerzo por Flexión**

$$\sigma_f = \frac{MC}{I} \quad (3.25)$$

$$\text{Inercia del eje por flexión} = \frac{\pi * r^4}{4}$$

$$\sigma_f = \frac{0,0994 * r}{\frac{\pi * r^4}{4}}$$

$$\sigma_f = \frac{0,127}{r^3}$$

$$\sigma_{fmax} = \frac{0,127}{r^3}$$

$$\sigma_{fmin} = -\frac{0,127}{r^3}$$

Dónde:

$\sigma_{om}$ : Esfuerzo por flexión medio.

$\sigma_{oa}$ : Esfuerzo por flexión alternativo.

$$\sigma_{om} = \frac{\sigma_{fmax} + \sigma_{fmin}}{2} = 0 \quad (3.26)$$

$$\sigma_{oa} = \frac{\sigma_{fmax} - \sigma_{fmin}}{2} = 0 \quad (3.27)$$

$$\sigma_{oa} = \frac{0,127}{r^3}$$

$$\sigma_{f^*} = \sigma_{oa} * K_f \quad (3.28)$$

Dónde:

$K_f$ : Coeficiente de Fatiga

$q$ : La sensibilidad de la muesca (0-1)

$K_t$ : Coeficiente estático para flexión (2,2)

$$k_f = 1 + (k_t - 1) * q \quad (3.29)$$

$q = 1$  debido a que se consideró que la muesca es lo más sensible por criterio de diseño.

Se escoge que  $q=1$  debido a que es más sensible a la muesca y por lo tanto

$K_f=K_t$

$$k_f = 1 + (2,2 - 1) * q$$

$$k_f = 2,2$$

$$\sigma_f = \frac{0,127}{r^3}$$

$$\sigma_{f^*} = \sigma_{oa} * K_f$$

$$\sigma_{f^*} = \frac{0,278}{r^3} Nm$$

- **Esfuerzo cortante por torsión**

$$\tau_t = \frac{T \cdot r}{I_t} \quad (3.30)$$

$I_t$ : Inercia por torsión

Torque esto se determinara a partir de la RPM que tendrá el motor seleccionado.

M: 1,57 Nm

$$I_t = \frac{\pi \cdot 16 \cdot r^4}{32} \quad (3.31)$$

$$\tau_t = \frac{1,57 \cdot r}{\frac{\pi \cdot 16 \cdot r^4}{32}}$$

$$\tau_t = \frac{1 \text{ Nm}}{r^3}$$

Criterio de Falla según GOODMAN

Se debe al que torque es constante:

$$\tau_{tmax} = \frac{1 \text{ Nm}}{r^3}$$

$$\tau_{tmin} = \frac{1 \text{ Nm}}{r^3}$$

$$\tau_{om} = \frac{\tau_{tmax} + \tau_{tmin}}{2} \quad (3.32)$$

$$\tau_{oa} = \frac{\tau_{tmax} - \tau_{tmin}}{2} \quad (3.33)$$

$$\tau_{om} = \frac{1 Nm}{r^3}$$

Dónde:

$\tau_{om}$ : Esfuerzo por torsión medio.

$\tau_{oa}$ : Esfuerzo por torsión alternativo.

El coeficiente estático de torsión debido al cambio de sección:

$kt=3.0$  Recomendación de Shigley, por criterios de diseño.

$q=1$  Máxima sensibilidad en la muesca.

$$kf = 1 + (kt - 1)q \quad (3.34)$$

Dónde:

$kt$ : Concentración de esfuerzo por torsión.

$kf$ : Coeficiente de fatiga por torsión.

$$kf = 1 + (3 - 1)1$$

$$kf = 3$$

$$\tau_{om} = \frac{1 Nm}{r^3}$$

$\tau t^*$ : Esfuerzo de flexión por torsión

$$\tau t^* = \tau o m * K t \quad (3.35)$$

$$\tau t^* = \frac{3 N m}{r^3}$$

- **Teorema de esfuerzo de VON-MISSES**

Se utiliza para obtener el equivalente de los esfuerzos de torsión y Flexión.

Dónde:

$\sigma e q m^*$ : Esfuerzo equivalente medio

$\sigma e q a^*$ : Esfuerzo equivalente alternativo

$$\sigma e q m^* = \sqrt{\sigma o m^2 + 3 \tau t^{*2}} \quad (3.36)$$

$$\sigma e q m^* = \frac{5,2}{r^3} N m \frac{5200}{r^3} \rightarrow N m m$$

$$\sigma e q a^* = \sqrt{\sigma f^{*2} + 3 \tau o a^{*2}} \quad (3.37)$$

$$\sigma e q a^* = \frac{0,278}{r^3} N m \frac{278}{r^3} \longrightarrow N m m$$

- **Cálculo de la resistencia a la fatiga:**

$$S e = k_t * k_{s u p} * k_c * k_{c o n f} * S e' \quad (3.38)$$

Dónde:

$S e'$ : Limite a la fatiga para vida infinita.

$k_t$ : Factor de tamaño.

$k_{sup}$ : Factor de superficie.

$k_{car}$ : Factor de carga.

$k_{conf}$ : Factor de confiabilidad.

El material seleccionado es el aluminio 6061 por las características antes mencionadas, para esto seleccionamos:

$S_u$ : Resistencia ultima.

$S_y$ : Resistencia a la fluencia.

Dónde:

$S_u$ : 124 MPa (18 Ksi)

$S_y$ : 55 MPa (8 Ksi)

Por criterios de diseño se considera que para materiales forjados con  $S_u \leq 200$  Ksi, la formula a utilizar será:

$$S_e' = 0.5 * S_u \quad (3.39)$$

$$S_e' = 0.5 * 124 = 62Mpa$$

Para poder determinar la resistencia a la fatiga es necesario determinar los diferentes factores antes mencionados, estos fueron analizados de diferentes criterios para el Diseño de Máquinas.

**Factor de tamaño:**

$k_t = 0.7$  Factor de tamaño determinado por Deushman, esto se considera cuando por diseño no se cuenta con valores iniciales. pag. 61

**Factor de Superficie:**

$$k_{sup} = A(Su)^b \quad (3.40)$$

Dónde:

A y b: Son los coeficientes para la ecuación del Factor de superficie.

**Tabla 3.8 Factor de Superficie**

Acabado Superficial	Mpa		kpsi	
	A	b	A	b
Maquinado o estirado en frio	4,51	-0,265	2,7	-0,265

Fuente: Tabla de coeficientes para la ecuación de factor superficial, Norton, Diseño de elementos de máquinas.

$$k_{sup} = 2.7(18)^{-0.265}$$

$$k_{sup} = 1.26$$

**Factor de carga:**

Este factor de carga se obtuvo del libro de Norton para Diseño de Maquinas, en el cual se considera que se tomara un factor igual a 1 cuando exista

$$k_c = 1$$

**Factor de Confiabilidad:**

El factor es elegido para una confiabilidad del 90%

Tabla 3.9 Factor de Confiabilidad

Confiabilidad %	$k_{confiabilidad}$
50	1.000
90	0.897
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659

Fuente: Factores de Confiabilidad, Norton, página 381

Remplazamos los valores, antes analizados en la ecuación (3.38) se obtiene:

$$Se = 0.7 * 1.26 * 1 * 0.897 * 62$$

$$Se = 49 \text{ MPa}$$

- **Criterio de Soderberg:**

$$\frac{Sy}{FS} = \sigma_{eqm} + \frac{Sy * \sigma_{eqa}}{Se} \quad (3.41)$$

Dónde:

Sy: 55 MPa (8 Ksi)

FS: Es el factor de seguridad, el cual es 1.5, factor utilizado en máquinas dinámicas, criterio de MOTT.

$$\frac{55}{1.5} = \frac{5200}{r^3} Nmm + \frac{55 * \frac{278}{r^3} Nmm}{49}$$

El radio mínimo en el apoyo del rodillo es:

$$r = 5.3 \text{ mm}$$

$$D = 10.6 \text{ mm}$$

### 3.1.7. DISEÑO Y SELECCIÓN DEL MOTOR PARA EL DISCO GIRATORIO

Para la selección del motor se consideró las fuerzas que están actuando así tenemos:

- Pesos de los Envases
- Peso del plato giratorio.

Dentro del plato giratorio se consideró el torque máximo, para esto consideramos que dentro del disco giratorio, están 2 envases vacíos y 3 envases llenos.

**Tabla 3.10 Selección de Envases**

Tipo de Envase	Cantidad	Peso	Total
Vacío	2	99,4 gr.	198,8 gr.
Lleno	3	220 gr.	660 gr.
			858,8 gr.

Fuente: Propia del autor

#### 3.1.7.1. Análisis de cargas sobre el Disco Giratorio

Peso total = 0,859 kg.

Dónde:

Pt: Peso Total en Kgf

$\mu_s$ : Coeficiente de rozamiento estático entre Aluminio y Vidrio.

$N_{mx}$ = Normal máxima

$$P_t = 0,859 \cdot 9,8$$

$$P_t = 8,42 \text{ Kgf}$$

$$N_{mx} = P_t \cdot \mu_s \quad (3.42)$$

$$N_{mx} = 1,43 \text{ N}$$

- **Cálculo estimado para la velocidad de los envases**

Dónde:

Cap.1: Numero de envases que ingresaran por minuto

Cap.2: Distancia entre envases en (cm)

Cap. 1= 8 envases/min.

Cap.2 = 7 cm/envases

$$C_{ap1} = C_{ap. 1} \cdot C_{ap. 2} \quad (3.43)$$

Velot. = 56 cm/min.

Velot. = 0,0093 m/seg.

- **Cálculo de la potencia del motor necesaria**

$$P_{m1} = N_{mx} \cdot \text{Velot.} \quad (3.44)$$

$$P_{m1} = 1,43 \cdot 0,0093$$

$$P_{m1} = 0,014 \text{ W}$$

- **Cálculo Velocidad Angular**

Dónde:

rd : Radio del Disco Giratorio

$$\omega_1 = \frac{\text{velot.}}{rd} \quad (3.45)$$

$$\omega_1 = \frac{0,0093}{\frac{65}{1000}}$$

$$\omega_1 = 0,144 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$\text{RPM} = 2$$

- **Cálculo del Torque requerido:**

$$\text{Torque} = \frac{P_m}{\omega_1} \quad (3.46)$$

$$\text{Torque} = 0,01 \text{ Nm}$$

### 3.1.7.2. Selección del motor



**Figura 3.50 Motor Disco Giratorio**

Fuente: <http://www.pololu.com/catalog/product/1102>

Seleccionamos el siguiente motor para el diseño:

**Tabla 3.11 Especificaciones Metal Gearmotor 37Dx57L mm**

Características	Especificaciones
Alimentación	12V
Torque	6 kg-cm
RPM	30
Tamaño	37D x 57L mm
Corriente Máxima	5 A

Fuente: Catalogo de Producto, PololuRobotics&Electronics, [www.pololu.com](http://www.pololu.com).

Para el caso de la selección del motor utilizamos el motor con torque de 6 kg.mm, este valor lo transformamos a Nm. Para poder comparar con nuestro calculo.

Torque del motor= 0,588 Nm., por lo que para nuestro diseño utilizaremos este motor debido a que cumple con los requerimientos antes analizados

### 3.1.8. DISEÑO MECÁNICO DE LA TOLVA

#### 3.1.8.1. Teoría de Janssen y Pleizner (Alemania)

En 1895, Janssen estudia la fórmula para el cálculo de las presiones sobre las paredes y el fondo de un silo, fue el primer método para el cálculo de silos en ser desarrollado, H. A. Janssen estudió las presiones estáticas debido al material almacenado en silos. Su teoría está basada en el equilibrio de una sección diferencial del silo con el material en reposo. Con este análisis consiguió derivar la expresión para la presión vertical del material, la presión lateral y la fuerza de fricción en la pared del silo. Este método es uno de los más empleados para el análisis de estas fuerzas y está recomendado por la mayoría de las normativas vigentes para el cálculo de silos.

#### 3.1.8.2. Cálculo de las Presiones

Para calcular el silo primero debemos obtener las presiones que va a soportar tanto horizontal, como vertical y el espesor del silo

$w$  = Densidad del material almacenado en la celda en  $\text{kg}/\text{m}^3$

$h$  = Altura desde el borde superior de la celda al punto donde se calcula la presión, en metros.

$A$  = Área de la sección recta de la celda en,  $\text{m}^2$

$U$  = Perímetro de la misma sección, en m.

$R = A/U$  = radio hidráulico medio de la sección, en m.

$\Phi$  = ángulo de reposo del material almacenado, en grados.

$\Phi'$  = ángulo de rozamiento entre el material almacenado, en grados.

$\mu' = \text{tg } \Phi'$ .

$P_h$  = Presión horizontal en  $\text{kg}/\text{m}^2$

$P_v$  = Presión vertical en  $\text{kg}/\text{m}^2$

$$k = \frac{P_h}{P_v} = \frac{1 - \sin \Phi}{1 + \sin \Phi} \quad (3.47)$$

Siendo:

$$P_v = \frac{wR}{\mu'k} \left( 1 - e^{-\frac{\mu'kh}{R}} \right) \quad (3.48)$$

**Tabla 3.12 Densidad Aparente**

DENSIDAD APARENTE	
PRODUCTOS AGRICOLAS SOLIDOS	DENSIDAD (Kg/m3)
ALFALFA, GRANOS	750 - 800
ALGODÓN, GRANOS CON SU FIBRA	420
ALGODÓN, GRANOS NO APRETADOS	100 - 120
ARROZ CÁSCARA	500 - 630
ARROZ, GAVILLAS	80 - 120
FRIJOLES O HABICHUELAS, GRANOS	750 - 850
ARROZ DE EMBARQUE (DESCASCARADO)	700 - 750

Fuente: EQUIVALENCIA DE DIVERSAS UNIDADES MUNDIALES.

$$w = 850 \text{ kg/m}^3$$

$$\delta = \frac{m}{V}(3.47)$$

Siendo:

$\delta$  : Densidad del material  $\text{kg/m}^3$

$m$  : masa del material – Aproximadamente 2 Kg

$V$ : Volumen

$A$ : Área del silo

$h$  : Altura

$r$  : radio del silo (7 cm)

$$V1 = A * h \quad (3.49)$$

$$A = \pi * r^2 \quad (3.50)$$

$$V = \frac{m}{\delta}$$

$$V = \frac{2}{850}$$

$$V = 0,00235 \text{ m}^3$$

$$h = \frac{0,00235 \text{ m}^3}{\pi * (0,07)^2}$$

$$h = 15,27 \text{ cm} \quad \longrightarrow \quad 15\text{cm}/0,15\text{m}$$

$$R=0,035 \text{ m}$$

**Tabla 3.13 Ángulo de Talud**

ÁNGULO DE TALUD NATURAL Y COEFICIENTE DE FROTAMIENTO EN LAS PAREDES		
MATERIA ENSILADA	ANGULO DE TALUD NATURAL	COEFICIENTE DE FROTAMIENTO
<b>GUISANTES, GRANOS</b>	24° a 26°	0.394 a 0.601

Fuente: EQUIVALENCIA DE DIVERSAS UNIDADES MUNDIALES.

$$\Phi = 25^{\circ}$$

$$\Phi' = \tan^{-1} 0,4975$$

$$\Phi' = 26,45^{\circ}$$

$$\mu' = 0,4975$$

$$k = \frac{1 - \sin \Phi}{1 + \sin \Phi}$$

$$k = 0,406$$

$$Pv = \frac{wR}{\mu'k} \left( 1 - e^{-\frac{\mu'k}{R}h} \right)$$

Remplazando los valores antes obtenidos la Presión vertical.

$$Pv = 142,9 \frac{kg}{m^2}$$

Para determinar la presión horizontal tenemos:

$$Ph = K * Pv$$

$$Ph = 58.01 \frac{kg}{m^2}$$

$$P_{prm} = \sqrt{(Ph^2 + Pv^2)} \quad (3.51)$$

$$P_{prm} = 154.23 \frac{kg}{m^2}$$

Para determinar el espesor del Silo Cilíndrico liso, se obtiene a partir de lo siguiente:

$$e = \frac{T}{10 \cdot \sigma_{adm}} \quad (3.52)$$

$e$  : Espesor de la chapa del silo mm

$T$ : Tracción en Kg por metro lineal

$\sigma_{adm}$ : Esfuerzo de la tracción admisible

Dónde:

$$T = \frac{PD}{2} \quad (3.53)$$

$P$ : Presión de lateral  $\frac{kg}{m^2}$  (**1200  $\frac{kg}{cm^2}$**  )

$D$ : Diámetro del silo en metros / 0,14 m

$$T = \frac{12000000 * 0,14}{2}$$

$$T = 840000 \frac{kgf}{m} (N/m)$$

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{FS} \quad (3.54)$$

$$S_y = 310 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{310}{1,57}$$

$$\sigma_{adm} = 197,45 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_{adm} = 197452229,3 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

$$e = \frac{T}{10 * \sigma_{adm}}$$

$$e = 0,045 \text{ cm} \rightarrow 0,5 \text{ mm}$$

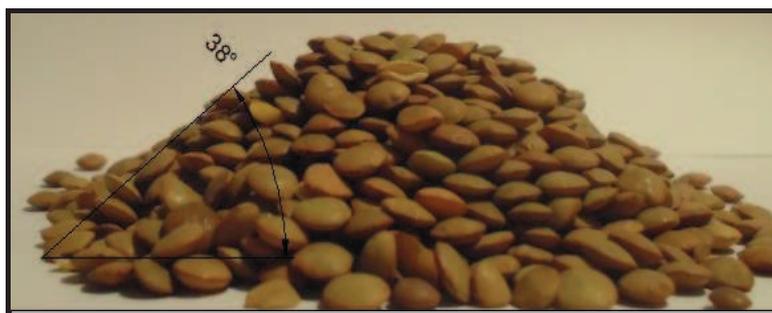
### 3.1.8.3. Diseño cad / tolva de almacenamiento

A continuación se presentará los distintos elementos que se consideran al momento del diseño de las tolvas, entre los cuales destacan:

- Capacidad de almacenaje
- Densidad aparente del grano
- Angulo de reposos del grano ( $\beta$ )
- Angulo de la tolva  $\alpha = \beta + 15^\circ$
- Tolva
- Soporte de tolva
- Estructura superior

- **Tolva**

Se tiene que tener en consideración que el ángulo de reposo se lo estima dejándolo caer a una determinada altura sobre el piso y así este representara el ángulo de reposo.



**Figura 3.51** Ángulo de reposo de la lenteja  
Fuente: Propia del autor

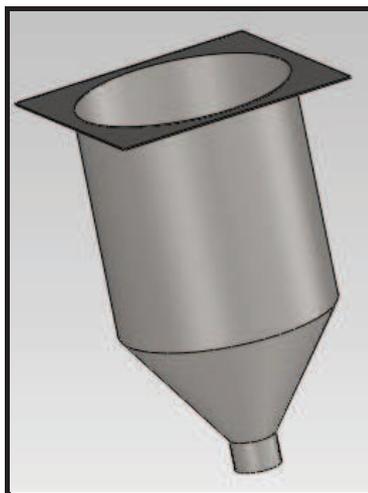
La inclinación de la caída de la tolva que permite que el grano fluya es aproximadamente  $15^\circ$  más que el ángulo de reposo.

Entonces:

- Angulo de la tolva  $\alpha = 38 + 15$

$$\alpha = 53^\circ$$

La geometría diseñada para la tolva fue seleccionada para que contenga 2Kg, la tolva siempre tendrá en su interior granos. Se comienza eligiendo el material con el que se va a trabajar, por sus propiedades físicas, facilidad de obtención y bajo costo.



**Figura 3.52 Tolva de almacenamiento**  
Fuente: Propia del autor

Se varió el diámetro de la boquilla ya que al realizar pruebas se comprobó que el grano se atora por tener un diámetro pequeño en la boquilla para la dosificación, el cual se incrementó a 3cm su diámetro.

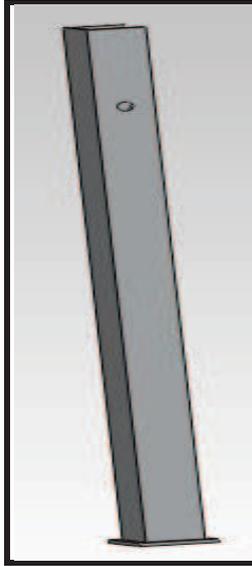
Se podrá observar en el plano de la tolva.

- **Estructura Superior**

La estructura fue diseñada de acuerdo a las dimensiones para acoplarse con la tolva y tratando que no varié la altura de dosificación, logrando así evitar problemas al momento de acoplarse con algún dispositivo o que choque con el envase que lo dirige el disco giratorio.

Se realizó un análisis con el mismo material que se utilizó para realizar la estructura de la banda aluminio 6061 para este tipo de construcción, con perfiles en U con espesor de pared de 3 mm.

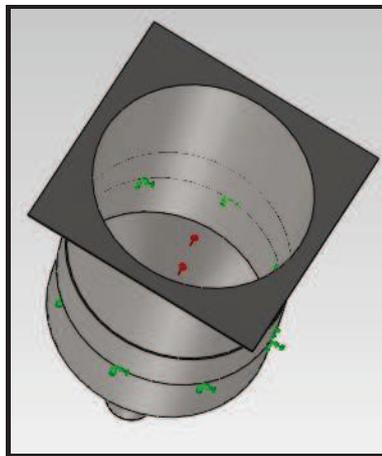
A continuación se muestra una imagen general de la estructura.



**Figura 3.53 Estructura general**  
Fuente: Propia del autor

#### 3.1.8.4. Diseño cae/ tolvas de almacenamiento

- Tolva



**Figura 3.54 Cargas y sujeciones de la tolva**  
Fuente: Propia del autor

A continuación se va aplicar las fuerzas a las que va a estar expuesta la tolva, como son:

- Fuerza ejercida por el grano en el interior.

- Fuerza ejercida en los apoyos de sujeción.

Se debe señalar que la capacidad máxima que tiene la tolva es de 2 Kg de granos. A continuación se presenta los resultados obtenidos tomando en consideración la notación dada en el análisis de los soportes:

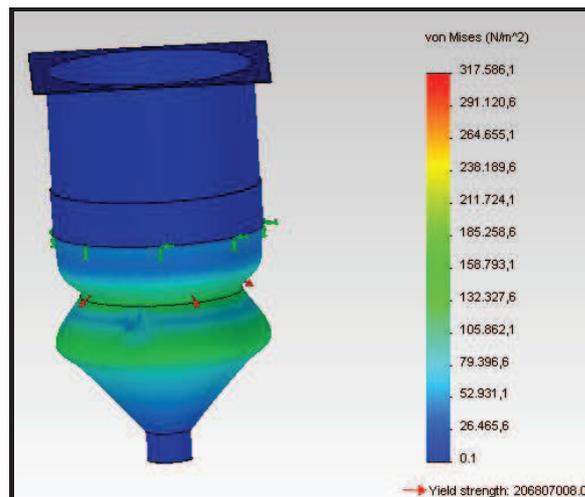
Las constantes a utilizar para los siguientes análisis son por factores de diseño:

- 0.66 : Es el esfuerzo admisible por parte del elemento
- 350: Constante general para calcular los desplazamientos máximos

Se realizará un análisis global, y posterior a esto se realizará un análisis puntual en la tolva ya que es donde va a estar mayormente afectado.

### 3.1.8.5. Análisis general de las tolvas

- Esfuerzo:
- Límite elástico = 206 MPa



**Figura 3.55 Diseño CAE Tolvas- ESFUERZOS**  
Fuente: Propia del autor

Se debe cumplir que:

$$\sigma_{\text{máx}} < [\sigma] \quad (3.55)$$

#### Ecuación 0-54 Relación entre esfuerzo permisible y esfuerzo máximo

$$\sigma_{\text{máx}} = 0.317 \text{ MPa}$$

$$\text{Conociéndose que: } [\sigma] = 0.66 * \sigma \quad (3.56)$$

#### Ecuación 0-55 Esfuerzo permisible

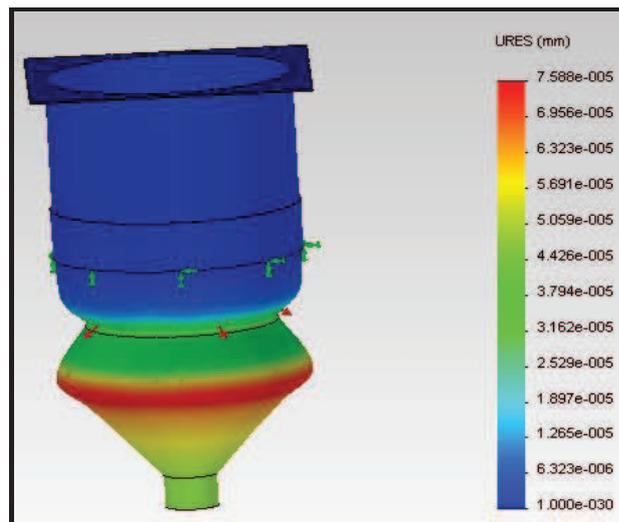
$$\text{Se obtendrá: } [\sigma] = 0.66 * 206$$

$$[\sigma] = 135.96 \text{ MPa}$$

Cumpléndose así con la condición de inicio

$$0.317 \text{ MPa} < 135.96 \text{ MPa}$$

- **Desplazamiento máximo:**



**Figura 3.56 Diseño CAE Tolvas- Desplazamientos**  
Fuente: Propia del autor

Se debe cumplir con:

$$\delta_{m\acute{a}x} < [\delta] \quad (3.57)$$

**Ecuación 0-56 Relación entre desplazamiento máximo y desplazamiento permisible**

$$\delta_{m\acute{a}x} = 0.00007588mm$$

Conociendo que:

$$[\delta] = \frac{longitud}{350} \quad (3.58)$$

***Ecuación 0-57 Desplazamiento permisible***

Donde la longitud será toda la distancia que se tenga distribuida nuestra fuerza, siendo esta de 250 mm, tendremos:

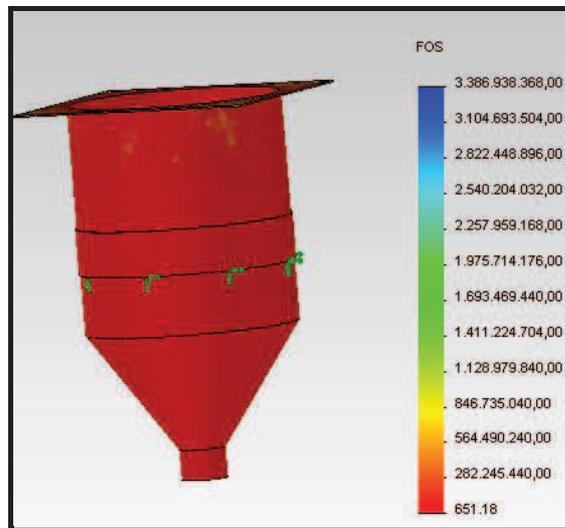
$$[\delta] = \frac{250}{350}$$

$$[\delta] = 0.714$$

Cumpléndose así con nuestra condición de inicio.

$$0.00007588 \text{ mm} < 0.714 \text{ mm}$$

- **Factor de seguridad**



**Figura 3.57 Diseño CAE Tolvas- FS**  
Fuente: Propia del autor

A continuación se realizará el análisis del factor de seguridad en nuestro diseño, el mismo que debe ser mayor de 1 para evitar posibles fallos en las tolvas.

$$FS = \frac{\sigma}{\sigma_{m\acute{a}x}} \quad (3.59)$$

***Ecuación 0-18 Factor de seguridad***

$$FS = \frac{206}{0.317}$$

$$FS = 649.8$$

Se observa que tenemos un factor de seguridad excesivamente alto, pero al realizar el análisis crítico en el elemento que mayor dificultad presenta, se observará que se tiene un factor de seguridad aceptable, posterior a realizar varias modificaciones.

### 3.1.8.6. Soporte de tolvas

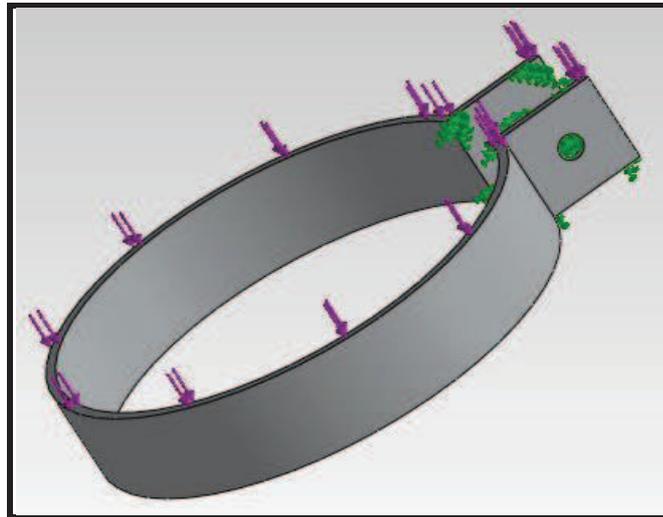
Para el análisis del soporte de la tolva se va a tomar en cuenta:

Dónde:

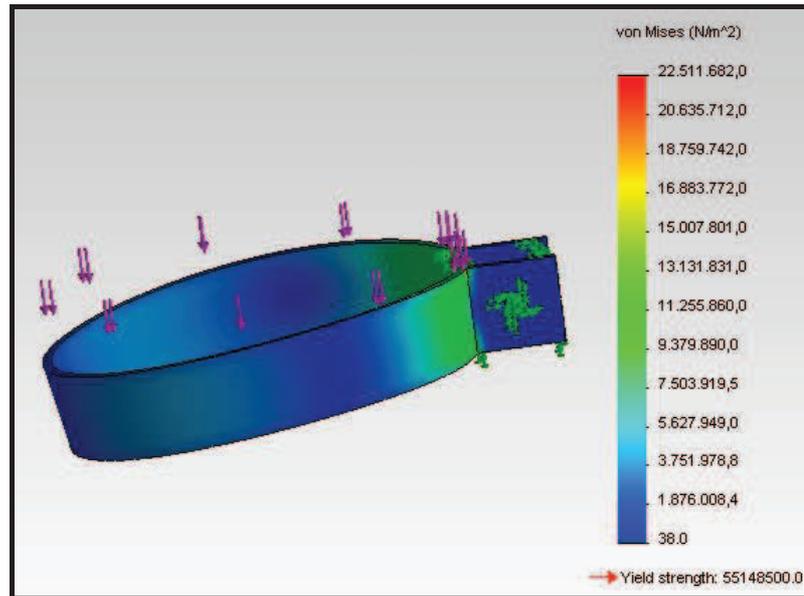
$$W_{grano} = 19.6 \text{ N}$$

$$W_{tolva} = 8.82 \text{ N}$$

$$W_{total} = 28.42 \text{ N}$$



**Figura 3.58 Disposición de Fuerzas y sujeción en el soporte de la tolva**  
Fuente: Propia del autor



**Figura 3.59 Diseño CAE Soporte de tolvas- Esfuerzos**  
Fuente: Propia del autor

- Límite elástico aluminio 6061 = 55.14MPa

Se debe cumplir que:

$$\sigma_{\text{máx}} < [\sigma] \quad (3.60)$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 22.51 \text{ MPa}$$

Conociéndose que:

$$[\sigma] = 0,66 * \sigma \quad (3.61)$$

Se obtendrá:

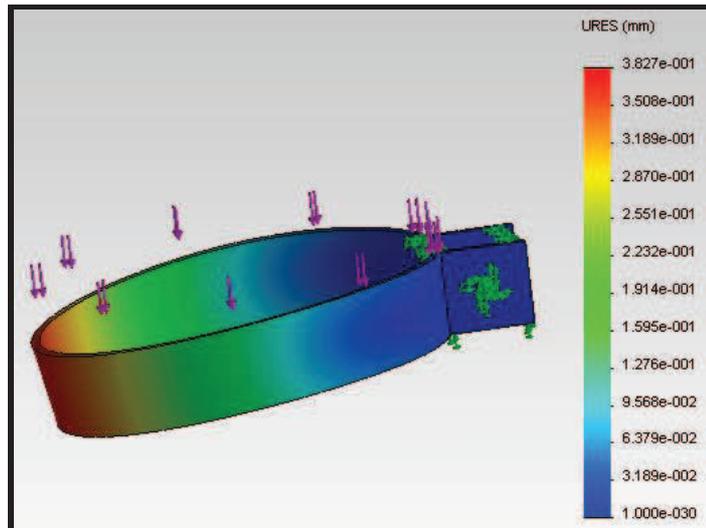
$$[\sigma] = 0.66 * 55.14$$

$$[\sigma] = 36.39 \text{ MPa}$$

Cumpléndose así con la condición de inicio

$$22.51 \text{ MPa} < 36.39 \text{ MPa}$$

- **Desplazamiento máximo**



**Figura 3.60 Diseño CAE Soporte de tolvas- Desplazamiento máximo**  
Fuente: Propia del autor

Se debe cumplir con:

$$\delta_{\text{máx}} < [\delta]$$

$$\delta_{\text{máx}} = 0.0383 \text{ mm}$$

Conociendo que:

$$[\delta] = \frac{\text{longitud}}{350}$$

Se utilizara la Ecuación 0.57 para Desplazamiento permisible, donde la longitud será toda la distancia que se tenga distribuida nuestra fuerza, siendo esta de 30 mm, tendremos:

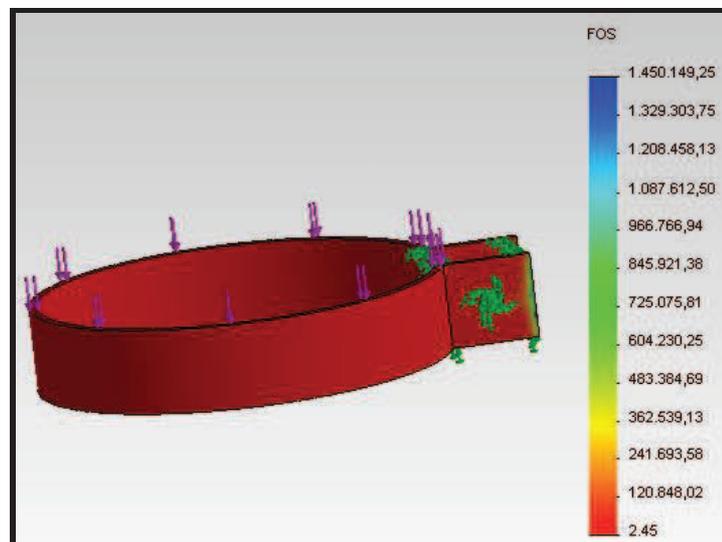
$$[\delta] = \frac{30}{350}$$

$$[\delta] = 0.114$$

Cumpléndose así con la condición de inicio.

$$0.0383 \text{ mm} < 0.114 \text{ mm}$$

- **Factor de seguridad**



**Figura 3.61 Diseño CAE Soporte tolvas- FS**  
Fuente: Propia del autor

A continuación se realizará el análisis del factor de seguridad en nuestro diseño, el mismo que debe ser mayor de 1 para evitar posibles fallos en las tolvas.

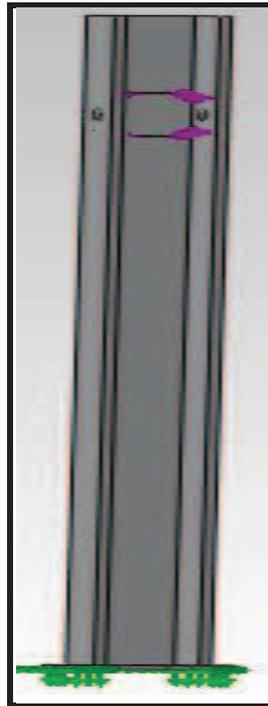
Se utilizara la Ecuación 0.28 para determinar el Factor de seguridad

$$FS = \frac{\sigma}{\sigma_{m\acute{a}x}}$$

$$FS = \frac{55.14}{22.51}$$

$$FS = 2.45$$

### 3.1.8.7. Estructura Superior



**Figura 3.62 Fuerzas y sujeciones en la estructura superior**

Fuente: Propia del autor

- **Esfuerzo**

La fuerza que fue aplicada en las áreas indicadas, son las ejercidas debido al peso de la tolva, los granos y al soporte de las tolvas.

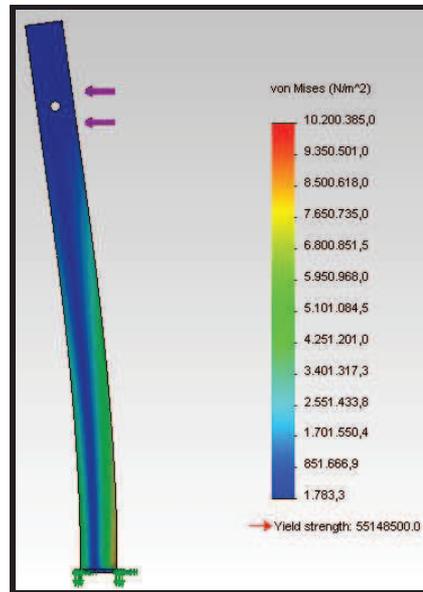
Dónde:

$$W_{grano} = 19.6 \text{ N}$$

$$W_{tolva} = 8.82 \text{ N}$$

$$W_{\text{soporte tolva}} = 1.47 \text{ N}$$

$$W_{\text{total}} = 29.89 \text{ N}$$



**Figura 3.63 Diseño CAE Estructura general- Esfuerzos**  
Fuente: Propia del autor

- Límite elástico aluminio 6061 = 55.14MPa

Se debe cumplir que:

$$\sigma_{\text{máx}} < [\sigma]$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 10.2 \text{ MPa}$$

Conociéndose que:

$$[\sigma] = 0,66 * \sigma$$

Se obtendrá:

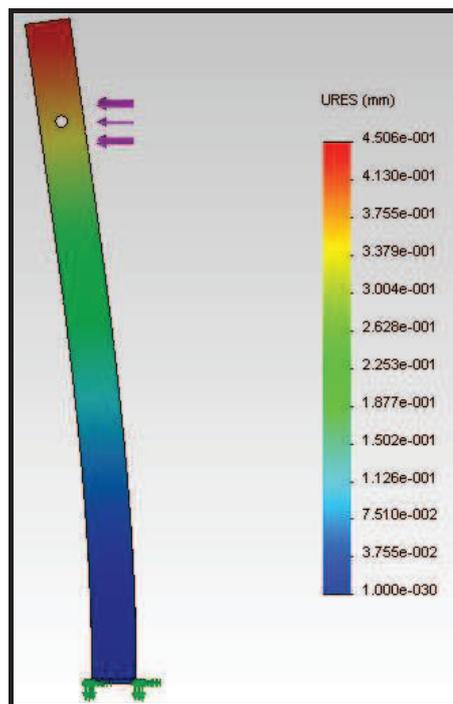
$$[\sigma] = 0.66 * 55.14$$

$$[\sigma] = 36.39 \text{ MPa}$$

Cumpléndose así con la condición de inicio

$$10.2 \text{ MPa} < 36.39 \text{ MPa}$$

- **Desplazamiento máximo**



**Figura 3.64** Diseño CAE Estructura general- Desplazamiento máximo  
Fuente: Propia del autor

Se debe cumplir con:

$$\delta_{\text{máx}} < [\delta]$$

$$\delta_{\text{máx}} = 0.4506 \text{ mm}$$

Conociendo que:

$$[\delta] = \frac{\text{longitud}}{800}$$

Donde la longitud será toda la distancia que se tenga distribuida nuestra fuerza, siendo esta de 453 mm, tendremos:

$$[\delta] = \frac{453}{800}$$

$$[\delta] = 0.566$$

Cumpléndose así con nuestra condición de inicio.

$$0,4506 \text{ mm} < 0.566 \text{ mm}$$

- **Factor de seguridad**

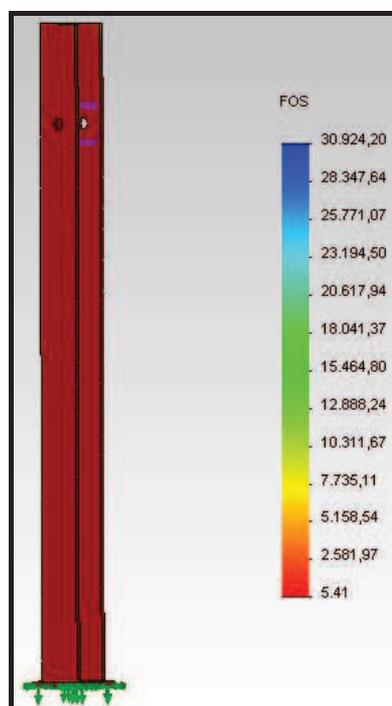


Figura 3.65 Diseño CAE Estructura general- FS  
Fuente: Propia del autor

A continuación se realizará el análisis del factor de seguridad en nuestro diseño, el mismo que debe ser mayor de 1 para evitar posibles fallos en las tolvas.

$$FS = \frac{\sigma}{\sigma_{m\acute{a}x}}$$

$$FS = \frac{55.14}{10.2}$$

$$FS = 5.4$$

Obteniendo así un factor de seguridad alto, pero si cambiamos las dimensiones de nuestra estructura en cambio se obtendría desplazamientos bastante altos en la estructura.

## **3.2. NEUMÁTICA**

### **3.2.1. CÁLCULO DE PISTONES**

Las principales variables a considerar en la selección de los cilindros neumáticos son la fuerza del cilindro, la carga, el consumo de aire y la velocidad del pistón.

- **Fuerza del cilindro**

La fuerza del cilindro es una función del diámetro del cilindro, de la presión del aire y del roce del émbolo, que depende de la velocidad del émbolo y que se toma en el momento de arranque. La fuerza que el aire ejerce sobre el pistón es:

$$F = P_{aire} * AreadelPiston \quad (3.62)$$

Presión de operación del compresor = 4 Bar

Dependiendo de la presión de operación del cilindro se acogió, el siguiente cilindro con las siguientes características las cuales fueron sacadas del ANEXO 7 de Cilindros AIRTAC.

**Tabla 3.14 Cilindro Simple Efecto AIRTAC**

Tamaño del diámetro (mm)	Vástago de diámetro (mm)	Tipo de acción	Presión de la zona en (mm2)	Presión de la Operación (MPA) – 0,4
16	6	Tipo desimple efecto- Empujar	201	54,8 N

Fuente: Manual AIRTAC para cilindros mini de Acero Inoxidable- SERIE MI  
Placa de sujeción al Pistón:

Densidad de aluminio

$$\delta = 2700 \frac{kg}{m^3}$$

Material a considerar:

ap: Ancho de la placa(0,09 m)

ae: Altura del envase(0,05 m)

Área de la placa:

$$A_{\text{delaplaca}} = a_p * a_e \quad (3.63)$$

$$A_{\text{delaplaca}} = 0,0045 \text{ m}^2$$

ep: Espesor de la placa (3mm)

$$Volumen = A_{\text{delaplaca}} * ep \quad (3.64)$$

$$Volumen = 0,0075 \text{ m}^3$$

$$\delta = \frac{M}{Volumen} \quad (3.65)$$

$$M = 0,037 \text{ Kg}$$

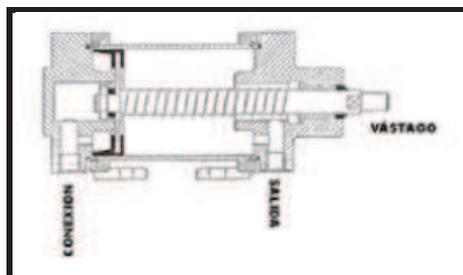
Peso del producto = 220 gr. / 0,22 kg

Masa total = peso del producto + M

Masa Total=0,26 Kg

Fuerza necesaria = 2,51 N

- **Cálculo de la Fuerza del Cilindro de simple Efecto:**



**Figura 3.66 Cilindro Simple Efecto**

Fuente: <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica7.htm>

$$F = P_{aire} * Area\ del\ Piston$$

Dónde:

$$Area\ del\ Piston = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (3.66)$$

D = Diámetro del Cilindro (mm)

$$Area\ del\ Piston = \frac{\pi * 16^2}{4}$$

$$Area\ del\ Piston = 201,06\ mm^2$$

$$1\ Bar = 0.1\ MPa$$

$$F = 0,4 * 201,06$$

$$F = 80,42\ N$$

- **Consumo de Aire en Pistón de Simple efecto**

El consumo de aire es un cilindro neumático se mide en litros por metro en condiciones normales y depende de su diámetro, de su carrera y del número de ciclos de ida y vuelta que efectúa en la unidad de tiempo.

Volumen del cilindro en el sentido de la salida del vástago para la carrera C:

$$V = \frac{\pi * D^2}{4} * C \quad (3.67)$$

Dónde:

D = Diámetro interior (16mm)

C = Carrera (75mm)

$$V = \frac{\pi * 16^2}{4} * 75$$

$$V = 15079,68 \text{ mm}^3$$

Volumen del Cilindro en el sentido de entrada del vástago

$$V1 = \frac{\pi * (D^2 - d^2)}{4} * C \quad (3.68)$$

Dónde:

d = Diámetro vástago (6mm)

$$V1 = \frac{\pi * (16^2 - 6^2)}{4} * 75$$

$$V1 = 12959,1 \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen Total} = V + V1 \quad (3.69)$$

La suma de V+V1 representa el volumen del cilindro en una carrera de ida y regreso, por lo tanto el volumen de aire consumido por el cilindro en cada ciclo viene dado por:

$$\text{Consumo} = (V + V1)(P + 1) \quad (3.70)$$

Valor, que viene multiplicado por el número de ciclos que efectúa el cilindro en la unidad de tiempo nos proporciona el consumo.

$$Volumen Total = 15079,68 \text{ mm}^3 + 12959,1 \text{ mm}^3$$

$$Volumen Total = 28,04 \text{ cm}^3$$

Ciclos de ida y regreso por 2 por min.

$$Volumen Total * 2 = 0,02804 \text{ l} * 2 \frac{\text{ciclos}}{\text{min.}} = 0,05607 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

$$\text{Presión} = 4 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Consumo} = (\text{Presión} + 1) * \text{Volumen Total}$$

$$\text{Consumo} = 0,28 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

En nuestro caso para el control de calidad, se consideró dos cilindros de simple efecto los cuales van a tener la misma carrera e igual características.

Por lo tanto el consumo total de los pistones será:

$$\text{Consumo total} = 2 * \text{Consumo}$$

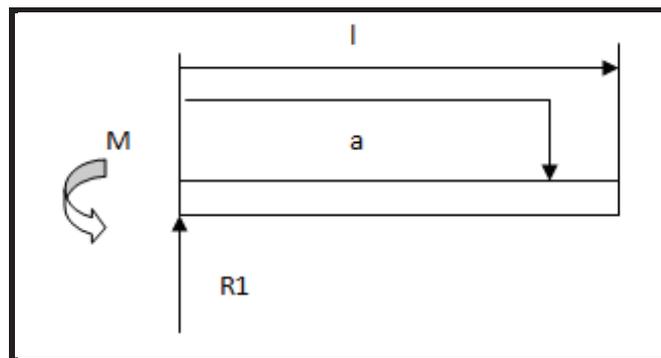
$$\text{Consumo total} = 0,56 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

- **Cálculo de la Fuerza del Cilindro de doble Efecto:**

El cilindro es utilizado para la apertura y cierre de la compuerta en el proceso de dosificación, el cilindro tiene una carrera de 100 mm en la parte del vástago se colocará una placa, como se muestra en la Figura 3.67, esta placa nos permite que el producto a dosificar se mantenga dentro de la tolva.

Se debe analizar las cargas que soportara la placa.

Para nuestro diseño, se consideró que el vástago actúa como una viga en voladizo con carga concentrada. Para nuestro diseño se analiza la deflexión dependiendo la carga que debe soportar.



**Figura 3.67 Deflexión en desplazamiento del vástago**

Fuente: Propia del autor

$$y_{max} = -\frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad (3.71)$$

Dónde:

$y_{max}$ : Deflexión máxima.

l: Es la longitud total del vástago más placa.

a: La distancia donde se encuentra localizada la fuerza.

R1: Reacciones normales sobre el eje.

F= Es la fuerza total que actúa sobre el vástago.

E: Modulo de elasticidad del material.

I: Inercia del elemento.

Wv: Peso sobre la placa fijada al vástago (2,5 Kg)

$$F = Wv * 9,8$$

$$F = 24,5 \text{ N}$$

$$l_0 = 125 \text{ mm}$$

$$I = \frac{\pi * D^4}{64}$$

Dónde:

D: Diámetro recomendado del vástago (6 mm)

E= 210000 MPa

$$y_{max} = \frac{24,5 * 125^3 * 64}{3 * 210000 * \pi * 6^4}$$

$$y_{max} = -1 \text{ mm}$$

- Fuerza teórica del pistón:

**Tabla 3.15 Cilindro de Doble Efecto**

Tamaño del diámetro (mm)	Vástago de diámetro (mm)	Tipo de acción	Presión de la zona en (mm <sup>2</sup> )	Presión de la Operación (MPa) – 0,4
32	12	Tipo de doble efecto- Empujar	804,3	327,1 N

Fuente: Manual AIRTAC para cilindros mini de Acero Inoxidable- SERIE MI

### Fuerza de salida:

Se trabajara a una presión de 4 Bar, debido a que esta nos proporcionar el compresor.

P: Presión de trabajo (4Bar)- 0,4 MPa

D: Diámetro del cilindro

$$F_s = P * \frac{\pi * D^2}{4} \quad (3.72)$$

$$F_s = 0,4 * \frac{\pi * 32^2}{4}$$

$$F_s = 321,7 \text{ N}$$

### Fuerza de entrada:

d : Diámetro del vástago (12mm)

$$F_e = P * \frac{\pi * (D^2 - d^2)}{4} \quad (3.73)$$

$$F_e = 0,4 * \frac{\pi * (32^2 - 12^2)}{4}$$

$$F_e = 276.5 \text{ N}$$

Fuerza nominal a 4 bar de acuerdo a catalogo = 327.1 N

Como la fuerza nominal del pistón es mayor a la fuerza que oponen los elementos a ser trasladados podemos tomar este pistón para ser utilizado.

Consumo:

Para determinar el volumen de salida así como la de entrada se utilizaran las ecuaciones (3.65 y 3.66), respectivamente.

Volumen de salida:

C: Carrera del cilindro (100 mm)

$$V_s = \frac{\pi * D^2}{4} * C$$

$$V_s = \frac{\pi * 32^2}{4} * 100$$

$$V_s = 80425 \text{ mm}^3$$

Volumen de entrada:

$$V_e = \frac{\pi * (D^2 - d^2)}{4} * C$$

$$V_e = \frac{\pi * (32^2 - 12^2)}{4} * 100$$

$$V_e = 69115 \text{ mm}^3$$

Volumen total en un ciclo:

$$V_s + V_e = 149,54 \text{ cm}^3$$

Ciclos de ida y vuelta por minuto:

$$n = 3 \text{ ciclos/min}$$

$$V_c = n * 0,149 \text{ l} = 0,44862 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

Para determinar el consumo en el cilindro de doble efecto se utilizará la ecuación (3.69).

$$Q = (P + 1) * V_c$$

$$Q_r = (4 + 1) * 0,45 = 2,24 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

- **Consumo total de los pistones**

$$\text{Consumo en los Pistones} = \text{Consumo total} + Q_r \quad (3.74)$$

$$\text{Consumo en los pistones} = 0,56 \frac{\text{l}}{\text{min}} + 2,24 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

$$\text{Consumo en los pistones} = 2,8 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

- **Cálculo del caudal de las mangueras:**

Longitud total de la manguera aproximadamente: 50 cm.

Diámetro de la mangueras: 1/8 plg.=3,175 mm

$$Volumen = 50 * \frac{\pi * 3,175^2}{4}$$

$$Volumen = 395,86 \text{ mm}^3$$

$$Volumen = 0,395 \text{ cm}^3$$

$$Volumen = 0,00395 \text{ l}$$

- **Consumo de Aire en la manguera:**

2 ciclos/min.

$$\text{Volumen Total} * 2 = 0,00395 \text{ l} * 2 = 0,0079 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

Consumo= (Presión+1)\*Volumen Total

$$\text{Consumo} = 0,0395 \frac{\text{Nl}}{\text{min}}$$

En nuestro caso los dos pistones de simple efecto están a las mismas distancias por lo que las longitudes de las mangueras serán iguales.

Así que el consumo total en las mangueras será:

$$\text{Consumo m1} = 0,0395 * 2 \frac{\text{Nl}}{\text{min}} \text{ (Pistones de Simple efecto)}$$

$$\text{Consumo total1} = 0,079 \frac{\text{Nl}}{\text{min}}$$

$$\text{Consumo m2} = 0,0395 \frac{\text{Nl}}{\text{min}} \text{ (Pistón de doble efecto)}$$

Ctm: Consumo total en las mangueras de los diferentes pistones

$$Ctm = 0,079 \frac{Nl}{min} + 0,0395 \frac{Nl}{min}$$

$$Ctm = 0,1185 \frac{l}{min}$$

- Consumo total en pistones y mangueras

Consumo2 = Consumo en los pistones + Ctm

$$Consumo2 = 3,14 \frac{l}{min} + 0,1185 \frac{l}{min}$$

$$Consumo2 = 3,2585 \frac{l}{min}$$

### **3.3. ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO**

#### **3.3.1. DISEÑO DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS**

El control de los motores se lo realizará de dos maneras manual y automática, para esto se diseñó circuitos los cuales permitirán realizar el control sobre los motores.

Antes de analizar los circuitos es necesario mencionar el lenguaje de programación, se utilizó una plataforma de electrónica abierta llamada ARDUINO.

Arduino se utiliza para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar.

La plataforma Arduino puede tomar la información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores.

El microcontrolador que se utilizó fue el ATmega328P microcontrolador Bootloader Arduino en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino(basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing).Microcontrolador Atmega328 precargado con bootloader del Arduino UNO basado en OptiBoot que funciona a 115kbps.



**Figura 3.68 Microcontrolador ATmega328P**

**Fuente:** <http://todoelectronica.com/microcontrolador-arduino-bootloader-atmega328-p-13186.html>

En Anexos se describirá el programa realizado en ARDUINO utilizado para el control del motor, todos los comandos y librerías utilizadas pueden ser detallados en la página de ARDUINO. La cual fue utilizada para describir y asignar cada una de las variables utilizadas en el programa.

Para verificar el programa que se realizó en ARDUINO, se utilizó el programa PROTEUS que es muy utilizado en el diseño de circuitos electrónicos.

```

luis2
#include <LiquidCrystal.h>

#define up A0
#define down A1
#define on A2
#define giro A3
#define HA 2
#define HB 3
#define poma 5
#define pomb 6

LiquidCrystal lcd(13, 12, 11, 10, 9, 8);

int xpm=0;

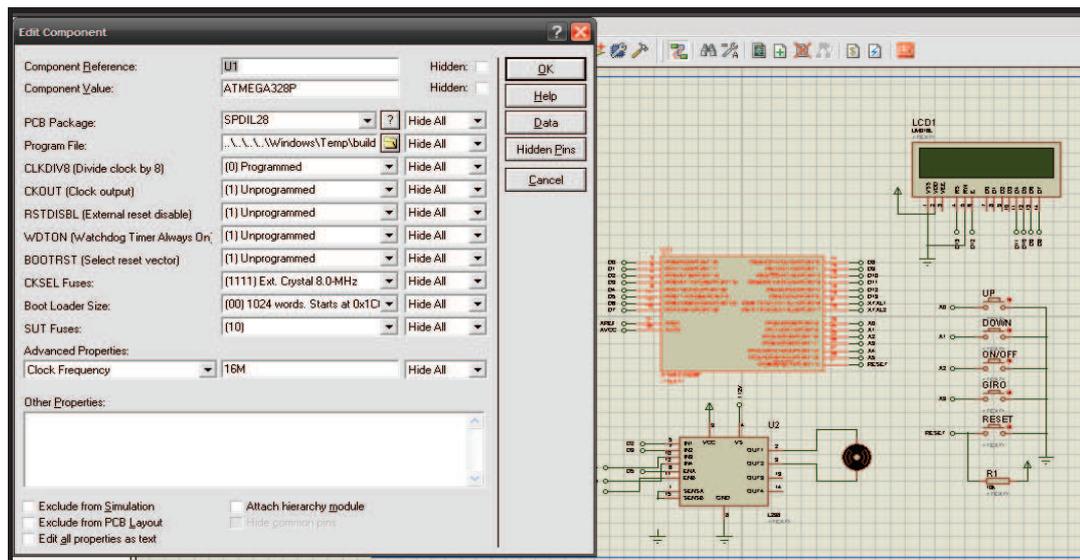
Compilación terminada
C:\Windows\Temp\build3909797091063244870.tmp\Math.cpp.o
C:\Documents and Settings\Administrador\Escritorio\arduino-1.0.5\hardware\tools\avr\bin\avr-gcc -Os -Wl,--gc-sections -mmcu=atmega328p -o
C:\Windows\Temp\build3909797091063244870.tmp\WString.cpp.o
C:\Documents and Settings\Administrador\Escritorio\arduino-1.0.5\hardware\tools\avr\bin\avr-gcc -Os -Wl,--gc-sections -mmcu=atmega328p -o
C:\Windows\Temp\build3909797091063244870.tmp\luis2.cpp.elf C:\Windows\Temp\build3909797091063244870.tmp\luis2.cpp.o
C:\Windows\Temp\build3909797091063244870.tmp\LiquidCrystal\LiquidCrystal.cpp.o C:\Windows\Temp\build3909797091063244870.tmp\core.a -LC:\Windows\Temp\build3909797091063244870.tmp -lm
C:\Documents and Settings\Administrador\Escritorio\arduino-1.0.5\hardware\tools\avr\bin\avr-objcopy -O ihex -j .eeprom --set-section-flags=.eeprom=alloc,load --no-change-warnings
--change-section-lma .eeprom=0 C:\Windows\Temp\build3909797091063244870.tmp\luis2.cpp.elf C:\Windows\Temp\build3909797091063244870.tmp\luis2.cpp.eep
C:\Windows\Temp\build3909797091063244870.tmp\luis2.cpp.hex
Tamaño binario del Sketch: 4.022 bytes (de un máximo de 32.256 bytes)

```

**Figura 3.69 Programación en Arduino**

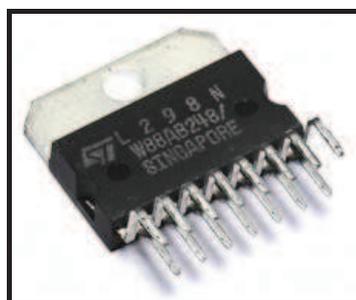
**Fuente:** Propia del autor

Es necesario señalar que para poder cargar el programa en la simulación realizada en PROTEUS, ARDUINO genera un ejecutable .hex el cual se visualiza en el programa, en la parte inferior de color negro se debe copiar la dirección y cargarla en la simulación del microcontrolador ATmega328P como se indica en la figura, el código del programa se encuentra en el (Anexo 5).



**Figura 3.70 Dirección .hex en Atmega328p**  
Fuente: Propia del autor

Para realizar el control del motor se utilizó un driver de potencia que permite controlar motores DC este es el chip L298N. Este dispositivo permite controlar el sentido de giro y velocidad mediante señales TTL.



**Figura 3.71 Driver de Control L298N**  
Fuente: [http://yourduino.com/sunshop2/index.php?l=product\\_detail&p=336](http://yourduino.com/sunshop2/index.php?l=product_detail&p=336)

Las principales características por las cuales se utilizó este driver son:

- Alimentación motores: 5-46V DC
- Corriente máxima: 2 Amperios por salida (4A en total o puenteado)
- Alimentación lógica independiente: 5-7V
- Corriente para lógica: ~36 mA
- Niveles TTL: Bajo -0.3V~1.5V, alto: 2.3V~Vss

Las siguientes figuras que se describirán muestran la simulación del motor y control respectivo que se realiza con el microcontrolador y el driver de potencia. Los datos se verán visualizados en el LCD el cual muestra los cambios de estado que presenta el motor. Estos cambios se darán por medio de pulsos y cada uno de ellos ejecuta una acción sobre el motor.

Los parámetros que se consideró para realizar el control del motor fueron los siguientes:

1. Incrementó de las RPM del motor.
2. Decremento de las PRM del motor.
3. Control ON/OFF del motor
4. Cambio de giro del motor.
5. Resetear todo el proceso.

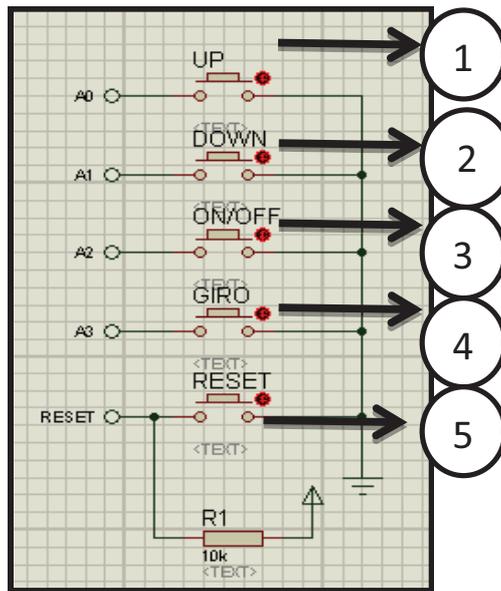


Figura 3.72 Pulsadores para el Control del motor  
Fuente: Propia del autor

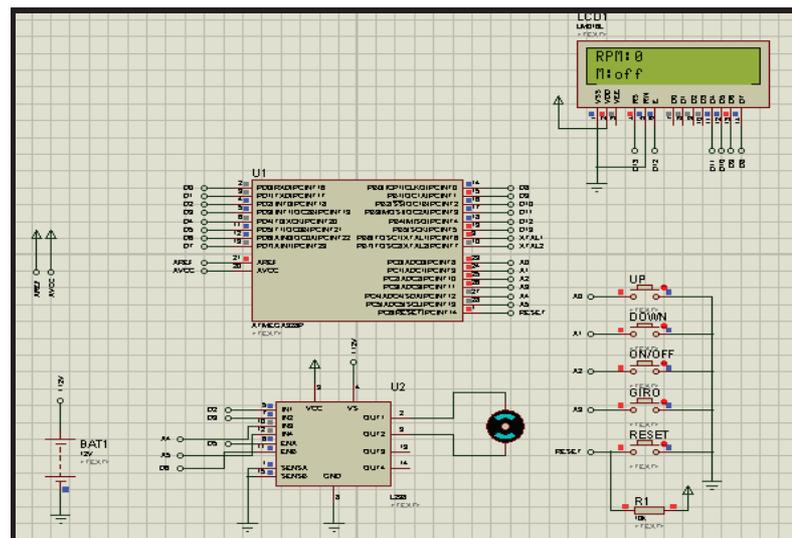


Figura 3.73 Simulación del Control del Motor  
Fuente: Propia del autor

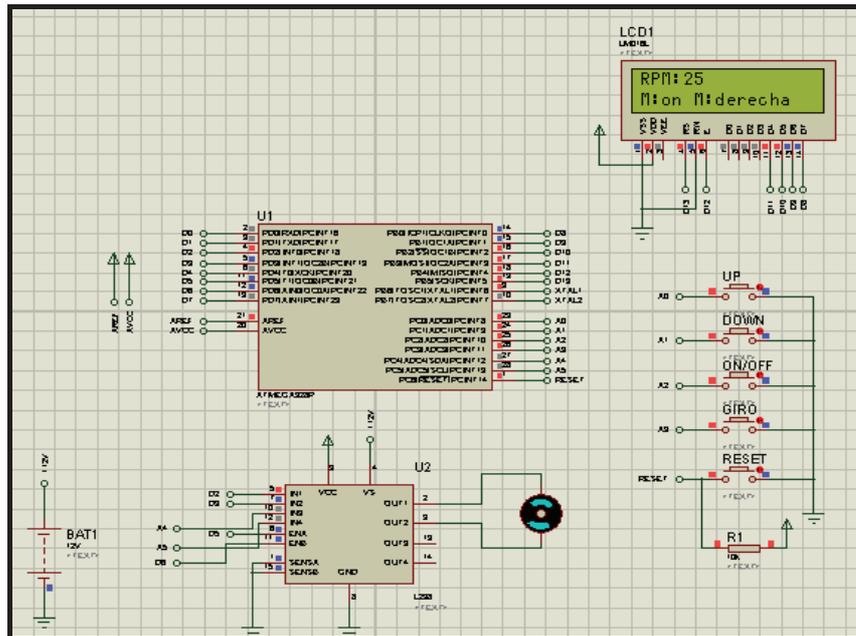


Figura 3.74 Incremento de RPM  
Fuente: Propia del autor

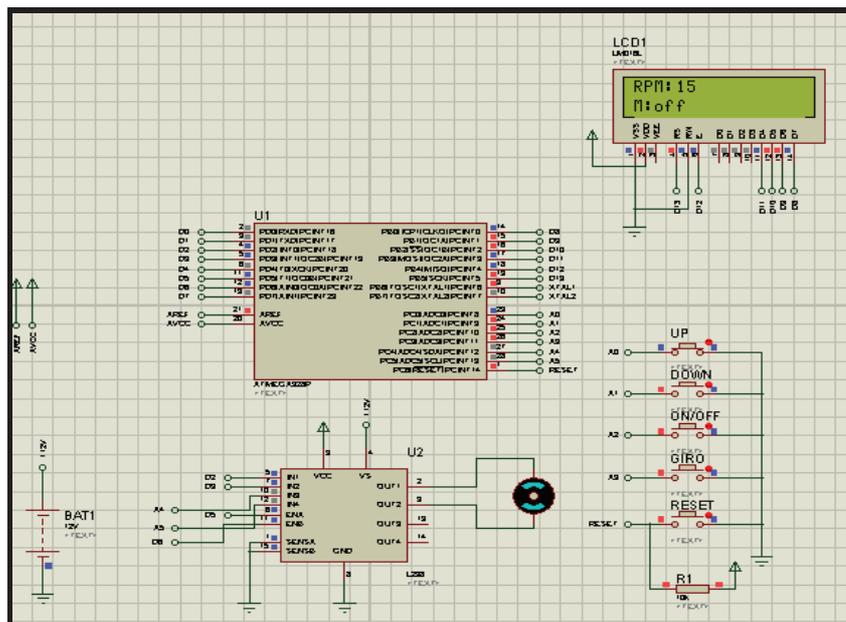
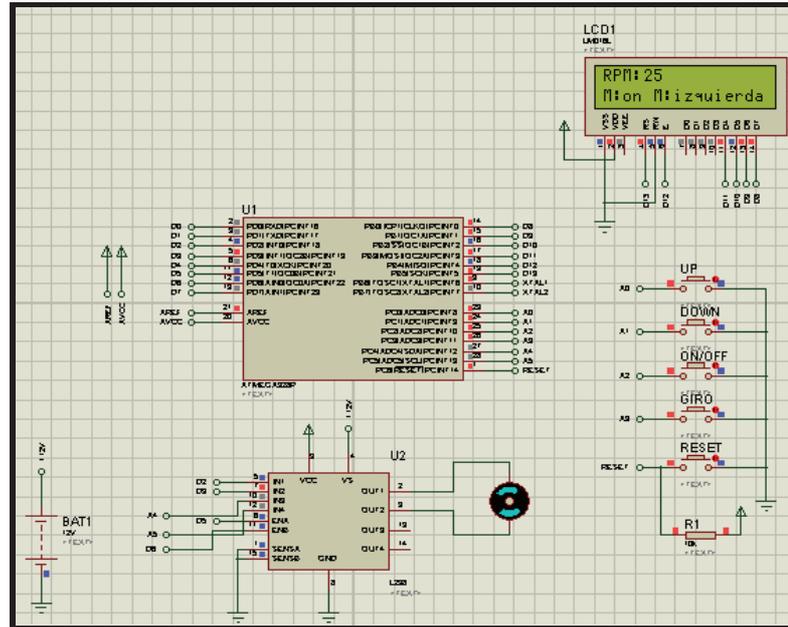
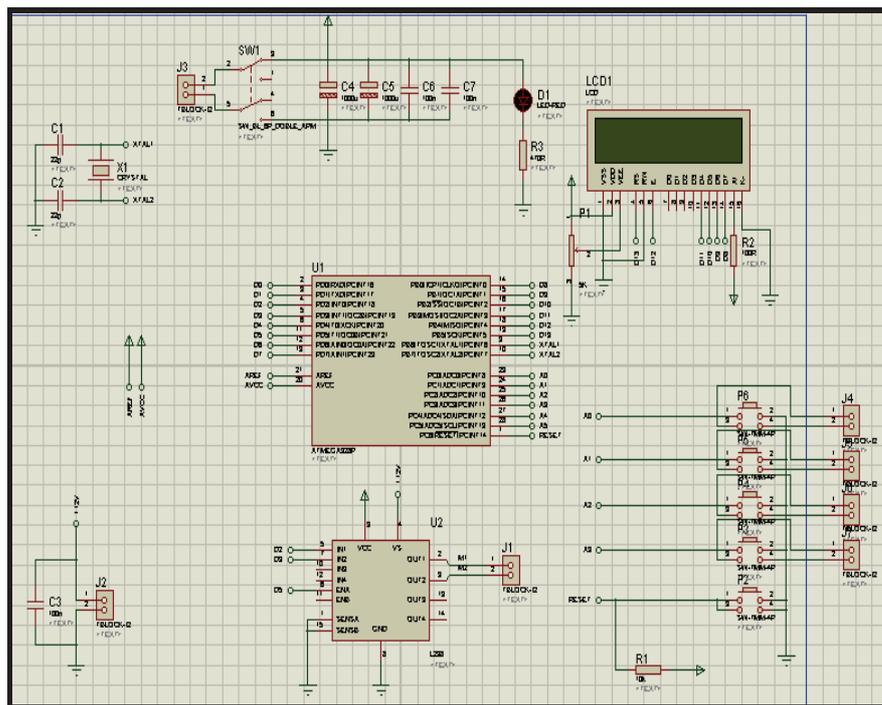


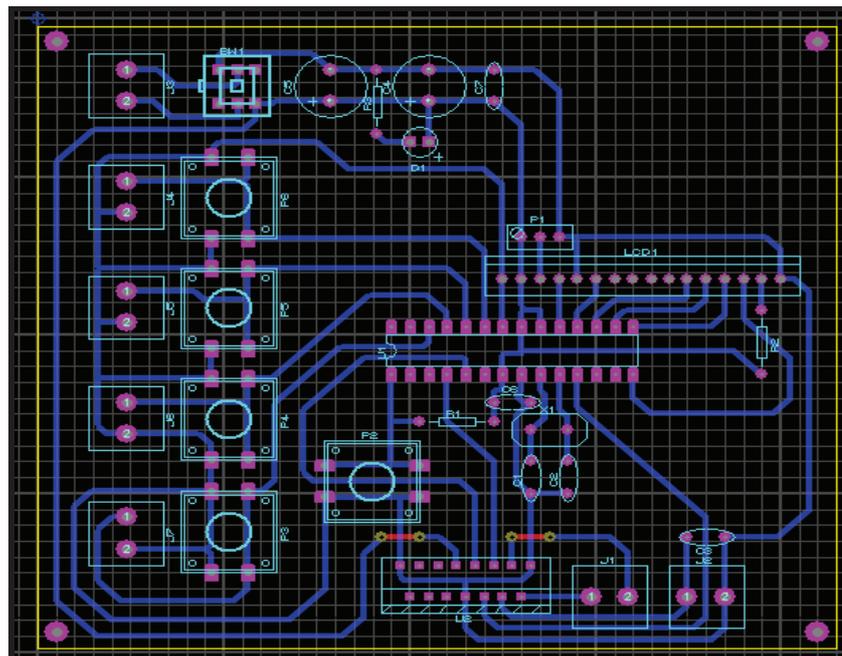
Figura 3.75 Disminución de las RPM  
Fuente: Propia del autor



**Figura 3.76 Cambio de Giro**  
Fuente: Propia del autor



**Figura 3.77 Diseño de la Placa electrónica**  
Fuente: Propia del autor



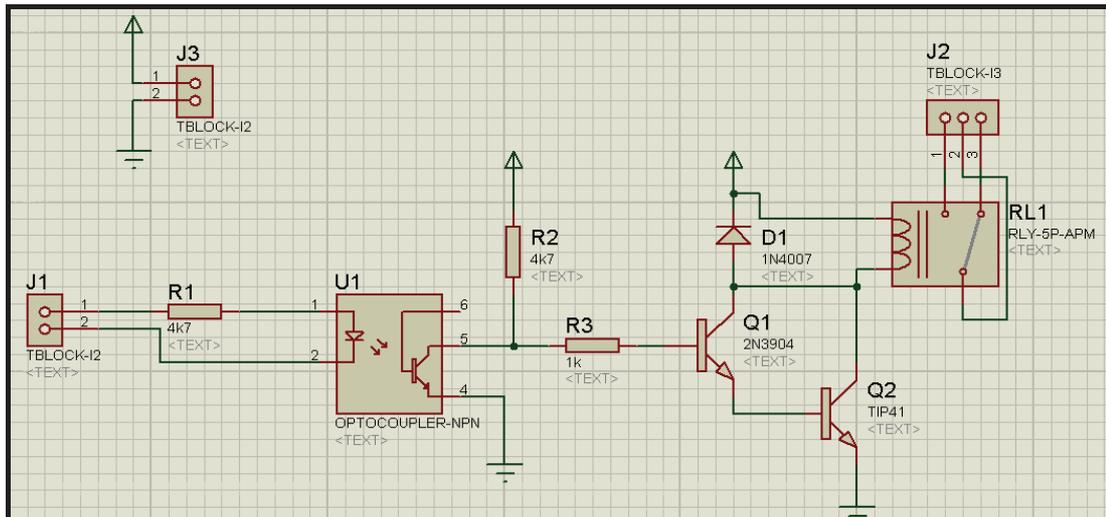
**Figura 3.78 Diseño del Circuito PCB**

Fuente: Propia del autor

Se diseñó una placa electrónica que permite realizar el control del motor pero esta vez utilizando el PLC 1200, se realizó un control ON/OFF el cual permitirá controlar los motores de manera automática desde el PLC.

La placa electrónica se conectará a bornes que están ubicadas en los pulsadores de la primera placa, esto nos permitirá comunicar ambas placas y estas señales utilizarlas para conectarlas al PLC y realizar el control de los motores.

Como se muestra en la figura 3.79 la señal que se envía al PLC sale a través del terminal block J1 esta debe conectarse a las salidas del PLC para realizar el control ON/OFF del motor.



**Figura 3.79** Diseño de la Placa Electrónica de potencia  
Fuente: Propia del autor

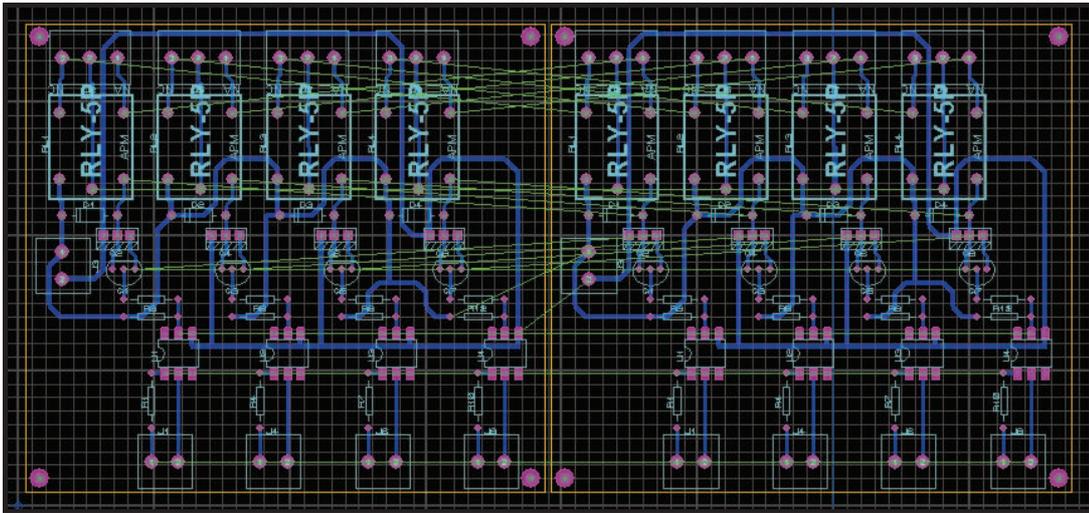
Se utilizó un circuito Darlington, cuando el pulsador permanece sin accionar la tensión en la base del Darlington es cero y por lo tanto está en corte, no circulan corrientes y el motor permanece parado.

Si se acciona el pulsador, la tensión en la base aumenta y se pasa a saturación, en este momento, el Darlington permite el paso de corriente y el motor se pone en marcha.

Como la ganancia de corriente es de 1000 aproximadamente, si se hace circular una corriente de 1 mA por la base por el colector circulará una corriente de 1000 mA es decir de un Amperio. La resistencia R3 limita la corriente que entra por la base.

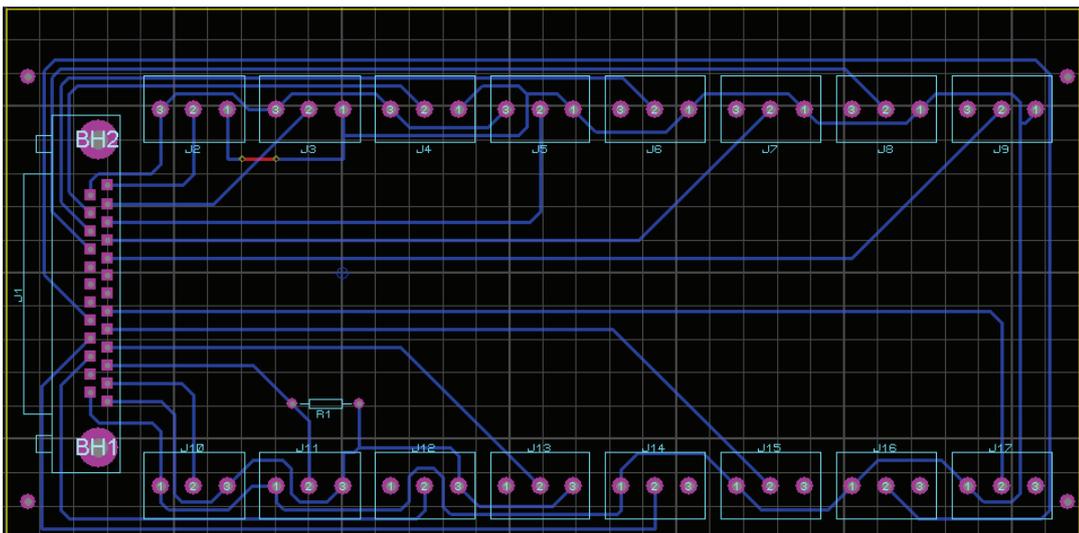
Por otra parte la caída de tensión entre la base y el emisor del Darlington se corresponde con la caída de tensión en dos diodos de silicio en polarización directa, es decir 1,4 V. El diodo en paralelo con el motor protege al Darlington

del pico de corriente que produce el bobinado del motor en el mismo momento que el Darlington pasa de saturación a corte debido a la fuerza contra electromotriz.



**Figura 3.80** Diseño del Circuito PCB  
Fuente: Propia del autor

Se realizó una tarjeta en la que van a estar ubicados los sensores que son nuestras entradas y los actuadores que son nuestras salidas



**Figura 3.81** Diseño de la tarjeta principal  
Fuente: Propia del tutor

### 3.3.2. SENSOR FOTOELÉCTRICO SENSICK W100

Es un dispositivo que opera al cambio en la intensidad de la luz. Estos sensores requieren de un componente emisor que genera la luz, y un componente receptor que percibe la luz generada por el emisor. Todos los diferentes modos de sensor se basan en este principio de funcionamiento. Estos sensores tienen múltiples aplicaciones pero para este proceso será utilizado para la detección y el control de los envases en el ingreso al proceso de dosificación.



**Figura 3.82**Sensick W100

Fuente: <http://www.tme.eu/es/details/wl12l-2b530/sensores-fotoopticos-estandar/sick/>

- Fuentes de luz

Los sensores fotoeléctricos utilizan leds como fuentes de luz. Un led es un elemento semiconductor, eléctricamente similar a un diodo, el cual emite una luz cuando una corriente circula por él en forma directa.

## Fuentes de luz habituales

Color	Rango	Características
<b>ROJO</b>	660...700 nm	Al ser visible es más sencilla la alineación. Puede ser afectado por luz ambiente intensa, y es de uso general en aplicaciones industriales.

Las características más relevantes de este sensor son las siguientes:

- Energéticos interruptores de proximidad fotoeléctricos para aplicaciones estándar
- La luz roja visible como dispositivo de ajuste
- Punto de conmutación ajustable

**Tabla 3.16 Especificaciones técnicas del sensor fotoeléctrico**

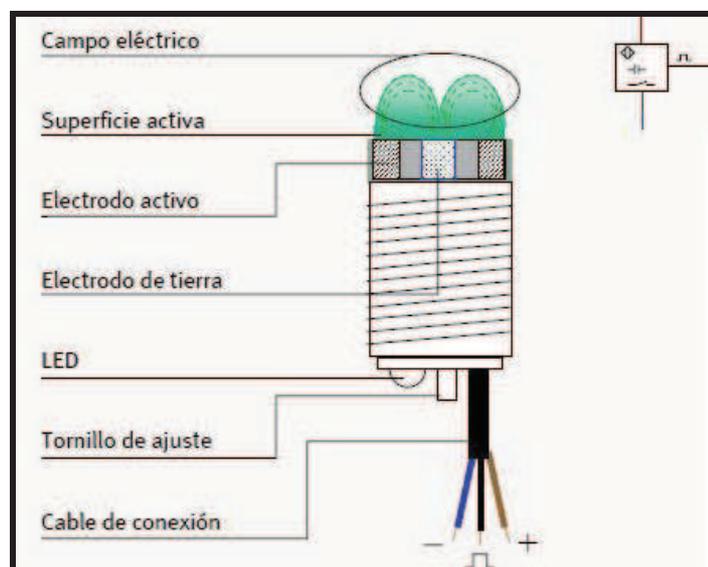
Especificaciones Técnicas	
<b>Distancia de Operación</b>	10-100 mm
<b>Suministro de tensión Vs</b>	10-30 VDC
<b>Consumo de energía</b>	$\leq 30$ mA
<b>Corriente de salida Iamax</b>	100 mA
<b>Tiempo de respuesta</b>	$\leq 0.5$ ms
<b>Frecuencia de conmutación</b>	1,000 Hz

### 3.3.3. SENSOR CAPACITIVO HANYOUNG NUX 18RP

Este dispositivo electrónico nos permite señalar un cambio de estado, basado en la variación de un campo eléctrico. Los sensores capacitivos nos permiten detectar objetos metálicos, o no metálicos, midiendo la variación en la

capacitancia, la cual depende de la constante dieléctrica del material a detectar su masa, tamaño, forma y la distancia hasta la superficie sensible del detector.

Los sensores capacitivos son detectores los cuales están contruidos en base a un oscilador RC. La señal de salida del oscilador alimenta otro amplificador, el cual a su vez pasa la señal a la etapa de salida. Cuando un objeto conductor se acerca a la cara activa del detector, el objeto actúa como un condensador.



**Figura 3.83 Partes del Sensor Capacitivo**

Fuente: <http://sensoresdeproximidad.blogspot.com/p/capacitivo.html>

En la figura 3.83 se visualiza el campo eléctrico que al tener cerca un material, el sensor reacciona ante un cambio en la capacitancia de su zona activa.

**Tabla 3.17 Especificaciones técnicas del sensor capacitivo**

<b>Especificaciones Técnicas</b>	
<b>Alcance</b>	15mm +/- 10%
<b>Diámetro</b>	30mm
<b>Alimentación</b>	12 - 24VDC
<b>Respuesta en frecuencia</b>	60 Hz
<b>Salida de control</b>	NPN-NA / 200 mA
<b>Grado de protección</b>	IP65

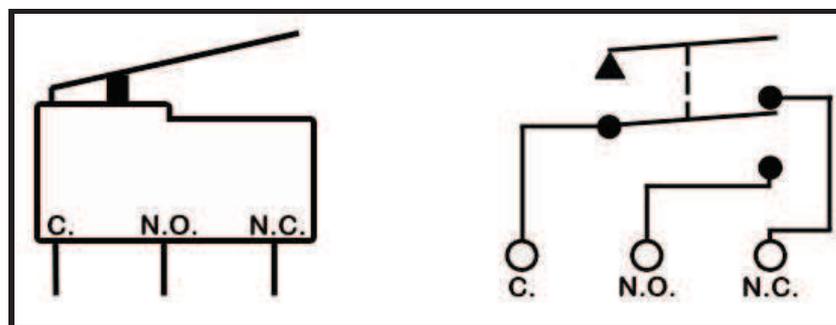
### **3.3.4. SENSORES MAGNÉTICOS CIL DC/AC 4-2**

Los sensores magnéticos son utilizados básicamente para controlar la posición del pistón en cilindros y manipuladores. La característica del sensor es detectar el campo del imán integrado en el pistón a través de la pared del actuador. Estos sensores nos permitirán detectar la posición sin contacto, los sensores magnéticos funcionan de forma fiable y libre de desgaste, no se produce ninguna quemadura por roce, rebote o adhesión y solo hay un punto de actuación. La posición del pistón se detecta de forma fiable también a altas velocidades de desplazamiento.

### **3.3.5. INTERRUPTORES FINAL DE CARRERA**

Este tipo de sensores son también conocidos como microswitch que es un conmutador de 2 posiciones con retorno a la posición de reposo el cual cuenta con una palanca de accionamiento como se puede ver en la figura 3.84.

El funcionamiento del microswitch en estado de reposo la pata común (C) y la de contacto normal cerrado (NC), están en contacto permanente hasta que la presión aplicada a la palanca del microswitch hace saltar la pequeña platina acerada interior y entonces el contacto pasa de la posición de normal cerrado a la de normal abierto (NO), se puede escuchar cuando el microswitch cambia de estado, porque se oye un pequeño clic, esto sucede casi al final del recorrido de la palanca.



**Figura 3.84 Funcionamiento del Microswitch**  
Fuente: Propia del autor

### 3.4. SISTEMAS DE CONTROL

En el diseño se consideró, dos formas de control del proceso son de manera manual o de manera automática, es importante mencionar que se realizará un HMI, con el propósito de identificar las variables que permitirán realizar la configuración de parámetros y operación para realizar el control del sistema de dosificación. El estudiante modificará los parámetros iniciales de control, para obtener una respuesta diferente en el proceso.

Para el control de todo el proceso de dosificación se utilizó el PLC S7-1200 el cual nos ofrece la flexibilidad y potencia necesarias para controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas necesidades de automatización.

### 3.4.1. SELECCIÓN DE COMPONENTES

En el tablero se colocan las borneras de alimentación (110V), un relé de protección, al PLC siemens S7-1200, las borneras para las entradas y salidas digitales con las cuales contamos.



**Figura 3.85 Componentes**

Fuente: Propia del tutor

- La fuente de alimentación permite energizar con corriente a la unidad central y a los módulos de amplificación conectados.
- Las entradas y salidas nos permiten realizar el control para el sistema de automatización.

Las entradas nos permiten indicar las diferentes señales de los aparatos de campo como pueden ser sensores o interruptores, mientras que las salidas pueden activar a motores y electroválvulas.

- Los diodos luminosos nos indican el modo de operación de la CPU (RUN o STOP), el estado de las entradas del PLC.

### Entradas digitales

El PLC S7-1200 cuenta con 10 entradas digitales cuya alimentación es de 24 VDC. En el proyecto se utilizaron 6 entradas digitales las cuales están distribuidas de la siguiente manera:

**Tabla 3.18 Disposición de entradas digitales usadas en el PLC**

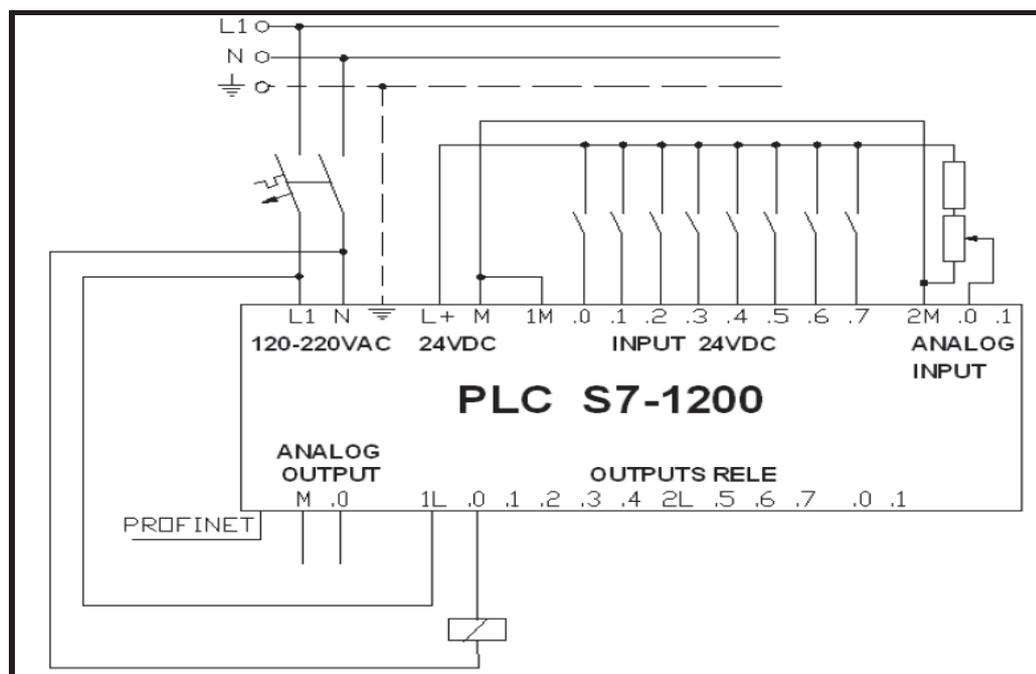
N°	Descripción	TIPO		Dirección
1	Sensor fotoeléctrico	Input	Digital	I0.0
2	Sensor Capacitivo	Input	Digital	I0.1
3	Sensor magnético 1	Input	Digital	I0.2
4	Sensor magnético 2	Input	Digital	I0.3
5	Microswitch1	Input	Digital	I0.4
6	Microswitch2	Input	Digital	I0.5

### Salidas Digitales

En el PLC S7-1200 se cuenta con 10 salidas digitales tipo relé, las cuales se pueden conectar a 24 VDC, para nuestro proyecto se utilizaron todas las salidas a relé con las que cuentan el PLC.

**Tabla 3.19 Disposición de salidas digitales usadas en el PLC**

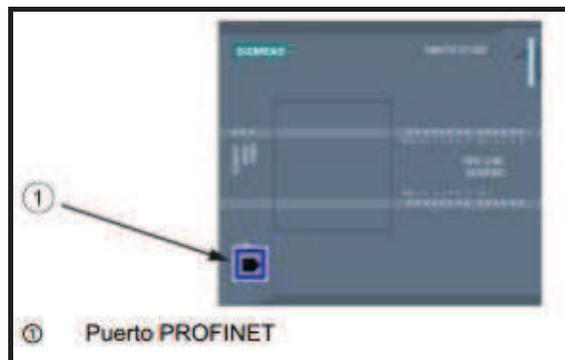
N°	Descripción	TIPO	Dirección
1	Incremento Motor Banda	Output	Q0.0
2	Decremento Motor Banda	Output	Q0.1
3	I/O Motor Banda	Output	Q0.2
4	Incremento Motor Disco	Output	Q0.3
5	Decremento Motor Disco	Output	Q0.4
6	I/O Motor disco	Output	Q0.5
7	Electroválvula A+	Output	Q0.6
8	Electroválvula A-	Output	Q0.7
9	Electroválvula S. Efecto B+	Output	Q1.0
10	Electroválvula S. Efecto C+	Output	Q1.1

**Figura 3.86 Diagrama PLC S7-1200**

Fuente: Propia del tutor

### 3.4.2. COMUNICACIÓN S7-1200

Para el montaje se han utilizado los siguientes componentes hardware:  
En la laptop se ha instalado el software: TIA Portal V11 para la programación del controlador de Siemens, se utilizó el PLC S7-1214 con firmware 2.2.  
La comunicación para el PLC S7-1200 se realizó bajo el protocolo Modbus sobre el medio físico de una red Ethernet. Es posible configurar los parámetros de la interfaz PROFINET.



**Figura 3.87 Puerto profinet**  
**Fuente: Propia del tutor**

La comunicación del SIMATIC S7-1200 está formada por una conexión RJ45 inmune a perturbaciones, con función autocrossing, que admite hasta 16 conexiones ethernet y alcanza una velocidad de transferencia de datos hasta de 10/100 Mbits/s. para reducir al mínimo las necesidades de cableado y permitir la máxima flexibilidad de red, puede usarse conjuntamente con SIMATIC s7-1200 el nuevo compact switch module CSM 1277, a fin de configurar una red homogénea o mixta, con topologías de línea, árbol o estrella.

## **Desarrollador del software para el modulo**

Para el desarrollo del módulo se utilizaron el siguiente software`s:

- LABVIEW
- TIA PORTAL V11 SIEMENS
- KEPServerEx5
- ARDUINO 1.0.5

Con cada uno de estos software`s se realizó una determinada programación, los cuales se describirán a continuación.

Con el software de LABVIEW se realiza la programación de la interfaz hombre maquina amigable al operador, con el software TIA PORTAL V11 se desarrolla el algoritmo de control del PLC en lenguaje ladder, el KEPServerEX5 se utilizó para para conectar, gestionar, monitorizar y controlar diferentes dispositivos y aplicaciones de software en automatización esto nos permitirá tener una comunicación entre el PLC y el HMI.

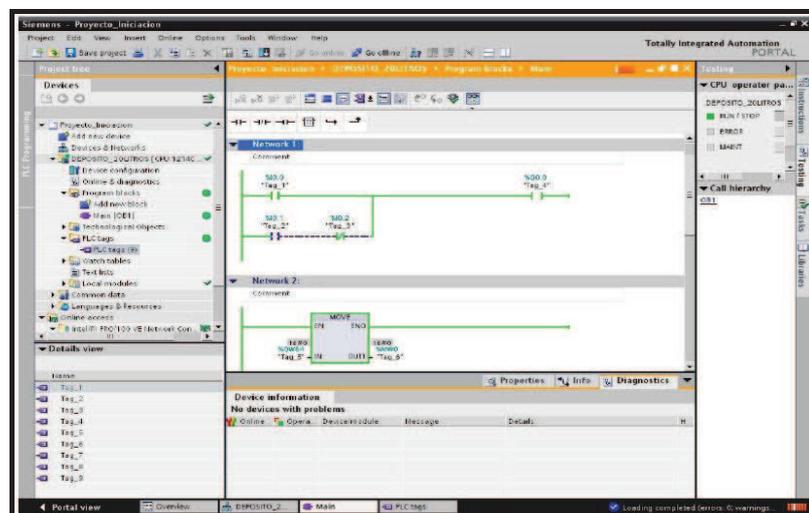
Arduino es una plataforma de creación de prototipos electrónicos de código abierto basado en flexibilidad, hardware y software en el cual se desarrolló un algoritmo que permita controlar los diferentes motores.

### **SIMATIC TIA PORTAL V11**

El software optimiza todos sus procedimientos de procesamiento, operación de máquinas y planificación. Los datos y proyectos preexistentes pueden integrarse sin ningún esfuerzo, por el entorno de programación del S7-1200. El

STEP7 Basic v11 es la herramienta en la que vamos a configurar, administrar y programar nuestros S7-1200 y las. Todo bajo un mismo entorno de forma rápida y sencilla.

El Tia Portal V11 dispone del lenguaje de programación KOP el cual se utilizó para desarrollar el modulo. Este es el lenguaje más apropiado para esta aplicación por su estructura didáctica.



**Figura 3.88** Ventana de programación TIA PORTAL  
Fuente: Propia del tutor

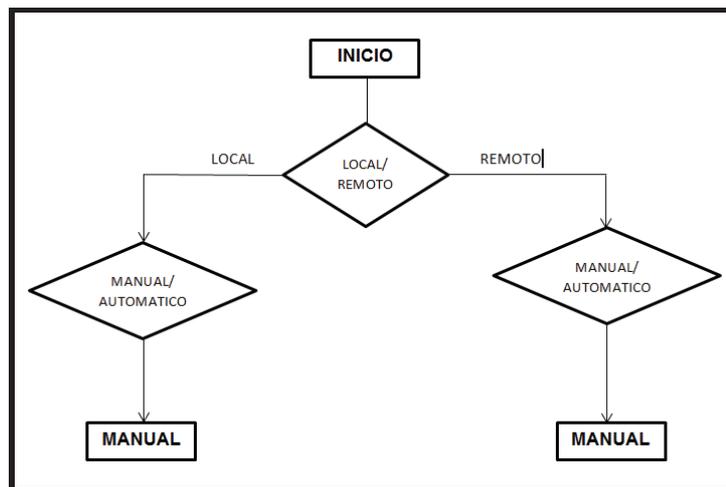
## Desarrollo del programa del PLC

Mediante la programación del PLC se puede trabajar con los siguientes modos de operación:

- Local o Remoto

Se diseñó alternativas para que el operador pueda hacer funcionar el modulo didáctico, ya sea físicamente o desde una PC.

Para cualquiera de los casos antes descritos se diseñó una manera de trabajar manual el cual es activado por el operario o de modo automático, el cual permitirá accionar y controlar los diferentes motores.

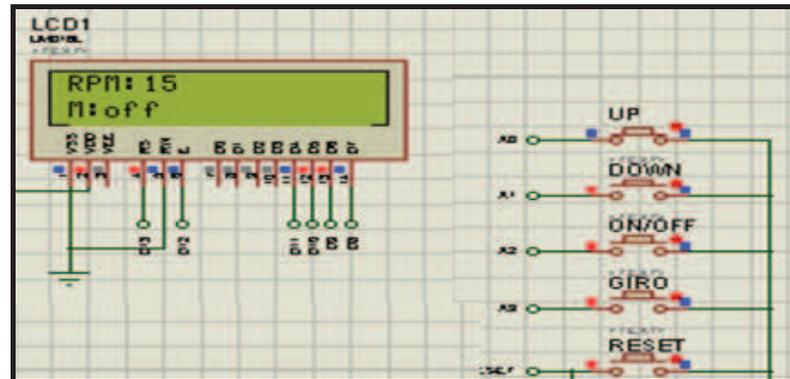


**Figura 3.89 Programa de configuración del PLC**  
Fuente: Propia del tutor

### Modo Local Manual

En este modo de operación la pantalla (LCD) le indica al usuario, las condiciones actuales del motor y si desea que este sea activado. Se accionan los motores DC dependiendo del proceso que se requiera, y esto se realiza mediante el switch respectivo que se encuentra en cada uno de los circuitos como se puede visualizar en la figura 3.90.

Cada circuito cuenta con cuatro botones o switch los cuales cumplen una función específica dependiendo de las necesidades del usuario, como el incremento o decremento en las RPM de los motores, STAR/STOP del motor y cambio de giro.



**Figura 3.90 Mensaje de visualización modo local manual**  
Fuente: Propia del tutor

### Modo remoto Manual

En este modo de trabajo se diseñó en un sistema HMI, a través del software de labview el cual permitirá al usuario contar con algunas alternativas para poder ejecutar el proceso.

En la pantalla principal del HMI se visualiza las variables que permiten controlar el sistema automático de dosificación como: sensores, señales de los respectivos motores y también el proceso de visión artificial el cual se utilizó, para clasificar los envases de acuerdo al color y forma del envase.

En la figura 3.91 se describe el algoritmo de control para el modo local manual del PLC.

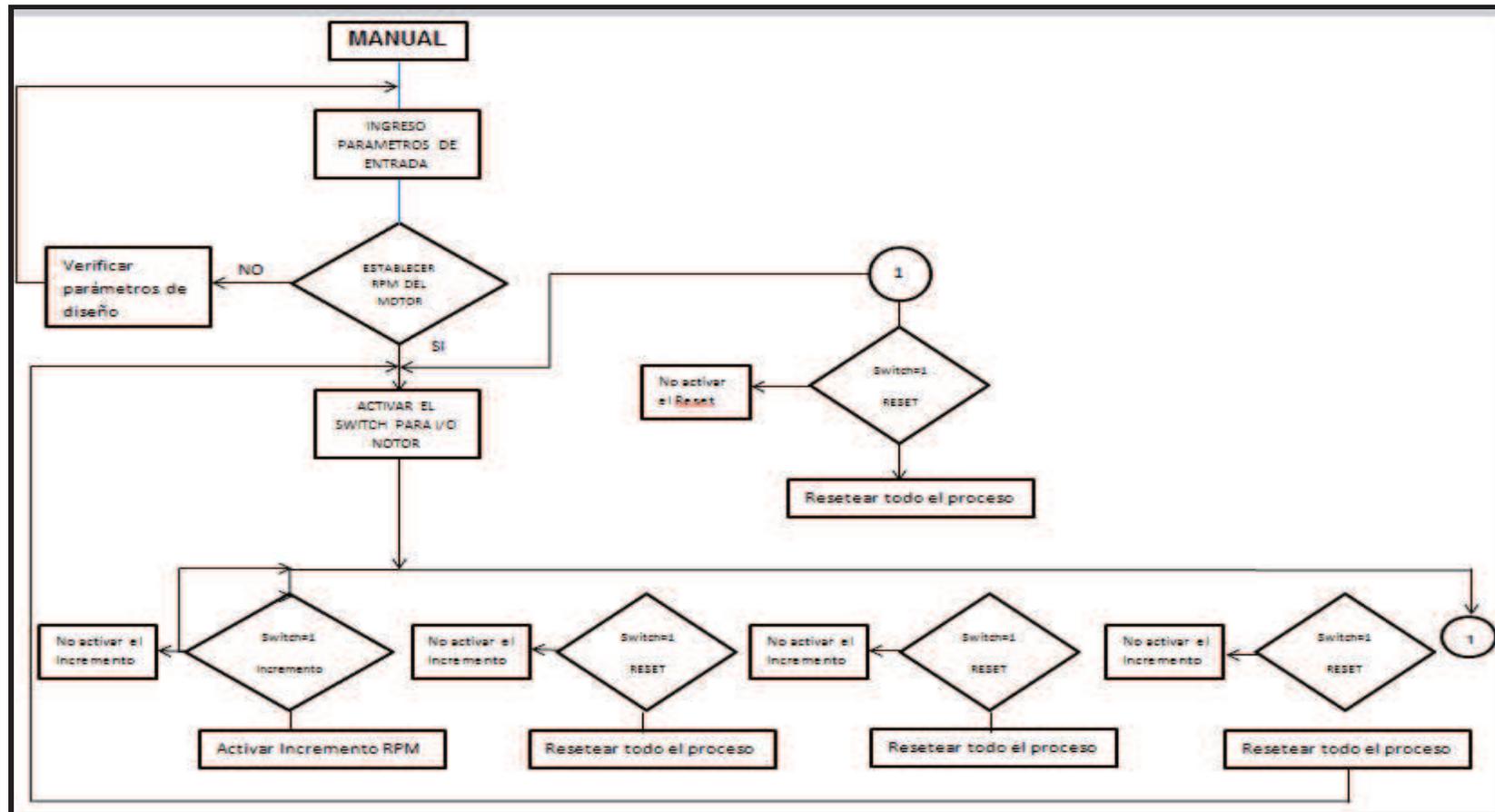


Figura 3.91 Programa de modo local del PLC  
Fuente: Propia del tutor

## **CAPÍTULO 4**

### **PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA**

#### **4.1. INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se describen las pruebas realizadas y los análisis complementarios. Las pruebas de funcionamiento de la parte mecánica, neumática, electrónica y de control para los diferentes envases a dosificar.

Se realiza la verificación de las conexiones eléctricas en la tarjeta de control de los sensores y actuadores, con el objetivo de asegurar un buen funcionamiento de todo el proceso y que se cumpla con los objetivos.

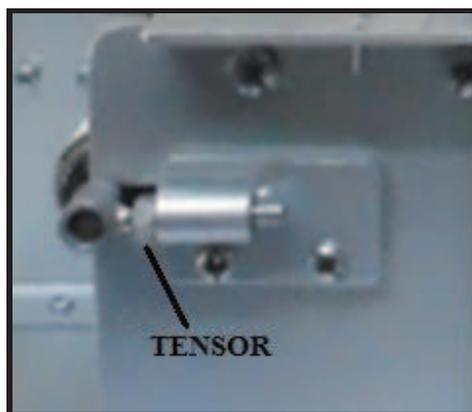
#### **4.2. PLAN DE PRUEBAS**

##### **4.2.1. PRUEBAS DEL SISTEMA MECÁNICO**

Corresponden las pruebas de cada uno de los movimientos para la dosificación, la banda transportadora, funcionamiento de las electroválvulas de dosificación, como las de clasificación para determinar y eliminar los posibles defectos.

### Pruebas de movimiento de la banda transportadora

En el momento del encendido del motorreductor que acciona a la banda transportadora para el ingreso de botellas, se observó que tiende a desviarse la banda hacia un lado y no permanecer en línea uniforme, eso se solucionó de manera rápida debido a que tiene dos tensores que deben estar a la misma distancia tensionados para que no ocurra este inconveniente, pero a la vez no debe estar muy tensionada ya que puede hacer que los rodillos tanto el conductor como el conducido resbalen y no ejerzan ningún movimiento a la banda transportadora.



**Figura 4.92 Tensor de la banda transportadora**  
Fuente: Propia del tutor

Luego se enciende el segundo motorreductor que debe dirigir el envase vacío bajo el tren de llenado y luego detenerse hasta que sea llenado, para después encenderse de nuevo y llevarlo al envase hacia la banda transportadora y continuar con el proceso, se observó que se encuentra funcionando correctamente ya que no presenta ningún problema en su movimiento.



**Figura 4.93 Sistema de tren de llenado**  
Fuente: Propia del tutor

### **Pruebas de movimiento del tren de llenado**

En cada prueba realizada se analiza el movimiento de dosificación ya que la tolva debe estar bien alineada con la boquilla secundaria para que no exista desperdicio de producto y a la vez la alineación de la tolva con la boquilla permitan que el producto caiga de manera adecuada a los envases para esto tuvimos que ubicar el pistón de doble efecto que actúa en forma de compuerta para que dosifique.

### **Pruebas de las electroválvulas de dosificación y de clasificación**

Durante las pruebas en el cilindro de doble efecto el problema que surgió era de alinearlos de manera adecuada para que al momento que el cilindro abra la compuerta y regrese no choque con las paredes de la boquilla secundaria,

para solucionar este inconveniente se realizaron varias pruebas de calibración hasta conseguir que el cilindro salga y regrese sin ningún problema.

Para los cilindros de clasificación de simple efecto, se observó que salían muy rápido debido a la cantidad de aire que ingresa en los cilindros neumáticos que permiten este movimiento, para solucionar este inconveniente se colocó reguladores de caudal para la salida y el regreso logrando así poder tener control de la cantidad necesaria y a la vez conseguir un movimiento con la velocidad adecuada ya que en los cilindros de clasificación podían hacer que el envase derrame el producto y no actué de forma adecuada el proceso.

### Pruebas de volumen para los diferentes envases

Durante las pruebas del volumen se realizó una toma de datos para verificar que el llenado de los dos tipos de envases están dentro del riesgo de error aceptado es generalmente del +5% y -5%.

**Tabla 4.20 Dato teórico**

Envases	Pequeño	Mediano
Dato teórico	86	160

**Tabla 4.21 Toma de datos de envase pequeño**

N°	Peso envase pequeño
1	84
2	84,5
3	83,5
4	83,3
5	83,9
<b>Promedio</b>	<b>83,84</b>

Para obtener el riesgo de error usamos la siguiente ecuación

$$E\% = \frac{\text{Dato teorico} - \text{Dato experimental}}{\text{Dato Teorico}} * 100\%$$

$$E\% = \frac{86 - 83,84}{86} * 100\%$$

$$E\% = 2,51$$

De la misma forma lo realizamos para el envase mediano

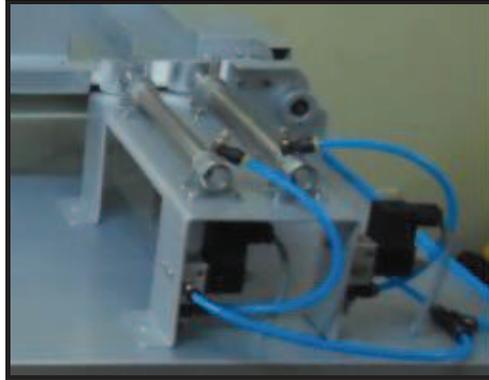
**Tabla 4.22 Toma de datos de envase mediano**

<b>N°</b>	<b>Peso envase mediano</b>
<b>1</b>	155
<b>2</b>	155,4
<b>3</b>	155,1
<b>4</b>	154,8
<b>5</b>	155,1
<b>Promedio</b>	155,08

$$E\% = \frac{160 - 155,08}{160} * 100\%$$

$$E\% = 3,08$$

Así logramos determinar que la dosificación realizada por medio de los dos sensores magnéticos si nos asegura el volumen adecuado dentro de los parámetros antes mencionados.

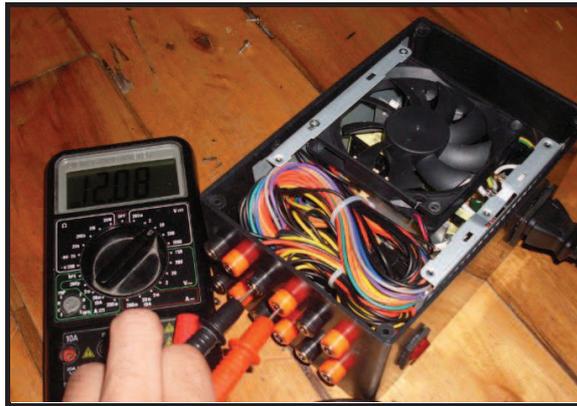


**Figura 4.94 Sistema de clasificación**  
Fuente: Propia del tutor

#### **4.2.2. PRUEBAS DEL SISTEMA ELECTRÓNICO**

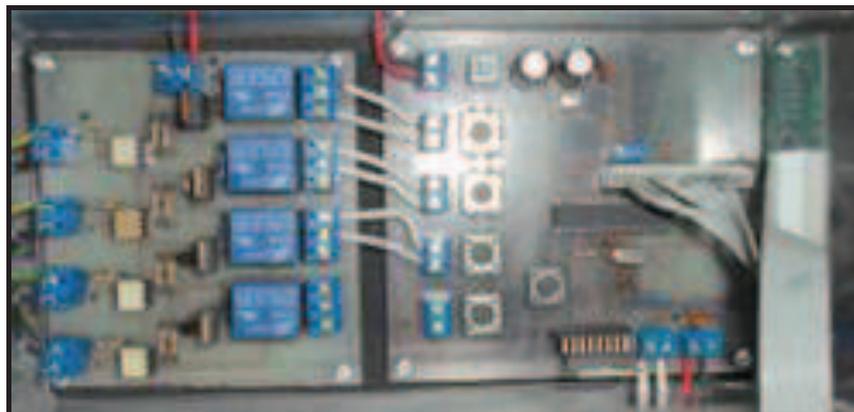
##### **Pruebas de funcionamiento de las tarjetas electrónicas**

Una vez realizada la comprobación del funcionamiento independiente de los sistemas mecánicos, procedemos a verificar el funcionamiento de las tarjetas electrónicas diseñadas. Con esto comprobamos la continuidad en todos sus elementos con el objetivo de que no exista la pérdida de señal, también monitorear el voltaje de las fuentes de alimentación de 5V y 12V, activación y desactivación de los relés para tener el control de los motorreductores por medio del microcontrolador.



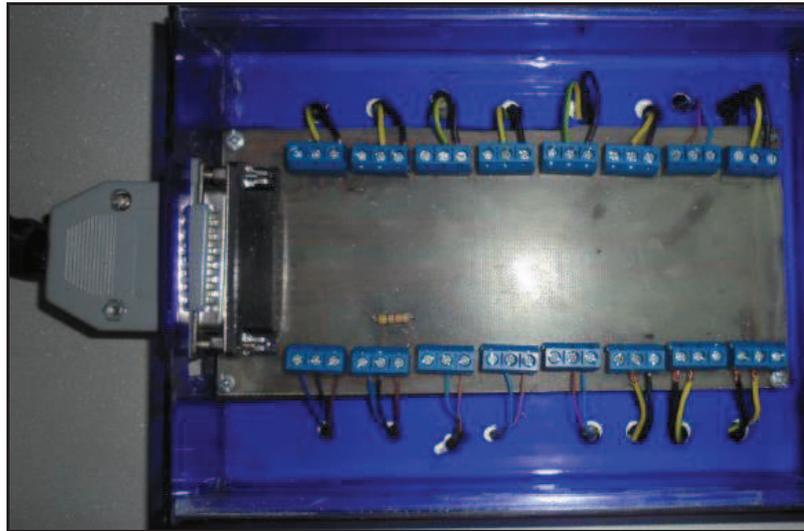
**Figura 4.95 Fuente de alimentación de 5V - 12V**  
Fuente: Propia del tutor

También se verificó las señales de activación de los motorreductores y su debido aislamiento con la tarjeta principal de control y evitar el ruido eléctrico al poner los motores en marcha.



**Figura 4.96 Circuitos de control y de potencia**  
Fuente: Propia del tutor

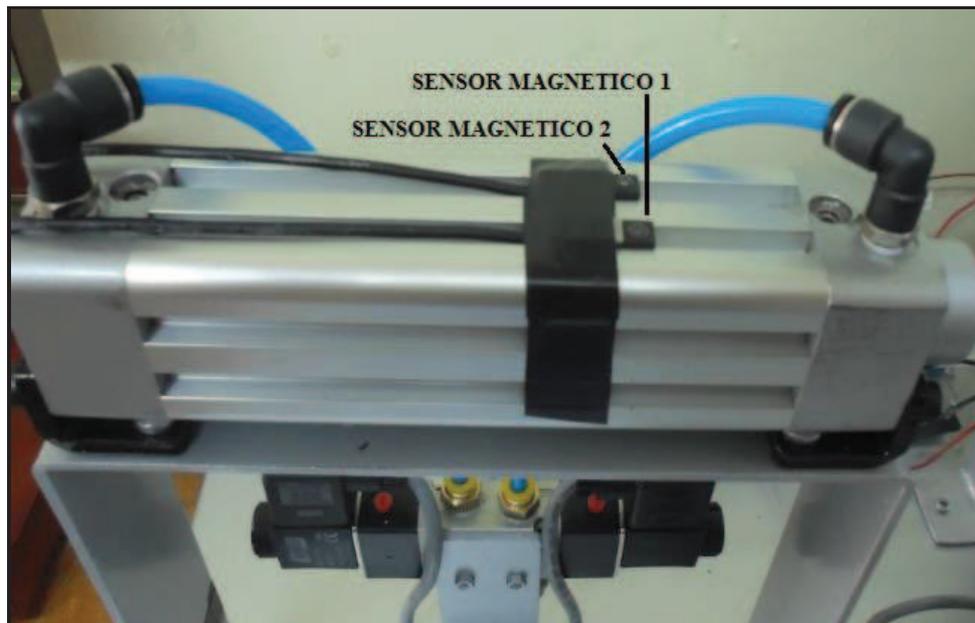
Finalmente se comprobó el funcionamiento de la tarjeta principal que nos permite controlar los sensores y actuadores desde el PLC y adicionalmente una primera prueba de comunicación con el computador.



**Figura 4.97 Tarjeta principal de comunicación PLC – Proceso**  
Fuente: Propia del tutor

### **Pruebas de calibración de la cantidad de volumen a dosificar**

Estas pruebas se realiza descargando el producto de la tolva hacia los envases a ser llenados con lo cual para calibrar el volumen de los diferentes envases se colocó dos sensores magnéticos que funcionarían como finales de carrera logrando así que la compuerta se cierre y haga la dosificación con el volumen adecuado, en el caso de los envases y por la velocidad de llenado la diferencia de la ubicación de los sensores es mínima y para lo cual el aire que está en el cilindro debe ser constante para que así no ocasione que los envases tanto el pequeño como el mediano sean llenados con poco producto o que a su vez se riegue el mismo bajo el tren de llenado.



**Figura 4.98 Calibración de volumen a dosificar**  
Fuente: Propia del tutor

### **Pruebas de los sensores**

Una vez hechas las pruebas de las placas electrónicas que tienen el control sobre los motorreductores, se realizó la calibración de los sensores, y de los dos microswitch y se realizaron las siguientes pruebas.

Se verifico que todos los dispositivos conectados en la tarjeta principal que es la intermediaria entre el proceso y el PLC, se encuentren alimentados y en sus salidas presenten los niveles adecuados necesarios para el control y detectar que su lógica no este invertida NPN o PNP, como el sensor fotoeléctrico y el sensor capacitivo.

En los fines de carrera se verifico la ubicación a la cual deben estar colocados para que exista la sincronización al momento de quedar los envases bajo el tren de llenado y que regrese a la posición de inicio, para continuar con el siguiente envase.

### **Pruebas de comunicación Ethernet**

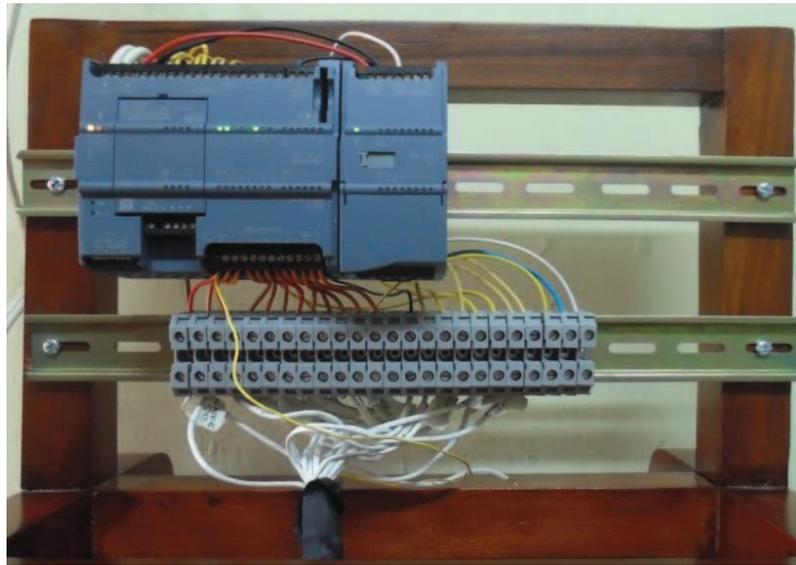
La prueba de comunicación Ethernet se la realiza configurando el IP que tiene el PLC S7 1200 con la tarjeta de red de la PC. Una vez comprobado que existe la comunicación entre el PLC y la PC se realizó un HMI desarrollada en Labview, para lo cual también hay que verificar que exista comunicación con el OPC server de la cual se menciona en el Anexo como se debe configurar.

### **Pruebas del funcionamiento de la HMI**

Durante estas pruebas se verifico si no hay perdida de información a través de la comunicación HMI, entonces se activó y desactivo repetidamente el proceso para el encendido de los motorreductores, las electroválvulas, los sensores y finales de carrera para luego poner en marcha todo el proceso.

### **4.3. PUESTA EN MARCHA**

Con la verificación de que el sistema mecánico, sistema electrónico y el sistema de control funcionan de manera adecuada se conectó de manera respectiva las señales que son entradas y las que son salidas para el PLC, además que se implementó con dos rieles, la primera para el PLC con el breaker y la segunda para las borneras, donde posteriormente se procedió a energizar a todo el proceso y se verifico si todas las señales estén conectadas correctamente en la tarjeta principal implementada y a través de la PC también se verifico las señales para garantizar la fiabilidad del equipo.



**Figura 4.99 Conexión a PLC**  
Fuente: Propia del tutor

#### 4.4. MODULO COMPLETO

A continuación se muestra la conformación del módulo.



**Figura 4.100 Sistema de dosificación de sólidos**  
Fuente: Propia del tutor

## CAPITULO 5

### MANUAL DE USUARIO

En el manual de usuario se describe como hacer un nuevo archivo para programar en el TIA PORTAL V11, además de configurar el KEPServerEX5 que nos permite tener la comunicación entre el Labview y el PLC S7-1200 que trabajaría en forma de interfaz gráfica.

#### 5.1. COMUNICACIÓN NI-OPC SERVERS CON SIEMENS S7-1200 CPU1214C Y LABVIEW

La conexión entre un PLC y un PC es un proceso muy utilizado en el área industrial, a continuación se describirá la forma de conectar un computador con OPC a un PLC siemens S7-1200.

#### Arquitectura del sistema

Para esta práctica se necesita de los siguientes elementos (Anexo A1)



**Figura 5.101** Arquitectura del sistema

Fuente: Propia del tutor

## 5.2. ELABORACIÓN DE LAS PRÁCTICAS

### Descripción de las Prácticas a Realizarse

Una vez concluidas las pruebas en el módulo didáctico y verificando cada uno de los componentes utilizados, se procede a realizar cada una de las prácticas con el objetivo de que el estudiante pueda adquirir poco a poco experiencia, sobre el uso del módulo, especialmente del PLC y la interfaz de comunicación para el control de los procesos.

El modulo didáctico es un modelo a escala de un proceso industrial para un sistema de dosificación, el cual es funcional y óptimo para realizar diferentes prácticas las cuales se describirán a continuación:

#### 5.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA # 1

El título de la práctica #1 ***“Control de la banda transportadora con el PLC”***. Esta práctica pretende que el estudiante tenga un primer contacto con el PLC, y con el módulo de dosificación, se utilizará una parte del proceso, todo el control se lo realizará con el PLC y se activaran las salidas.

El objetivo principal de la práctica es que el estudiante conozca el correcto funcionamiento de una banda transportadora, junto con los componentes mecánicos, electrónicos y tipo de control que se utilizó para el funcionamiento.

### 5.2.2. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA # 2

El título de la práctica # 2 “**Sincronización del disco giratorio**”. El objetivo de esta práctica es que el estudiante realice un programa para la sincronización del disco giratorio el cual es activado por un motor, este proceso es indispensable para el correcto ingreso de los envases hacia el proceso de dosificación.

Este proceso se lo realiza mediante el PLC para su control así como un sensor fotoeléctrico y dos microswitch los cuales nos permitirá tener señales de entrada para el ingreso de los envases, y poder activar el disco giratorio.

### 5.2.3. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA # 3

El título de la práctica # 3 es “**Sistema automático de dosificación**”. En esta práctica el estudiante trabajará con seis señales digitales las cuales cumplirán una determinada función en el sistema de dosificación

El estudiante en esta práctica deberá aplicar los conocimientos adquiridos en las anteriores prácticas debido a que tendrá que utilizar la banda transportadora junto con el disco giratorio para posicionar el envase por debajo de la tolva y activar la electroválvula para realizar el dosificado de acuerdo al tipo de envase con la intervención de dos sensores magnéticos.

#### 5.2.4. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA # 4

El título de la práctica # 4 **“Clasificación de Envases de acuerdo al color”**. Esta práctica tiene por objetivo utilizar el software de Labview NI VISION de visión artificial.

El estudiante tendrá que clasificar los envases de acuerdo al color después de realizar el proceso de dosificación, pero utilizando la herramienta de visión artificial para esto deberá utilizar labview y programar en dicho software, una vez identificado el envase se activará los pistones de simple efecto los cuales guiaran los envases por rieles.

#### 5.2.5. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA # 5

El título de la práctica # 5 **“Clasificación de Envases de acuerdo al tamaño”**. Esta práctica tiene por objetivo utilizar el software de Labview NI VISION de visión artificial.

El estudiante tendrá que clasificar los envases de acuerdo al color después de realizar el proceso de dosificación, pero utilizando la herramienta de visión artificial para esto deberá utilizar labview y programar en dicho software, una vez identificado el envase se activará los pistones de simple efecto los cuales guiaran los envases por rieles.

### 5.3. ELABORACIÓN DE LAS PRÁCTICAS

#### 5.3.1. GUÍA DE LA PRÁCTICA #1

**Título: “Control de la banda transportadora con el PLC”**

**a) Objetivo:**

- Identificar el tipo de variables para el control con el PLC.
- Investigar el funcionamiento de la Banda Transportadora.
- Realizar un tipo de control Manual y Automático

**b) Materiales y Equipos:**

- PLC SIEMENS S7-1200
- Fuente de poder
- Cable de comunicación
- Computador
- Programa TIA PORTAL V11
- Elementos de la Banda Transportadora
- Labview

**c) Puntos requeridos para realizar la práctica:**

- Se debe verificar las variables con las cuales se requiera realizar el control para la banda transportadora.
- Los circuitos diseñados cuentan con pulsadores que permiten de manera manual poder realizar el control.
- Se podrá realizar una interfaz HMI para por medio de pulsadores creados en el software de LABVIEW poder incrementar o decremento de las rpm del motor que activa la banda transportadora.
  - Elaborar un programa en el cual al activarse las Salidas digitales.

**Tabla 5.23 Salidas digitales**

Variables	Descripción
M0.0	Pulsos que activan el incremento
M0.1	Pulsos que activan el decremento
Q0.0	Salida que activa el incremento de las rpm.
Q0.1	Salida que activa el decremento de las rpm.
Q0.2	Salida que activa el I/O Motor.
Q0.3	Salida que activa el cambio de giro en el motor.

#### d) Conclusiones y Recomendaciones

**Nota:** Todos los resultados y soluciones para la práctica #1, están en (ANEXO 2).

### 5.3.2. GUÍA DE LA PRÁCTICA #2

**Título: “Sincronización del disco giratorio con el PLC”**

**a) Objetivo:**

- Identificar el tipo de variables para el control con el PLC.
- Sincronizar el disco giratorio para el ingreso de los envases.
- Realizar este proceso con el de la banda transportadora.

**b) Materiales y Equipos:**

- PLC SIEMENS S7-1200
- Fuente de poder
- Cable de comunicación
- Computador
- Programa TIA PORTAL V11
- Elementos que componen el disco giratorio.
- Labview

**c) Puntos requeridos para realizar la práctica:**

- Se debe verificar las variables con las cuales se requiera realizar el control en el disco que es activado por el motor 2.
- Los circuitos diseñados cuentan con pulsadores que permiten de manera manual poder realizar el control.
- Este proceso es indispensable debido a que se debe utilizar tres entradas digitales las cuales son utilizadas para el control del motor del disco giratorio.
- Se podrá realizar una interfaz HMI para por medio de pulsadores creados en el software de LABVIEW poder incrementar o decremento de las rpm del motor que activa la banda transportadora.

- Elaborar un programa en el cual al activarse las Salidas digitales.

**Tabla 5.24 Entradas y salidas digitales**

<b>Variables</b>	<b>Descripción</b>
I0.0	Sensor Fotoeléctrico
I0.1	Microswitch
I0.2	Microswitch1
Q0.3	Salida que activa el incremento de las rpm.
Q0.4	Salida que activa el decremento de las rpm.
Q0.5	Salida que activa el I/O Motor

#### **d) Conclusiones y Recomendaciones**

**Nota:** Todos los resultados y soluciones para la práctica #2, están en (ANEXO 3).

### 5.3.3. GUÍA DE LA PRÁCTICA #3

**Título: “Sistema automático de dosificación”**

**a) Objetivo:**

- Identificar el tipo de variables para el control con el PLC.
- Investigar tipos de sistemas de dosificación.
- Realizar un sistema de dosificación manual o automático.

**b) Materiales y Equipos:**

- PLC SIEMENS S7-1200
- Fuente de poder
- Cable de comunicación
- Computador
- Programa TIA PORTAL V11
- Elementos del sistema de dosificación
- Labview

**c) Puntos requeridos para realizar la práctica:**

- Se debe conocer sobre el funcionamiento de los sensores magnéticos.
- Elementos neumáticos que se utilizan para la práctica.
- Conexión y alimentación para la electroválvula para el cilindro de doble efecto.
- Se podrá realizar una interfaz HMI para por medio de pulsadores creados en el software de LABVIEW poder indicar el tipo de dosificación que se requiere realizar.
  - Elaborar un programa en el cual al activarse las Entradas y Salidas digitales, para el sistema de dosificación

**Tabla 5.25 Entradas y salidas digitales**

<b>Variables</b>	<b>Descripción</b>
I0.0	Sensor Capacitivo
I0.1	Sensor magnético
I0.2	Sensor magnético 1
Q0.6	Salida que activa la electroválvula A-
Q0.7	Salida que activa la electroválvula A+

#### **d) Conclusiones y Recomendaciones**

**Nota:** Todos los resultados y soluciones para la práctica #3, están en (ANEXO 4).

### 5.3.4. GUÍA DE LA PRÁCTICA #4

**Título: “Clasificación de Envases de acuerdo al color”**

**a) Objetivo:**

- Identificar el tipo de variables para el control con el PLC.
- Investigar sobre Labview NI VISION
- Realizar un tipo de control que permita clasificar los envases de acuerdo a su color.

**b) Materiales y Equipos:**

- PLC SIEMENS S7-1200
- Fuente de poder
- Cable de comunicación
- Computador
- Programa TIA PORTAL V11
- Elementos del sistema de dosificación
- Cámara web
- Labview NI VISION

### c) Puntos requeridos para realizar la práctica:

- Activar banda transportadora de manera manual o por el PLC debido, a que se deben transportar los envases hacia el proceso de visión artificial.
- Conocer el software Labview Ni Vision indispensable para realizar la práctica.
- Conexión y alimentación del sistema neumático para los cilindros de simple efecto necesarios para realizar la clasificación del envase de acuerdo al color.
- Se realizara una interfaz HMI para visualizar que tipo de envase ingresa.
  - Elaborar un programa en el cual pueda activarse las electroválvulas.

**Tabla 5.26 Salidas digitales**

<b>Variables</b>	<b>Descripción</b>
M0.0	Memoria para activar la señal de la electroválvula.
M0.1	Memoria para activar la señal de la electroválvula.
Q1.0	Salida que activa la electroválvula S. Efecto B
Q1.1	Salida que activa la electroválvula S. Efecto C

### d) Conclusiones y Recomendaciones

**Nota:** Todos los resultados y soluciones para la práctica #4, están en (ANEXO 1).

### 5.3.5. GUÍA DE LA PRÁCTICA #5

**Título: “Clasificación de Envases de acuerdo al tamaño”**

**a) Objetivo:**

- Identificar el tipo de variables para el control con el PLC.
- Investigar sobre Labview NI VISION
- Realizar un tipo de control que permita clasificar los envases de acuerdo al tamaño.

**b) Materiales y Equipos:**

- PLC SIEMENS S7-1200
- Fuente de poder
- Cable de comunicación
- Computador
- Programa TIA PORTAL V11
- Elementos del sistema de dosificación
- Cámara web
- Labview NI VISION

### c) Puntos requeridos para realizar la práctica:

- Activar banda transportadora de manera manual o por el PLC debido, a que se deben transportar los envases hacia el proceso de visión artificial.
- Conocer el software Labview Ni Vision indispensable para realizar la práctica.
- Conexión y alimentación del sistema neumático para los cilindros de simple efecto necesarios para realizar la clasificación del envase de acuerdo al color.
- Se realizara una interfaz HMI para visualizar que tipo de envase ingresa.
  - Elaborar un programa en el cual pueda activarse las electroválvulas.

**Tabla 5.27 Salidas digitales**

Variables	Descripción
M0.0	Memoria para activar la señal de la electroválvula.
M0.1	Memoria para activar la señal de la electroválvula.
Q1.0	Salida que activa la electroválvula S. Efecto B
Q1.1	Salida que activa la electroválvula S. Efecto C

### d) Conclusiones y Recomendaciones

**Nota:** Todos los resultados y soluciones para la práctica #5, están en (ANEXO 1).

## CAPÍTULO 6

### ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

#### 6.1. ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

##### 6.1.1. ANTECEDENTE

- El proyecto que se realiza es para dar una solución en el laboratorio de Automatización Mecatrónica ya que por motivos de inexistencia de módulos didácticos no se puede realizar las prácticas de laboratorio por parte de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecatrónica, debido a que existe una gran cantidad de estudiantes.
- En primera instancia el proyecto de grado es financiado totalmente por los estudiantes ejecutores de dicho proyecto de grado.

##### 6.1.2. COSTOS DEL PROTOTIPO

###### 6.1.2.1. Costos Directos

Dentro de los costos directos del prototipo tenemos:

**Costos de construcción**, para la construcción y ensamble de toda la parte mecánica, como la estructura de la banda transportadora, disco selector, soportes de los envases, cubierta del sistema de calidad y soportes para los pistones de clasificación. Se necesita la experiencia de un tecnólogo en

elaboración de máquinas industriales que partiendo de los materiales y planos necesarios hechos en base a nuestro diseño, realice la construcción de las partes del prototipo.

**Tabla 6.28 Mano de obra tecnólogo**

<b>Mano de obra tecnólogo</b>	<b>\$ 297,00</b>
-------------------------------	------------------

Para la cinta de la banda transportadora se necesita la ayuda de la empresa Bandas & Bandas, que se dedica a la elaboración de bandas industriales de diferentes tipos para las necesidades de las industrias y mediante los cálculos de nuestros rodillos obtuvimos una banda con su respectivo espesor, además para la unión de la banda es vulcanizada.

**Tabla 6.29 Elaboración de la banda**

<b>Medidas de banda</b>	<b>Costo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
156mm x 60mm	22,40	2	44,80

El costo de la ingeniería de los dos ejecutores, para la realización del proyecto durante los seis meses que duró el mismo es el siguiente:

**Tabla 6.30 Costo de la ingeniería de los ejecutores**

Ejecutores	\$ 3200,00
------------	------------

**Costos de materiales**, para poder construir el módulo didáctico y cumplir con los objetivos propuestos se necesita de los siguientes materiales:

Tabla 6.31 Lista de materiales de la parte Mecánica

Material	Costo	Cantidad	Total
Folleto de banda	20,00	1	20,00
Envase pequeño	2,00	5	10,00
Envase mediano	2,25	8	18,00
Plancha de aluminio 3mm	63,50	1	63,50
Transporte de plancha	5,00	1	5,00
Corte de plancha	1,20	1	1,20
Torno ejes	7,50	1	7,50
Tubo para eje	1,00	1	1,00
Rodamientos	2,00	4	8,00
Perno hex GR8.8 negro 7x1.0x20	0,05	8	0,40
Matrimonio	3,00	2	6,00
Chumaceras para ejes	3,00	2	6,00
Chumaceras para rodillos	3,00	4	12,00
Corte y acabado de ejes	1,75	2	3,50
Matrimonio de acero inoxidable	2,00	2	4,00
Tuerca mm GR8.8 7x1.0	0,02	8	0,16
Perno hex GR8.8 negro 5x.80x16	0,03	20	0,60
Tuerca mm GR8.8 paso especial 16x1.50	0,20	2	0,40
Tuerca mm galvan/t 5x0,80	0,02	20	0,40
Plancha de acero inoxidable 1mm	10,00	1	10,00
Tolva	90,00	1	90,00
Caja de cámara de visión	2,00	1	2,00
Base de acero galvanizado	25,00	1	25,00
Buril cónico tust -d/C	40,00	1	40,00
Buril oval tust -d/C	33,79	1	33,79
Lija #80 para taladro	6,75	1	6,75
Fibra #240 para taladro	15,00	1	15,00

<b>Caja de acrílico placas control</b>	42,00	1	42,00
<b>Caja de acrílico placa sensores</b>	17,50	1	17,50
<b>Perforaciones disco</b>	11,00	1	11,00
<b>Spray cromado</b>	4,38	2	8,76
<b>Brujita</b>	1,50	1	1,50
<b>Tornillos m3</b>	0,05	20	1,00
<b>Tornillos m4</b>	0,05	20	1,00
<b>Placas de maquina</b>	7,00	2	14,00
<b>Pintura</b>	75,00	1	75,00
<b>Estructura de madera</b>	7,50	1	7,50
<b>TOTAL</b>			<b>569,46</b>

Tabla 6.32 Lista de materiales de la parte electrónica

Material	Costo	Cantidad	Total
Motor 30 rpm 6kg/cm	25,00	2	50,00
Cámara	70,00	1	70,00
Sensor palpadorreflex	117,50	1	117,50
Cable de mando de pv	2,08	11	22,88
Sensor capacitivo	40,00	1	40,00
Cable utp	1,50	1	1,50
Canaleta	3,62	1	3,62
Caja de fuente	6,00	1	6,00
Conectores banana y plug	6,60	1	6,60
Micro switch	0,60	3	1,80
Capacitores 10uf	0,40	4	1,60
Manguera termofundible	2,00	1	2,00
Case db25	0,60	1	0,60
Borneras para plc	0,80	21	16,80
Riel para plc	4,50	1	4,50
Breaker	4,91	1	4,91
Porta fusible	2,67	1	2,67
Fusible	0,45	1	0,45
Terminales cobre	0,12	10	1,20
<b>TOTAL</b>			<b>354,63</b>

Tabla 6.33 Lista de materiales de la tarjeta de control

Material	Costo	Cantidad	Total
Resistencia 1/4 W	0,03	30	0,90
Capacitor 22pf	0,20	4	0,80
Capacitor 1000uf/16V	0,35	4	1,40
Capacitor 104	0,10	6	0,60
Zócalos 28 pines	0,50	2	1,00
Atmega 328	0,70	4	2,80
Driver L298M	4,25	2	8,50
Espadin hembra simple	0,50	1	0,50
Led	0,20	2	0,40
Borneras 2pines	0,30	14	4,20
Molex 16pines	1,25	4	5,00
LCD 16x2	7,00	2	14,00
Potenciómetro precisión 5K	0,65	2	1,30
Pulsadores 7mm	0,30	10	3,00
Sw grande bl	0,45	2	0,90
crystal 20MHz	0,65	2	1,30
Cable 40h	0,25	4	1,00
<b>TOTAL</b>			<b>47,60</b>

Tabla 6.34 Lista de la tarjeta de potencia

material	costo	cantidad	total
Zócalos 8pines	0,09	8	0,72
4n25	0,65	8	5,20
2N3904	0,12	8	0,96
Tip 41	0,55	8	4,40
1N4007	0,12	8	0,96
Borneras 2pines	0,30	10	3,00
Borneras 3pines	0,35	8	2,80
Relé 12V 5pines	0,80	8	6,40
PCB de control	18,90	2	37,80
PCB de Potencia	15,20	2	30,40
<b>TOTAL</b>			<b>92,64</b>

Tabla 6.35 Lista de materiales de la tarjeta principal

Material	Costo	Cantidad	Total
Borneras 3pines	0,30	36	10,80
Db25	0,40	2	0,80
Bornera de placa 25pines	1,25	2	2,50
Resistencia 1K 1/2W	0,03	2	0,06
Papel	0,87	1	0,87
Placa de fibra	2,45	2	4,90
Ácido	0,22	4	0,88
PCB de tarjeta principal	20,00	1	20,00
<b>TOTAL</b>			<b>40,81</b>

Tabla 6.36 Lista de materiales de la parte neumática

material	costo	cantidad	total
Sensor para cilDC/AC 4-2	16,64	2	33,28
Cilindro simple efecto 16x75mm sm	47,79	2	95,58
Cilindro iso 32x100mm sm	52,58	1	52,58
Montaje tipo pie MA-16	4,37	4	17,48
Manguera	0,49	3	1,47
Válvula solenoide VM 1/8 3-2ss 24VDC	30,81	2	61,62
Válvula solenoide 1/4 5-2ds 24VDC	41,34	1	41,34
Acople recto 6mm x 1/8 MPT	0,64	4	2,56
Codo quick 6mm x 1/8 MPT	0,86	2	1,72
Codo quick 6mm x M5	0,90	4	3,60
Silenciador BR 1/8 MPT	0,61	3	1,83
Regulador silenciador 1/8	3,00	2	6,00
Regulador unidad 6x1/8mpt	4,74	2	9,48
Regulador caudal 6xm5	8,46	3	25,38
TEE rapido 6mm	1,16	4	4,64
Acople recto 6mm x 1/4 MPT	1,78	3	5,34
<b>TOTAL</b>			<b>363,90</b>

El total de los costos directos es el siguiente:

$$\text{Costos Directos} = 297,00 + 44,80 + 3200,00 + 1470$$

$$\text{Costos Directos} = \$ 5011,80$$

### 6.1.2.2. Costos Indirectos

Dentro de este rubro se contempla: el transporte de los materiales, materiales de prueba, planificación del proyecto, impresión de memoria técnica y planos.

**Tabla 6.37 Costos indirectos**

Costos indirectos	\$ 600
-------------------	--------

### 6.1.3. COSTO TOTAL DEL PROTOTIPO

El costo total de prototipo resulta de la sumatoria de todos los costos antes mencionados:

$$\text{Costo total del prototipo} = \text{costos directos} + \text{costos indirectos}$$

$$\text{Costo total del prototipo} = 5011,80 + 600$$

$$\text{Costo total del prototipo} = \$ 5611,80$$

Para este análisis no se tomó en cuenta como costo directo el valor del PLC S7-1200, por el motivo que este pertenece al laboratorio de Automatización.

### 6.1.4. RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO

Para el análisis de la recuperación de la inversión del módulo didáctico, se tomó en cuenta el número de créditos que son designados para la asignatura de Automatización y Mecatrónica. El número es de cinco créditos, de los cuales cuatro créditos están asignados a la teoría y uno crédito está asignado para prácticas de laboratorio.

El número de estudiantes de la asignatura de Automatización y Mecatrónica va aumentando en cada nivel, y generalmente este número varía entre 60 a 80 estudiantes, para fines de cálculo tomaremos un promedio de 70 estudiantes.

El crédito estudiantil de la ESPE aumenta cierto porcentaje en cada nivel, actualmente este valor es de \$35 y con los datos el presupuesto para el Laboratorio de Automatización y Mecatrónica es de:

$$70_{\text{estudiantes}} \times \frac{1_{\text{créditos}}}{\text{estudiante}} \times \frac{\$35}{\text{créditos}} = \$2450$$

El laboratorio no cuenta con el equipo para realizar prácticas de procesos industriales con el fin que los estudiantes se familiaricen, y a su vez la programación de los PLC'S.

Si un 50% de este presupuesto fuera destinado para el pago del módulo didáctico, tendríamos \$1225 por semestre y al año sería \$2450 que ingresa al laboratorio para el módulo didáctico.

**Tabla 6.38 Ingresos al laboratorio por utilización del prototipo**

Ingresos laboratorio	\$ 2450
----------------------	---------

Se realiza un cálculo estimado del costo por práctica en el módulo didáctico. Las cinco prácticas utilizan todos los elementos de control y automatización del proceso.

La duración de cada práctica de laboratorio es de una hora y media (1.5 H). Suponemos para el cálculo que una fuente eléctrica de todo el modulo didáctico está trabajando constantemente durante toda la práctica de laboratorio.

$$\text{Consumo eléctrico de la práctica: } 1.5 \text{ KW} \cdot 1.5 \text{ H} = 2.25 \frac{\text{KW} - \text{H}}{\text{práctica}}$$

$$\text{Costo del KW - H: } \$ 0.15$$

$$\text{Costo eléctrico de la práctica: } 2.25 \frac{\text{KW} - \text{H}}{\text{práctica}} \cdot 0.15 \frac{\$}{\text{KW} - \text{H}} = 0.34 \frac{\$}{\text{práctica}}$$

El número de prácticas a realizarse con el modulo didáctico son cinco, el número de estudiantes es de 70 y éstos se dividen en grupo de dos estudiantes, lo que significa que tenemos un total de 35 grupos. Cada grupo debe realizar las cinco prácticas lo cual nos da un total de 175 prácticas que se realizan por semestre. Este valor proyectado en el año nos representa 350 prácticas.

El costo total de las prácticas en el año es:

$$\text{Costo total de las prácticas: } 0.34 \frac{\$}{\text{práctica}} \cdot 350 \frac{\text{prácticas}}{\text{año}} = 119 \frac{\$}{\text{año}}$$

El costo de la dirección de la práctica por parte de un ingeniero más la de un ayudante es de \$ 75 al mes, y al año sería un valor de \$900.

El prototipo será depreciado a diez años y el valor de salvamento será de cero, por lo tanto el valor de depreciación es de:

$$\text{Depreciación: } \frac{5611.80 - 0}{10} = \$561.18$$

El costo total para la elaboración de prácticas en el módulo didáctico durante el primer año es:

**Tabla 6.39 Costo para la elaboración de prácticas en el primer año**

	$\frac{\$}{\text{año}}$
Práctica	119.00
Dirección	900.00
Depreciación	561.18
Total	1580.18

Hay que tomar en cuenta la inflación anual del Ecuador en el año 2012 - 2013 que fue aproximadamente del 8.00%. En la siguiente tabla se proyectan el costo del módulo didáctico más los costos de elaboración de las prácticas a 10 años.

Se debe tomar en consideración que el valor actual del crédito estudiantil de la ESPE es de \$ 35.00, Tomando como referencia el valor anterior que era de \$32.50, tenemos que el crédito a aumentado en un 7% por semestre, para fines de cálculo tomaremos un valor de incremento del crédito del 10% anual.

Para el cálculo de los ingresos de laboratorio de Automatización y Mecatrónica asumimos que se mantiene constante la asignación del 50% durante los diez años con lo cual tenemos la siguiente tabla (6.41)

**Tabla 6.40 Costo proyectado a diez años**

Períodos en	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Años</b>											
<b>Valor</b>	5611,80	5050,62	4489,44	3928,26	3367,08	2805,90	2244,72	1683,54	1122,36	561,18	0,00
<b>Depreciación</b>	0,00	561,18	561,18	561,18	561,18	561,18	561,18	561,18	561,18	561,18	561,18
<b>Costos Fijos</b>	0,00	900,00	972,00	1049,76	1133,74	1224,44	1322,40	1428,19	1542,44	1665,84	1799,10
<b>Costos Variables</b>											
<b>Inflación</b>	8,00%										
<b>Costos totales</b>	<b>5611,80</b>	<b>1580,18</b>	<b>1661,70</b>	<b>1749,74</b>	<b>1844,83</b>	<b>1947,52</b>	<b>2058,43</b>	<b>2178,20</b>	<b>2307,57</b>	<b>2447,28</b>	<b>2598,17</b>

**Tabla 6.41 Ingresos proyectados a diez años**

Períodos en Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Valor del credito</b>	34,5	35,00	38,50	42,35	46,59	51,24	56,37	62,00	68,21	75,03	82,53
<b>Incre. del Credito</b>	10,00%										
<b>Ingreso por credito</b>		4900,00	5390,00	5929,00	6521,90	7174,09	7891,50	8680,65	9548,71	10503,59	11553,94
<b>Asigna. pagar prototipo</b>	50,00%										
<b>Ingreso total</b>	<b>0,00</b>	<b>2450,00</b>	<b>2695,00</b>	<b>2964,50</b>	<b>3260,95</b>	<b>3587,05</b>	<b>3945,75</b>	<b>4340,32</b>	<b>4774,36</b>	<b>5251,79</b>	<b>5776,97</b>

**Tabla 6.42 Flujo neto de caja proyectado a diez años**

Períodos en Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo neto de Caja	-5611,80	869,82	1033,30	1214,76	1416,12	1639,53	1887,32	2162,12	2466,79	2804,51	3178,81

**Tabla 6.43 Calculo del VAN**

Períodos en Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VAN	-5611,80	735,58	738,97	734,66	724,26	709,11	690,30	668,76	645,24	620,37	594,64

Con todos los valores calculados anteriormente obtenemos el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) para la aceptación o no del proyecto.

La fórmula para el cálculo del VAN es la siguiente:

$$VAN = - \text{Inversión} + \frac{FNC1}{(1+i)^1} + \frac{FNC2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNCn}{(1+i)^n}$$

FNC: Flujo Neto de Caja

$i$ : este es igual a Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR)

El TMAR se calcula de la siguiente manera:

$$TMAR : i_1 + f + i_1 \cdot f$$

$i_1$ : premio al riesgo

$f$ : inflación

El premio al riesgo tomado en el proyecto es de 7.5% y la inflación es de 10%, donde el TMAR nos da:

$$TMAR = i = 18.25\%$$

La fórmula para el cálculo del TIR es la siguiente:

$$\text{Inversión} = \frac{FNC1}{(1+i)^1} + \frac{FNC2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNCn + VS}{(1+i)^n}$$

FNC: Flujo Neto de Caja

VS: Valor de Salvamento

Despejando la  $i$  de la ecuación anterior tenemos el TIR.

**Tabla 6.44 VAN y TIR**

<b>VAN</b>	1250,09
<b>TIR</b>	22,96%

Observando que la máquina tiene beneficios ya que si se recupera la inversión y los costos de este módulo didáctico son económicos y a la vez nos permite realizar para demostraciones y prácticas por parte de los estudiantes, es claro que el módulo didáctico de proyecto de grado realizado nos permite realizar una mayor cantidad de procesos aplicables a la industria utilizando el PLC S7 - 1200 de manera real.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. CONCLUSIONES

Terminado la realización del presente proyecto de titulación se han obtenido las siguientes conclusiones:

- El proyecto realizado cumple con los objetivos propuestos de diseñar y construir un sistema automático de dosificación de sólidos utilizando un controlador lógico programable S7-1200 y una interfaz HMI.
- Se emplearon materiales muy utilizados en las industrias, como tolva de acero inoxidable y la banda transportadora de PVC grado alimenticio.
- De acuerdo a nuestro diseño de la tolva se garantiza un flujo continuo del producto, sin atascamientos en la boca de la tolva.
- Los circuitos electrónicos diseñados garantizan la eficiencia en el proceso sin la necesidad de conectar a un PLC, esto permite verificar su correcto funcionamiento.
- Al controlar el recorrido del embolo a través de los sensores magnéticos se garantiza la eficiencia en el proceso de llenado para dos tipos de envases diferentes.

- La cámara web que se incorporó al proceso de visión artificial permite que el usuario obtenga imágenes con alta nitidez para realizar la programación.

## 7.2. RECOMENDACIONES

- Se puede mejorar el proceso de dosificación utilizando sensores de nivel verificando que exista producto en la tolva.
- En procesos industriales se recomienda verificar el voltaje de las fuentes de alimentación con las cuales trabaja el proceso para garantizar que el equipo funcione en óptimas condiciones.
- Para garantizar que el proceso de dosificación sea continuo para dos tipos de envases de diferente forma se recomienda incorporar una cámara web al inicio del proceso.
- Se podrá realizar otro tipo de dosificación, utilizando una Galga extensiométrica reemplazando el sensor capacitivo con el objetivo del realizar el proceso de llenado de acuerdo al peso.

### Bibliografía

- ARDUINO. (26 de Septiembre de 2010). *ARDUINO*. Recuperado el Marzo de 2013, de <http://www.arduino.cc/es/>
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley*. México D.F.: MCGRAW-HILL.
- Habasit. (2009). *Bandas Transportadoras*. Recuperado el Abril de 2013, de <http://www.habasit.com/>
- Millan, S. (1995). *Automatización Neumática y electroneumática*. Barcelona: Marcombo S.A.
- SIEMENS. (Septiembre de 2009). *Manual del sistema de un controlador programable S7-1200*. Recuperado el 5 de Mayo de 2013, de [http://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/aut\\_simatic/Documents/Manual%20de%20sistema%20SIMATIC%20S7-1200%20Ed.2009-11.pdf](http://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/aut_simatic/Documents/Manual%20de%20sistema%20SIMATIC%20S7-1200%20Ed.2009-11.pdf)
- Svoboda, J., & Dorf, R. (2006). *Circuitos Electricos*. México: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR.
- systemens, D. (Agosto de 2010). *Método de Elementos Finitos*. Recuperado el Mayo de 2013, de <http://www.SolidWorks/NonCore/SimulationXpress.com>
- Technologies, K. (Noviembre de 2010). *KeptserverEx Client Connectivity guide for national instruments Labview*. Recuperado el Mayo de 2013, de

[http://www.kepware.com/Support\\_Center/SupportDocuments/KTSM0003\\_2\\_LabVIEW\\_Connectivity\\_Guide.pdf](http://www.kepware.com/Support_Center/SupportDocuments/KTSM0003_2_LabVIEW_Connectivity_Guide.pdf)

- Zienkiewicz, L., & Taylor, R. (1994). *Método de elementos finitos*. México D.F: McGraw-Hill/CIMNE.

# PLANOS

# **ANEXO A1**

## **GUIA DE PRÁCTICA 1**

# **ANEXO A2**

## **GUIA DE PRÁCTICA 2**

# **ANEXO A3**

## **GUIA DE PRÁCTICA 3**