



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**AUTORES: MATA TUTILLO JENNY MERCEDES  
MOLINA JIMÉNEZ WILSON IVAN**

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN  
DIDÁCTICA PARA EL SUMINISTRO Y TRANSPORTE DE MATERIA  
GRANULADA CON INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA Y  
COMUNICACIÓN INALÁMBRICA PARA EL LABORATORIO DE  
MECATRÓNICA DE LA ESPE-L”**

**DIRECTOR: ING. MARCO SINGAÑA  
CODIRECTOR: ING. HÉCTOR TERÁN**

**LATACUNGA, JULIO 2014**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE****CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA****CERTIFICADO**

ING. MARCO SINGAÑA (DIRECTOR)

ING. HÉCTOR TERÁN (CODIRECTOR)

**CERTIFICAN:**

Que el trabajo titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN DIDÁCTICA PARA EL SUMINISTRO Y TRANSPORTE DE MATERIA GRANULADA CON INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA Y COMUNICACIÓN INALÁMBRICA PARA EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA ESPE-L”, realizado por: JENNY MERCEDES MATA TUTILLO y WILSON IVAN MOLINA JIMÉNEZ ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Debido a que constituye un trabajo con alto contenido científico, que aportará al desarrollo profesional y educativo si aprobamos su publicación.

Latacunga, Julio del 2014.

---

Ing. Marco Singaña  
DIRECTOR

---

Ing. Héctor Terán  
CODIRECTOR

# UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

## CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

### DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

JENNY MERCEDES MATA TUTILLO

WILSON IVAN MOLINA JIMÉNEZ

#### DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN DIDÁCTICA PARA EL SUMINISTRO Y TRANSPORTE DE MATERIA GRANULADA CON INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA Y COMUNICACIÓN INALÁMBRICA PARA EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA ESPE-L”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme a las referencias que constan en las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Julio del 2014.

---

Jenny Mercedes Mata Tutillo.

050335176-9

---

Wilson Ivan Molina Jiménez.

050325387-4

# **UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**

## **CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

### **AUTORIZACIÓN**

**NOSOTROS: JENNY MERCEDES MATA TUTILLO  
WILSON IVAN MOLINA JIMÉNEZ**

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del trabajo denominado: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN DIDÁCTICA PARA EL SUMINISTRO Y TRANSPORTE DE MATERIA GRANULADA CON INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA Y COMUNICACIÓN INALÁMBRICA PARA EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA ESPE-L", cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Julio del 2014.

---

Jenny Mercedes Mata Tutillo.

050335176-9

---

Wilson Ivan Molina Jiménez.

050325387-4

## DEDICATORIA

*El presente trabajo fruto de mi esfuerzo y dedicación se lo dedico:*

*A Dios y a la Virgen Santísima, por guiarme y hacerse presente en las personas para darme la fuerza de seguir adelante a pesar de todos los obstáculos que se me presentaron.*

*A la persona más importante en mi vida, aquel ser que me enseñó que la responsabilidad y perseverancia son cualidades de las personas de bien, aquella que ha permanecido conmigo en las buenas y en las malas y que no sólo es mi mejor amiga sino también mi ejemplo a seguir y mi inspiración para lograr mi objetivo. Por eso y mucho más este proyecto está dedicado a mi querida madre Nelly Tutillo.*

*Jenny.*

*Al terminar una etapa más de mi vida, dedico este trabajo a todos aquellas personas que con mucho cariño y amor hicieron todo lo necesario y más para que yo pudiera alcanzar mis sueños, por alentarme siempre a continuar adelante aun cuando parecía que el camino se hacía cada vez más corto y sinuoso, para ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento; a mis padres por darme la dicha de llegar a la vida y cada uno de sus sacrificios para darme siempre lo necesario, a mi Dios mi guía y apoyo, a mis abuelitos, hermanos, novia, tíos, primos y amigos. Este trabajo de tesis se los dedico a cada uno de ustedes.*

*Gracias por estar siempre a mi lado.*

**Ivan Molina**

## AGRADECIMIENTO

*Quiero expresar un profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron posible este gran logro, de manera especial:*

*A mi adorada madre Nelly Tutillo porque gracias a su esfuerzo y cariño logro formar a la persona que soy... Gracias mamita.*

*Como no agradecer a mis queridos docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga quienes me brindaron sus sabios conocimientos y su valioso tiempo, de manera especial a mi director Ing. Marco Singaña y codirector Ing. Héctor Terán.*

*A mi novio, Diego Ramos por ser un pilar importante en mi vida, darme todo su amor y apoyo incondicional día a día, quien con cariño compartió mi angustia y me brindó las fuerzas para no desistir y terminar esta etapa de mi vida, amor gracias por todo.*

*A papito Julio y mamita Clemencia, por todo el amor que me han brindado, estar pendientes siempre de mi bienestar y tratarme siempre no como su nieta sino como una hija.*

*A Don José y Sra. Carmita por sus sabios consejos y el cariño demostrado.*

*A mis píojitos porque con su ternura e inocencia me incentivaron a seguir adelante, contagiándome de su sonrisa y entusiasmo.*

*A mi amigo Ing. Santiago Pacheco quien brindó una ayuda desinteresada en el proyecto... de corazón mil gracias.*

*A mis queridos amigos de carrera y mis amigos que comparten el amor por la danza porque sin ese apoyo esto sería sólo un sueño, me emociona saber que están ahí para compartir mis triunfos y alentarme en los momentos difíciles. Muchas gracias por ser como son.*

*Jenny*

*Sin dudarlo mi gratitud sincera e infinita a cada una de las personas que han depositado en mi su cariño y confianza para afianzarme, primero como persona y ahora como profesional, para ellos mi profundo afecto; a mis padres Pedro y Aida, mis hermanos Xavi y Dany, Tías Norma y Paty, mis primitas Dañe y Pame, mi novia Yajaira y a cada uno de los miembros de mi familia mi mayor fortaleza.*

*A quienes me han brindado una mano para levantarme cuando los demás ni siquiera habían notado que he caído; mis amigos que siempre recordare y los que día a día me recuerdan que no deje de sonreír.*

*Un reconocimiento especial; a los profesionales que conforman la noble institución de la ESPE, a mis directores de tesis, a mi compañera Jenny con quien llegamos a la culminación de este proyecto, para mi amigo Santiago un profundo Dios le Pague por toda su ayuda.*

*Para cada uno de ustedes mi gratitud y cariño.*

**Ivan Molina**



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA .....	i
CERTIFICADO .....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT .....	xxii
PRESENTACIÓN .....	xxiii

### CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	1
1.1. MATERIA GRANULADA .....	1
1.2. ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS GRANULADOS.....	2
1.2.1. DISPOSITIVOS DE ALMACENAMIENTO: TOLVAS Y SILOS .....	2
1.3. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN .....	4
1.3.1. DOSIFICADOR DE SÓLIDOS .....	4
1.3.2. TIPOS DE DOSIFICADORES .....	4
a. DOSIFICADOR VOLUMÉTRICO.....	5
a.1. Dosificador volumétrico por vasos telescópicos.....	5
a.2. Dosificador por tornillos sinfín.....	6
a.3. Dosificador por cinta.....	6
a.4. Dosificador por vibración .....	7
a.5. Dosificador por válvulas rotativas .....	8

b.	DOSIFICADOR GRAVIMÉTRICO .....	10
b.1.	Dosificación por pérdida de peso.....	10
b.2.	Dosificación por ganancia de peso.....	11
1.4.	SISTEMAS ELECTRÓNICOS .....	12
1.4.1.	SENSORES DE PROXIMIDAD. ....	12
a.	SENSOR INDUCTIVO.....	13
b.	SENSOR CAPACITIVO.....	15
c.	SENSOR ULTRASÓNICO.....	17
d.	SENSOR INFRARROJO. ....	20
1.4.2.	TRANSDUCTORES DE FUERZA .....	22
a.	GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS .....	22
b.	CELIDAS DE CARGA.....	24
1.4.3.	CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES .....	26
1.5.	BANDAS TRANSPORTADORAS.....	31
1.5.1.	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	31
1.5.2.	TIPOS DE BANDAS TRANSPORTADORAS .....	32
1.5.3.	ELEMENTOS DE LA BANDA TRANSPORTADORA.....	33
1.6.	MOTORES Y SERVOMOTORES.....	34
1.6.1.	MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA .....	34
1.6.2.	SERVOMOTORES.....	36
1.7.	SISTEMAS DE CONTROL.....	37
1.7.1.	TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL.....	38
1.8.	COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.....	39
1.8.1.	PROTOCOLO INALÁMBRICO ZIGBEE .....	39
1.8.2.	COMPARACIÓN DE ZIGBEE CON BLUETOOTH Y WI-FI .....	42
1.9.	INTERFAZ HUMANO MÁQUINA.....	43
1.9.1.	FUNCIONES DE UN HMI .....	44
1.9.2.	MODELOS DE INTERFAZ HUMANO MÁQUINA.....	44

1.10. HERRAMIENTAS DE SOFTWARE .....	45
1.10.1. SOFTWARE PARA DISEÑO MECÁNICO .....	46
1.10.2. SOFTWARE PARA DISEÑO ELECTRÓNICO Y SIMULACIÓN. ....	49
1.10.3. SOFTWARE PARA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.....	49
1.10.4. SOFTWARE HMI.....	50

## **CAPÍTULO II**

DISEÑO DE LA ESTACIÓN DIDÁCTICA.....	52
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	52
2.2. DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO .....	53
2.2.1. CRITERIOS DE DISEÑO .....	53
2.2.2. FACTOR DE SEGURIDAD.....	54
2.2.3. DISEÑO DE LA BANDA TRANSPORTADORA.....	54
2.2.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA.....	75
2.2.5. DISEÑO DE LA TOLVA.....	77
2.2.6. DISEÑO DEL SOPORTE DE LA TOLVA.....	79
2.2.7. DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO .....	80
2.2.8. DISEÑO DEL SISTEMA DE PESAJE.....	82
2.2.9. DISEÑO DEL SISTEMA DE EMPUJE. ....	85
2.2.10. DISEÑO DE LAS VARILLAS GUÍA.....	85
2.2.11. DISEÑO DE LA MESA DE LA ESTACIÓN DIDÁCTICA .....	86
2.3. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO .....	89
2.3.1. REQUERIMIENTOS GENERALES .....	89
2.3.2. SELECCIÓN DE SENSORES .....	90
2.3.3. SELECCIÓN DE ACTUADORES .....	93
2.3.4. SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR.....	97
2.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y COMUNICACIÓN INALÁMBRICA .....	99

2.4.1.	COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.....	99
2.4.2.	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE .....	101
2.5.	DISEÑO DEL HMI .....	102

### **CAPÍTULO III**

	IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN DIDÁCTICA .....	104
3.1.	INTRODUCCIÓN .....	104
3.2.	IMPLEMENTACIÓN MECÁNICA.....	104
3.2.1.	CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA MESA.....	105
3.2.2.	CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA BANDA TRANSPORTADORA .....	107
3.2.3.	CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO.....	108
3.2.4.	CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE EMPUJE .....	110
3.2.5.	CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PESAJE .....	112
3.2.6.	CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL CONJUNTO DE GUÍAS.....	113
3.2.7.	EL SISTEMA DE SUMINISTRO Y TRANSPORTE DE MATERIA GRANULADA IMPLEMENTADA.....	114
3.3.	IMPLEMENTACIÓN ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA.....	114
3.3.1.	IMPLEMENTACIÓN ELECTRÓNICA.....	114
3.3.2.	MONTAJE DE ELEMENTOS .....	117
3.4.	CALIBRACIÓN CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN. ....	121
3.4.1.	CALIBRACIÓN SENSORES INFRARROJOS. ....	121
3.4.2.	MANIPULACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS XBEE .....	121
3.4.3.	PROGRAMACIÓN. ....	125

## **CAPÍTULO IV**

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	135
4.1. INTRODUCCIÓN .....	135
4.2. PRUEBAS A LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS .....	135
4.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PLC .....	136
4.4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL HMI.....	136
4.5. PRUEBAS DE COMUNICACIÓN MÓDULOS XBEE .....	137
4.6. PRUEBAS DE COMUNICACIÓN XBEE-PLC.....	138
4.6.1. ANÁLISIS DE LA TRAMA DE DATOS .....	139
4.7. PRUEBAS DEL MOVIMIENTO DE LA BANDA TRANSPORTADORA.....	140
4.7.1. SENTIDO DE GIRO .....	140
4.7.2. VELOCIDAD .....	140
4.8. PRUEBAS DEL SISTEMA DE SUMINISTRO.....	141
4.8.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE SUMINISTRO.....	144
4.9. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	146
4.10. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	147
4.11. ANÁLISIS FINANCIERO DE COSTOS .....	149

## **CAPÍTULO V**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	151
5.1. CONCLUSIONES.....	151
5.2. RECOMENDACIONES .....	153
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	155
GLOSARIO.....	160
ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Lenguajes de Programación .....	28
Tabla 1.2: Estándares inalámbricos .....	43
Tabla 1.3: Familia de productos Autodesk, Inc .....	47
Tabla 1.4: Familia de productos PTC. ....	47
Tabla 1.5: Familia de productos Dassault Systemes.....	48
Tabla 1.6: Familia de productos UGS. ....	48
Tabla 2.1: Tipo de Unión de una estructura. ....	57
Tabla 2.2: Tabla de coeficiente de rozamiento de rodillos. ....	69
Tabla 2.3: Especificaciones para cadenas eslabonadas de acero .....	76
Tabla 2.4: Características técnicas del sensor infrarrojo. ....	90
Tabla 2.5: Características técnicas del sensor ultrasónico.....	91
Tabla 2.6: Características técnicas del motor de la banda transportadora .....	94
Tabla 2.7: Características técnicas del servomotor de la compuerta.....	96
Tabla 2.8: Características técnicas del servomotor del sistema de empuje.....	97
Tabla 3.1: Distribución de pines cable principal .....	119
Tabla 3.2: Pesos patrones vs mV .....	127
Tabla 4.1: Trama de recepción .....	139
Tabla 4.2: Datos para el frasco grande .....	141
Tabla 4.3: Datos para el frasco pequeño .....	143
Tabla 4.4: Análisis del sistema de suministro.....	144
Tabla 4.5: Equipo del Laboratorio de Mecatrónica.....	149
Tabla 4.6: Equipo y material proporcionado por los estudiantes .....	149
Tabla 4.7: Costo de la estación didáctica.....	150

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ejemplos de materia granulada.....	1
Figura 1.2: Dispositivos de almacenamiento.....	3
Figura 1.3: Formas de flujo en el interior de una tolva .....	3
Figura 1.4: Dosificador volumétrico.....	5
Figura 1.5: Dosificador por tornillo sinfín.....	6
Figura 1.6: Dosificador de cinta .....	7
Figura 1.7: Dosificador por vibración con inclinación .....	8
Figura 1.8: Tipos de válvulas rotativas.....	9
Figura 1.9: Diseños de los rotores de las válvulas .....	9
Figura 1.10: Dosificador por pérdida de peso .....	11
Figura 1.11: Dosificación por ganancia de peso .....	11
Figura 1.12: Etapas de un sistema electrónico .....	12
Figura 1.13: Sensor de proximidad inductivo .....	13
Figura 1.14: Estructura de un sensor inductivo.....	13
Figura 1.15: Principio de funcionamiento de sensor inductivo.....	14
Figura 1.16: Aplicaciones del sensor inductivo .....	15
Figura 1.17: Sensor de proximidad capacitivo .....	15
Figura 1.18: Estructura de un sensor capacitivo .....	16
Figura 1.19: Respuesta de los sensores capacitivos .....	16
Figura 1.20: Aplicaciones del sensor capacitivo.....	17
Figura 1.21: Sensores de proximidad ultrasónicos.....	17
Figura 1.22: Estructura de un sensor ultrasónico.....	18
Figura 1.23: Principio de funcionamiento de un sensor ultrasónico.....	19
Figura 1.24: Margen de detección y zona ciega de un sensor ultrasónico .....	19
Figura 1.25: Aplicaciones del sensor ultrasónico .....	20
Figura 1.26: Sensor de barrera infrarrojo .....	21

Figura 1.27: Sensor auto reflectivo .....	21
Figura 1.28: Sensor reflectivo .....	22
Figura 1.29: Aplicaciones del sensor infrarrojo .....	22
Figura 1.30: Estructura y forma de una galga extensiométrica.....	23
Figura 1.31: Impedancia de las celdas de carga.....	25
Figura 1.32: Tipos de celdas de carga.....	25
Figura 1.33: Programa IL .....	28
Figura 1.34: Programa LADDER.....	29
Figura 1.35: Programa FBD.....	29
Figura 1.36: Programa AS .....	29
Figura 1.37: Actuador electrónico .....	31
Figura 1.38: Banda transportadora .....	31
Figura 1.39: Clasificación de las bandas dependiendo de su posición.....	33
Figura 1.40: Motor de corriente continua .....	35
Figura 1.41: Servomotores .....	36
Figura 1.42: Posición del Servomotor .....	36
Figura 1.43: Sistema de control .....	38
Figura 1.44: Sistema de control en lazo abierto .....	38
Figura 1.45: Sistema de control en lazo cerrado.....	39
Figura 1.46: Tipos de dispositivos ZigBee .....	40
Figura 1.47: Interfaz Humano Máquina.....	43
Figura 1.48: Pantalla principal de Proteus.....	49
Figura 1.49: Programa X-CTU .....	50
Figura 1.50: Entorno Gráfico de un HMI .....	51
Figura 2.1: Estación didáctica que se pretende diseñar y construir.....	53
Figura 2.2: Dimensiones del cuadro de la estructura soportante.....	55
Figura 2.3: Dimensiones de la estructura portante.....	57
Figura 2.4: Estructura de soporte.....	58



Figura 2.5: Tipos de arco de contacto del tambor o polea motriz .....	59
Figura 2.6: Tambor motriz.....	60
Figura 2.7: Dimensiones del tambor motriz.....	60
Figura 2.8: Tambor de retorno .....	61
Figura 2.9: Dimensiones del tambor de retorno .....	61
Figura 2.10: Tipos de empalme en una cinta transportadora .....	62
Figura 2.11: Tensor a tornillo .....	63
Figura 2.12: Dimensiones de los rodillos medios .....	63
Figura 2.13: Banda Transportadora .....	64
Figura 2.14: Dimensiones de frasco grande.....	65
Figura 2.15: Masa del tambor motriz.....	68
Figura 2.16: Masa del tambor de retorno .....	68
Figura 2.17: Masa de rodillo medio .....	68
Figura 2.18: Diagrama de cuerpo libre de la banda transportadora .....	73
Figura 2.19: Diagrama con carga puntual .....	73
Figura 2.20: Diagrama de fuerzas y momentos de la banda transportadora .....	75
Figura 2.21: Cadena .....	76
Figura 2.22: Sistema de transmisión piñón-cadena .....	77
Figura 2.23: Dimensiones de la tolva .....	77
Figura 2.24: Dispositivo de almacenamiento o tolva .....	78
Figura 2.25: Masa de la tolva.....	80
Figura 2.26: Dimensiones del soporte de la tolva.....	80
Figura 2.27: Sistema de suministro.....	81
Figura 2.28: Base del sistema de suministro.....	81
Figura 2.29: Sistema de suministro sobre su base.....	82
Figura 2.30: Sistema de pesaje .....	82
Figura 2.31: Base del sistema de pesaje .....	83
Figura 2.32: Tapa en el sistema de pesaje .....	83

Figura 2.33: Fuerza ideal .....	84
Figura 2.34: Sistema de empuje .....	85
Figura 2.35: Varillas guía .....	86
Figura 2.36: Estructura base de mesa .....	87
Figura 2.37: Tensión de Von Mises de la estructura de la mesa .....	87
Figura 2.38: Deformación estática en la estructura de soporte .....	88
Figura 2.39: Tapa de la mesa .....	89
Figura 2.40: Sensor infrarrojo .....	90
Figura 2.41: Circuito acondicionador de un sensor infrarrojo .....	91
Figura 2.42: Sensor Ultrasónico.....	92
Figura 2.43: Celda de carga .....	92
Figura 2.44: Amplificador de instrumentación AD620AN.....	92
Figura 2.45: Circuito de acondicionamiento de la celda de carga .....	93
Figura 2.46: Motor de la banda transportadora .....	94
Figura 2.47: Controlador VNH5019.....	95
Figura 2.48: Circuito acondicionador del sensor ultrasónico .....	97
Figura 2.49: Distribución de pines Atmega 16 .....	98
Figura 2.50: Módulo XBEE .....	100
Figura 2.51: Distribución de pines de un módulo XBEE .....	101
Figura 2.52: PLC Xinje XCM-32T-E .....	101
Figura 2.53: Pantalla táctil .....	102
Figura 3.1: Módulo didáctico diseñado en SolidWorks.....	104
Figura 3.2: Sistema mecánico inalámbrico.....	105
Figura 3.3: Ensamblaje de la mesa.....	106
Figura 3.4: Mesa de la estación didáctica .....	106
Figura 3.5: Partes de la Banda transportadora .....	107
Figura 3.6: Banda transportadora ensamblada .....	108
Figura 3.7: Partes del sistema de suministro .....	109

Figura 3.8: Compuerta del sistema de suministro .....	109
Figura 3.9: Ingreso de producto al sistema de suministro .....	110
Figura 3.10: Sistema de suministro ensamblado .....	110
Figura 3.11: Partes del sistema de empuje .....	111
Figura 3.12: Sistema de empuje implementado .....	111
Figura 3.13: Partes del sistema de pesaje .....	112
Figura 3.14: Sistema de pesaje ensamblado e implementado .....	112
Figura 3.15: Partes del conjunto de guías.....	113
Figura 3.16: Conjunto de guías implementado.....	113
Figura 3.17: Estación didáctica implementada.....	114
Figura 3.18: Comprobación de los esquemas electrónicos en protoboard .....	114
Figura 3.19: Placa de la tarjeta de control.....	115
Figura 3.20: Placa de la tarjeta de comunicación.....	116
Figura 3.21: Tarjetas construidas.....	116
Figura 3.22: Montaje de elementos eléctricos y electrónicos .....	117
Figura 3.23: Cable desde la tarjeta de control.....	117
Figura 3.24: Cable desde los sensores.....	118
Figura 3.25: Cable hembra y macho .....	118
Figura 3.26: Blindaje manual del cable .....	118
Figura 3.27: Cableado del tablero de control .....	120
Figura 3.28: Tablero de control .....	120
Figura 3.29: Tornillo de regulación del sensor infrarrojo.....	121
Figura 3.30: Transmisión inalámbrica de la estación didáctica.....	122
Figura 3.31: Ventana de reconocimiento módulo Xbee .....	123
Figura 3.32: Ventana de comunicación efectiva.....	123
Figura 3.33: Ventana de comunicación errónea.....	124
Figura 3.34: Configuración de módulos XBee.....	124
Figura 3.35: Diagrama de flujo del sistema.....	126

Figura 3.36: Pesos patrones vs mV .....	128
Figura 3.37: Acceso a la configuración de modo de comunicación libre .....	130
Figura 3.38: Configuración parámetros de recepción de datos .....	130
Figura 3.39: Colocación Marca Especial y longitud de la trama .....	131
Figura 3.40: Selección de la velocidad en el puerto serial 2.....	131
Figura 3.41: Diagrama de flujo del funcionamiento del HMI .....	132
Figura 3.42: Pantalla principal del HMI .....	133
Figura 3.43: Ventana de información .....	133
Figura 3.44: Ventana de variables .....	134
Figura 3.45: Ventana de Proceso .....	134
Figura 4.1: Tablero de control de la estación didáctica .....	135
Figura 4.2: Verificación del encendido del PLC.....	136
Figura 4.3: Pruebas del funcionamiento de la comunicación HMI-PLC .....	137
Figura 4.4: Trama de datos recibidos.....	137
Figura 4.5: Trama de datos a enviar .....	138
Figura 4.6: Recepción de datos habilitados .....	139
Figura 4.7: Datos recibidos en los registros del PLC.....	139
Figura 4.8: Suministro de materia granulada .....	141
Figura 4.9: Frascos grandes con desperdicios por cada tipo de grano .....	142
Figura 4.10: Frascos grandes que no cumplen con la medida deseada.....	142
Figura 4.11: Frascos grandes suministrados correctamente .....	142
Figura 4.12: Frascos pequeños con desperdicios por cada tipo de grano.....	143
Figura 4.13: Frascos pequeños que no cumplen con la medida deseada.....	143
Figura 4.14: Frascos pequeños suministrados correctamente .....	144
Figura 4.15: Porcentaje de frascos fallidos .....	145
Figura 4.16: Regla de decisión para prueba de hipótesis .....	148
Figura 4.17: Estación didáctica disponible en el mercado.....	150

## RESUMEN

Los avances tecnológicos y desarrollo de nuevas técnicas en el campo de la automatización industrial de procesos permiten integrar en un mismo conjunto herramientas valiosas; y desarrollarlas para fines educativos donde lo relevante de adquirir nuevos conocimientos es llevarlos al campo práctico. El presente proyecto muestra el diseño y construcción de una estación didáctica para el suministro y transporte de materia granulada en recipientes de dos tamaños, el sistema trabaja con comunicación inalámbrica, que transfiere información entre una tarjeta procesadora de señales del sistema, hasta otra tarjeta de comunicación conectada al puerto serial de un PLC, encargado de controlar el proceso y enviar información a los elementos actuadores del sistema, operado y monitoreado por el usuario desde una interfaz gráfica HMI provista en un Touch Panel. En cuanto a los elementos de control, se emplea un PLC de marca Xinje en el cual se configura un puerto de comunicación de tipo serial para establecer una comunicación bidireccional, mientras que para el diseño electrónico se hace uso de un microcontrolador AVR que cumple la función de integrar la señal de cada uno de los sensores y actuadores, estableciendo tramas de envío y recepción; para finalmente ser llevada esta trama hasta el PLC mediante módulos de comunicación inalámbrica XBEE. Así, se obtiene una estación modular para el suministro y transporte de materia granulada monitoreada desde una interfaz y comunicada vía inalámbrica, con características aún mejores en relación costo-beneficio de productos que se pueden encontrar en el mercado y poniéndolo a disposición de los alumnos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.

**Palabras claves:** Comunicación inalámbrica, comunicación serial, interfaz gráfica, microcontrolador AVR, PLC Xinje .

## ABSTRACT

Technological advances and development of new techniques in the field of process industrial automation can be integrated in one single group with valuable tools; and developed for educative purposes, the relevant of acquiring new knowledge is to take it to the practice. This work presents the design and construction of a didactic station for the supply and transport of granular matter in recipients of two sizes, the system works with wireless communication, that transfer information among a processor board of signs of the system, until another card of connected communication to the serial port of a PLC, taken charge of the control the process and to send information to the elements actuators of the system, operated and monitored for the user from a graphic interface HMI provided in a Touch Panel. As for the control elements, the Xinje PLC is used, which requires a serial-type communication port in order to establish a bidirectional communication and for the electronic design, an AVR microcontroller is used which has the function of integrate signals of a sensors and actuators, setting sending and receiving frames; finally, this data is taken to the PLC by means of XBEE communication modules. So, is gotten a modular station for the supply and transport of granular matter was obtained which is controlled from an interface with wireless communication, with better characteristics related to the cost-benefit relationship of the products that can be found in the market and making it available to students of “Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE” extension Latacunga.

**Keywords:** Wireless communication, serial communication, graphic interface, AVR microcontroller, Xinje PLC.

## PRESENTACIÓN

En el presente proyecto se realiza el diseño y construcción de una estación didáctica para el suministro y transporte de materia granulada con interfaz humano-máquina y comunicación inalámbrica para el laboratorio de Mecatrónica de la ESPE-L

En el Capítulo I se encuentra información referente a materia granulada, sistemas de dosificación e información necesaria para el desarrollo del proyecto.

En el Capítulo II se detalla el diseño para los sistemas mecánico, eléctrico – electrónico, control y comunicación inalámbrica; donde se determinan algunos parámetros y la selección de los componentes para cumplir funciones determinadas.

En el Capítulo III se procede con la implementación de los sistemas diseñados en el capítulo anterior y se realiza la programación de cada uno de los equipos.

En el Capítulo IV se realizan las pruebas y análisis del funcionamiento, además se muestran los alcances, limitaciones y la factibilidad del proyecto.

En el Capítulo V se muestran las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

Se incluye anexos y referencias bibliográficas para profundizar en el tema.

# CAPÍTULO I

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 1.1. MATERIA GRANULADA

Jaeger, Nagel & Behringer (1996) manifiestan que la materia granulada es aquella que está formada por un conjunto de partículas macroscópicas sólidas lo suficientemente grandes para que la única fuerza de interacción entre ellas sea la de fricción.

En la Figura 1.1 se muestra algunos ejemplos de materia granulada que pueden ser:

- Alimentos (granos, cereales, frutas,...).
- Productos farmacéuticos (píldoras, polvos,...).
- Material de construcción (arena, grava, cemento,...).
- Industrias (minas, procesamiento de plásticos,...).



**Figura 1.1: Ejemplos de materia granulada: píldoras, chocolates, esferas de plástico, grava, lentejas y semillas de ajonjolí.**

**Fuente:** Jenny Mata, Ivan Molina.



Zuriguel Ballaz (2005) explica que el tamaño de las partículas que conforman un medio granular puede abarcar varios órdenes de magnitud: desde el orden del milímetro (granos de arena y arroz) hasta el orden del metro (coches y rocas).

A los sistemas de partículas de tamaño menor que 0,3 mm se les denomina “polvos” y tienen propiedades específicas, las más importantes son la humedad y la carga electrostática que comienzan a ser de magnitud comparable al peso de los granos. Por eso, muchos polvos tienen un comportamiento gobernado por fuerzas cohesivas.

No se considera como un “medio granular” ningún sistema de partículas cuyo tamaño sea mayor que varios metros, porque en laboratorio sería difícil reunir el número de elementos suficientes para observar fenómenos colectivos. Sin embargo, en la naturaleza existen algunas de esas agrupaciones: por ejemplo, los anillos de los planetas pueden considerarse un medio granular.

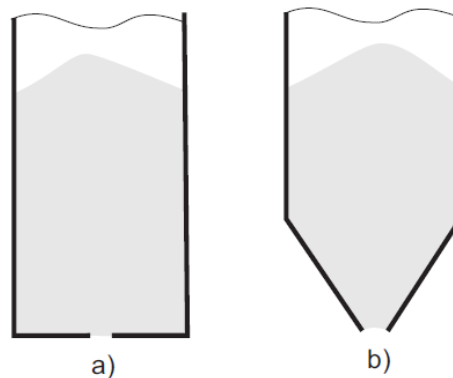
## **1.2. ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS GRANULADOS**

### **1.2.1. DISPOSITIVOS DE ALMACENAMIENTO: TOLVAS Y SILOS**

Mankoc (2009) sostiene que el almacenamiento de materia granulada se lleva a cabo habitualmente en silos, la utilización de éstos es parte integral del acopio tanto en la agricultura como en la industria.

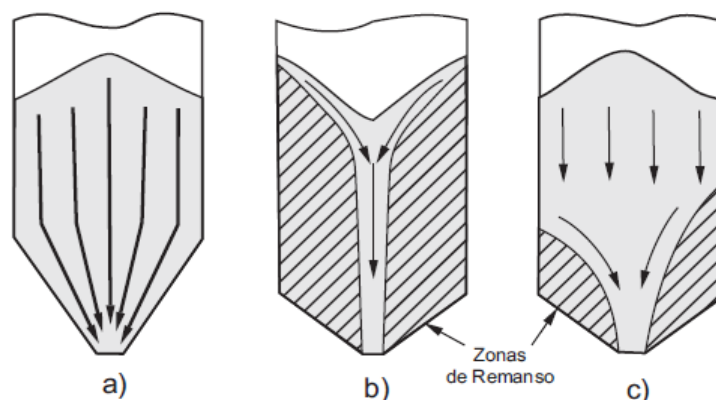
Existen diferentes tipos de silos, los más usuales son los de torre que son estructuras generalmente cilíndricas y fabricadas en hormigón, planchas de acero o acero corrugado, su carga se realiza por la parte superior y se vacían a través de un orificio en la base o en el lateral.

La forma de la base es un detalle importante a considerarse (Figura 1.2), las más habituales son la de base plana, en cuyo caso se llama silo, las paredes laterales mantienen una separación constante en toda la vertical; y las tolvas, que a partir de una cierta altura las paredes del silo se estrechan con un cierto ángulo hasta conformar el orificio de salida.



**Figura 1.2: Dispositivos de almacenamiento: silo (a) y tolva (b).**

En el almacenamiento de materia granulada se desea que la salida del material tenga lugar en el mismo orden en el que fue introducido (lo cual es especialmente importante para materiales perecederos). Por tanto el flujo de material en el interior del silo es importante (Figura 1.3).



**Figura 1.3: Formas de flujo en el interior de una tolva. a) Flujo másico, b) Flujo interno y c) Flujo mixto.**

Tomando en cuenta estas consideraciones el flujo puede ser:

**Flujo másico:** Las posiciones relativas de las partículas permanecen constante durante la descarga, todo el material cae sin que queden zonas de remanso.

**Flujo interno:** El flujo de material en el interior del silo es en forma de embudo, se dan algunas zonas de estancamiento cerca de las paredes, el medio se mueve muy poco o nada.

**Flujo mixto:** Es un caso intermedio entre los flujos anteriores, cuya parte superior del silo el flujo es másico para transformarse en un flujo interno cerca del orificio de salida.

### **1.3. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN**

Trata de cualquier sistema electromecánico que entrega determinada porción o separa en cantidades exactas un material o producto ya sea sólido, líquido o acuoso. La función del dosificador es fraccionar de forma precisa y autónoma el producto a envasar.

#### **1.3.1. DOSIFICADOR DE SÓLIDOS**

Es un dispositivo utilizado para transferir sólidos a velocidad controlada de un contenedor a otro. Esta transferencia puede ser desde un silo o depósito a un equipo donde va a tener lugar un proceso.

#### **1.3.2. TIPOS DE DOSIFICADORES**

En esta sección se detallan los tipos de dosificadores para el manejo de sólidos tomando en cuenta la teoría de (Gutiérrez, 2011), éstos pueden clasificarse en dos categorías: volumétricos y gravimétricos.

## a. DOSIFICADOR VOLUMÉTRICO

Un dosificador volumétrico descarga un cierto volumen de material por unidad de tiempo, se puede conseguir una precisión entre 2 y 5% con la mayoría de diseños y tiene como desventaja no detectar cambios en la densidad de los materiales a dosificar.

Algunos tipos de dosificadores volumétricos se detallan a continuación:

### a.1. Dosificador volumétrico por vasos telescópicos

Consta de un número determinado de vasos telescópicos que contienen la cantidad de producto que se ubican en un envase como se observa en la Figura 1.4, la cantidad de vasos depende directamente del producto a envasar y las dimensiones del envase final que los contendrá.

Este dosificador está diseñado para productos sólidos homogéneos tales como azúcar, garbanzos, porotos, maíz, lentejas, confites, pan rallado, arroz, café en granos, sal, etc.



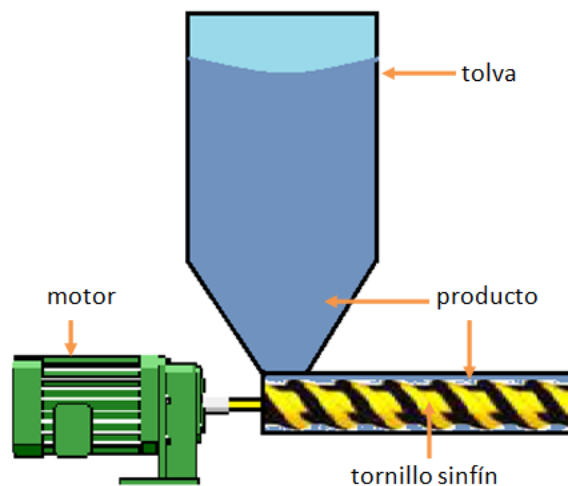
**Figura 1.4: Dosificador volumétrico.**

**Fuente:** Neumopack, (2012). Recuperado de: [http://www.neumopack.com/sistemas\\_de\\_dosificacion.htm](http://www.neumopack.com/sistemas_de_dosificacion.htm)

### a.2. Dosificador por tornillos sinfín

Es uno de los métodos más sencillos y antiguos para transportar materiales, consta de un tornillo sinfín que se puede acoplar fácilmente a las salidas de las tolvas o silos. El material o producto colocado en el cuerpo del transportador se mueve a lo largo del espiral por la rotación del tornillo (Aguinsaca, 2008).

En la Figura 1.5 se puede observar un dosificador o transportador por tornillo sinfín.



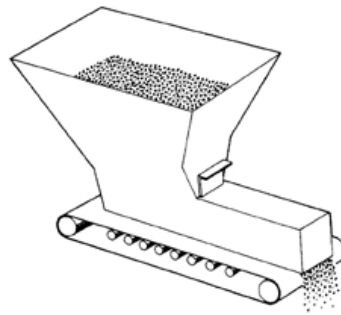
**Figura 1.5: Dosificador por tornillo sinfín.**

**Fuente:** Jenny Mata, Ivan Molina.

Se recomienda este tipo de dosificador en aplicaciones donde los sólidos no sean muy gruesos y la longitud de transporte no sea larga.

### a.3. Dosificador por cinta

Gutiérrez, M. (2011) explica que un dosificador de cinta (Figura 1.6) se emplea cuando la boca de salida del silo o tolva es muy grande, se puede utilizar con sólidos friables, gruesos, fibrosos, elásticos, pegajosos o muy compactados.



**Figura 1.6: Dosificador de cinta.**

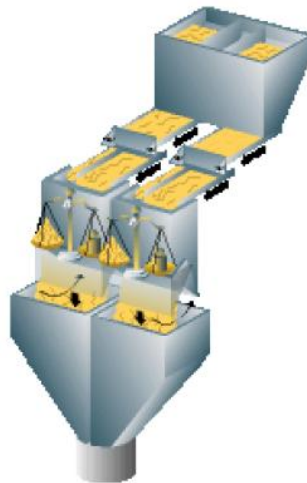
La cinta suele estar formada por una tela recubierta de un polímero, están disponibles en anchos hasta los dos metros y longitudes no restringidas; montada sobre una lámina deslizante o rodillos. Si la descarga sobre la cinta no está bien diseñada, puede causar compactación de sólido y desgaste de la cinta.

#### **a.4. Dosificador por vibración**

Los dosificadores vibratorios constan de un canal de transporte soportado en apoyos o muelles y un sistema de impulso. Estos dosificadores poseen baja precisión en el control del flujo, poco maltrato al sólido, fácil limpieza y pueden trabajar con materiales calientes.

Tienen una amplia gama de aplicaciones en la mayoría de los procesos industriales donde se requiera la dosificación de materiales granulados o polvos con ajuste manual (esparcir sal, azúcar, maní molido o confituras sobre líneas de biscochos, snack, helados, etc.), o en forma automática alimentando molinos (controlados por la variación de corriente), balanzas, máquinas de empaque.

En la Figura 1.7 puede observarse un dosificador por vibración con inclinación.



**Figura 1.7: Dosificador por vibración con inclinación.**

**Fuente:** Morales, E (2010). Diseño y construcción de un dosificador y empacador. ESPE. Recuperado de: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4397/1/T-ESPEL-0735.pdf>

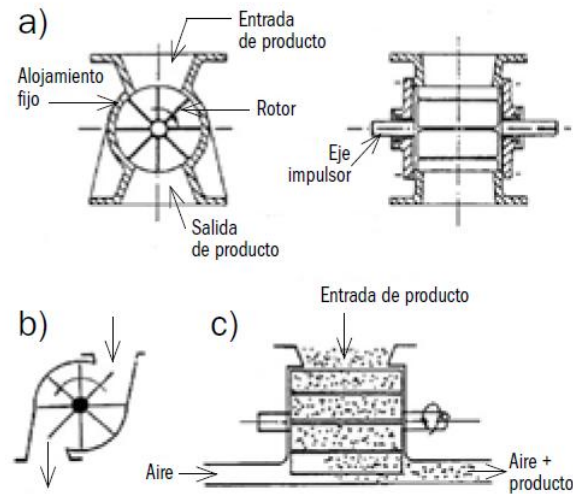
#### **a.5. Dosificador por válvulas rotativas**

Las válvulas rotativas aparte de ser un tipo de dosificador volumétrico se las pueden usar como selladores de gases a presión para pasar sólidos de un ambiente presurizado a otro.

Este tipo de dosificador es recomendable en aplicaciones cuya boca de descarga sea de tamaño pequeño, ya sean circulares, rectangulares o cuadradas. Son útiles cuando se descargan materiales a un sistema de transporte neumático y se quiere un sellado para prevenir flujos de aire a través de la boca de descarga del contenedor.

Las válvulas rotativas son de diseño sencillo y consisten en un rotor de palas en un alojamiento fijo, la velocidad de descarga viene determinada por la velocidad de giro de las paletas o celdas de la válvula. Hay tres tipos generales de válvulas rotativas (Figura 1.8):

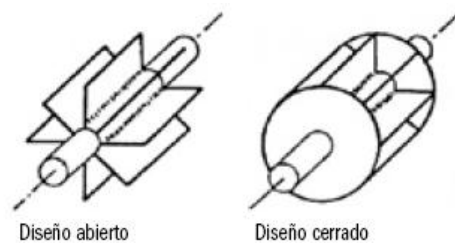
- Salida estándar.
- Salida tangencial.
- Salida con aire comprimido.



**Figura 1.8: Tipos de válvulas rotativas: a) salida estándar, b) salida tangencial, c) salida con aire comprimido.**

**Fuente:** Gutiérrez, M. (2011). Introducción al Control de Dosificación para Sólidos. En Ingeniería Química. (pág. 54). Ed. Lleal S.A.

Los rotores de las válvulas pueden ser de dos diseños: abierto y cerrado (Figura 1.9).



**Figura 1.9: Diseños de los rotores de las válvulas.**

**Fuente:** Gutiérrez, M. (2011). Introducción al Control de Dosificación para Sólidos. En Ingeniería Química. (pág. 54). Ed. Lleal S.A.

Los diseños abiertos del rotor son mucho más económicos que los diseños cerrados, pero presentan las siguientes desventajas:

- Con productos abrasivos, el desgaste del extremo del alojamiento es posible, ya que está en contacto permanente con ellos.
- El diseño abierto no es tan robusto como el cerrado, ya que sólo un extremo de las palas está unido al eje de transmisión.



## **b. DOSIFICADOR GRAVIMÉTRICO**

Un dosificador gravimétrico controla el flujo de material mediante el peso, por lo que necesita una báscula. La dosificación gravimétrica proporciona una mayor precisión que la dosificación volumétrica. Además de mejorar la calidad de procesamiento, los dosificadores gravimétricos se usan cuando se requieren precisiones inferiores al 5%, cuando la densidad no es la misma o el peso del material a utilizar debe ser registrado.

También conocidos como dosificadores por peso, los dosificadores gravimétricos son una tecnología fundamental idónea para la dosificación de material a granel en muchos procesos en continuo y por lotes; el sistema gravimétrico en continuo controla el peso por unidad de tiempo, mientras que el sistema gravimétrico por lotes simplemente se controla el peso del material dosificado. Como ejemplos se tiene a los sistemas de medida por pérdida de peso y los sistemas de medida por ganancia de peso.

### **b.1. Dosificación por pérdida de peso**

Este sistema se usa cuando la exactitud del peso es crítica, mide la pérdida de peso que se ha descargado del sistema. Puede ser utilizado en continuo o en sistema de lote. Las células de carga están situadas en el contenedor y reflejan cambios de peso cuando el material se descarga, enviando una señal al controlador de velocidad para acelerar o disminuir dicha descarga.

Una desventaja de estos sistemas es que no se pueden pesar materiales mientras se rellena el contenedor del cual se realiza la descarga, para controlar la velocidad de dosificación se pueden utilizar tornillos, cintas, válvulas rotativas o sistemas vibrantes. En la Figura 1.10 se muestra un dosificador por pérdida de peso.



**Figura 1.10: Dosificador por pérdida de peso.**

**Fuente:** Ponis, (2013). Recuperado de:  
[http://www.ponis.com.ar/popup.asp?id\\_productos=387&memuevo=0&categorias\\_descripcion=Dosificado%20de%20polvos](http://www.ponis.com.ar/popup.asp?id_productos=387&memuevo=0&categorias_descripcion=Dosificado%20de%20polvos)

## **b.2. Dosificación por ganancia de peso.**

Estos sistemas sólo se pueden utilizar para trabajar por lotes, el contenedor sobre el que se dosifica reposa sobre células de carga, el sistema de control de la descarga puede utilizar dosificadores volumétricos para controlar la velocidad. Se pueden conseguir fácilmente precisiones del 0.25%. En la Figura 1.11 puede observarse un dosificador por ganancia de peso.

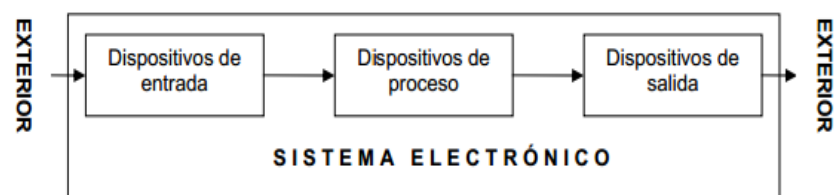


**Figura 1.11: Dosificación por ganancia de peso.**

**Fuente:** K-Tron, (2013), Recuperado de: [http://www.ktron.es/Products/feeders/Gain-in-Weight\\_Batching.cfm](http://www.ktron.es/Products/feeders/Gain-in-Weight_Batching.cfm)

## 1.4. SISTEMAS ELECTRÓNICOS

Las Sabinas (2011) manifiesta que un sistema electrónico (Figura 1.12) es un conjunto de circuitos que interactúan entre sí para obtener un resultado, todos los sistemas electrónicos constan de tres bloques funcionales claramente diferenciados: bloques de entrada, bloques de proceso y bloques de salida.



**Figura 1.12: Etapas de un sistema electrónico.**

**Un bloque de entrada:** Toman las señales físicas y las convierten en corriente o voltaje a través de un elemento accionador (interruptor, pulsador, pedal, etc.) o de sensores (finales de carrera, células fotoeléctricas, boyas, etc.)

**Un bloque de proceso:** Manipulan, interpretan y transforman las señales (procesadores).

**Un bloque de salida:** Convierten la señal de bloque de proceso en señales físicamente útiles, conocidos también como actuadores (motores, lámparas, timbres, altavoces, etc.)

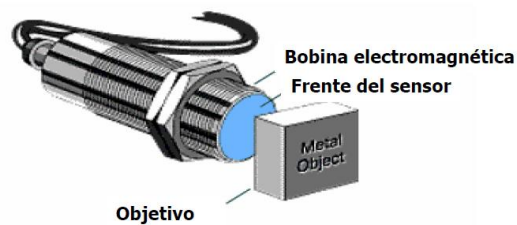
### 1.4.1. SENSORES DE PROXIMIDAD.

El sensor de proximidad detecta objetos o señales que se encuentran cerca de éste. Existen varios tipos de sensores de proximidad según el principio físico que utilizan.

Entre los sensores de proximidad se encuentran:

### a. SENSOR INDUCTIVO

Canto Q. (2012) expone que los sensores de proximidad inductivos son interruptores electrónicos que trabajan sin contacto, no sólo proporcionan una señal ON/OFF (Detector), sino también una señal análoga proporcional a la distancia.

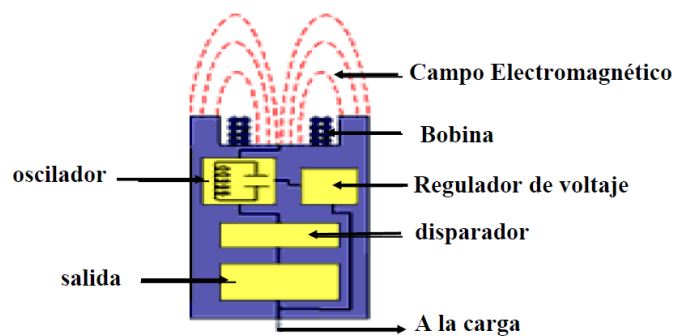


**Figura 1.13: Sensor de proximidad inductivo.**

Como se observa en la Figura 1.13 estos sensores incorporan una bobina electromagnética la cual es usada para detectar la presencia de un objeto metálico conductor. Este tipo de sensor ignora objetos no metálicos.

### Estructura

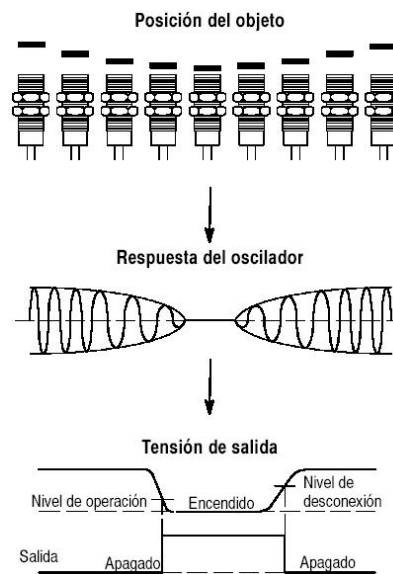
La Figura 1.14 muestra un sensor inductivo con todas sus partes constitutivas:



**Figura 1.14: Estructura de un sensor inductivo.**

## Principio de funcionamiento

Para la detección de los objetos con sensores inductivos se utiliza una bobina alimentada por un oscilador. Esta bobina se coloca en una de las caras del sensor a la que se le denomina superficie de detección, cuando el objeto entra en el campo magnético carga al circuito disminuyendo la amplitud de las oscilaciones.



**Figura 1.15: Principio de funcionamiento de sensor inductivo.**

**Fuente:** Itriago, M. (2003). *Sensores de Posición Descripción, Selección y Uso*. Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre", Departamento de Ingeniería Electrónica, (pág. 24). Barquisimeto-Venezuela.

La Figura 1.15 muestra la operación de los sensores inductivos a medida que un objeto se acerca se puede observar que la amplitud de las oscilaciones disminuyen hasta un punto donde el circuito de disparo cambia el estado de la salida, mientras que el objeto se aleja del detector ocurre el proceso inverso.

## Aplicaciones

Existen diversas aplicaciones de los sensores de proximidad inductivos las mismas que se encuentran ilustradas en la Figura 1.16.

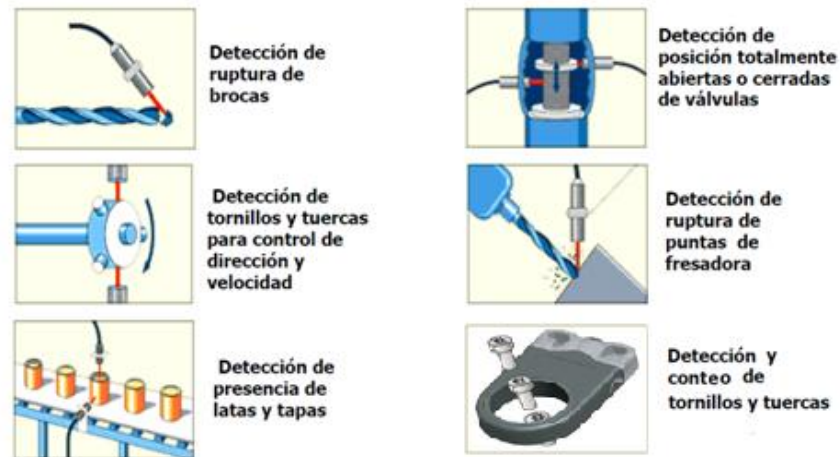


Figura 1.16: Aplicaciones del sensor inductivo.

## b. SENSOR CAPACITIVO

Itriago (2003) manifiesta que los sensores de proximidad capacitivos son similares a los inductivos. La principal diferencia entre los dos tipos es que los sensores capacitivos producen un campo electrostático en lugar de un campo electromagnético.

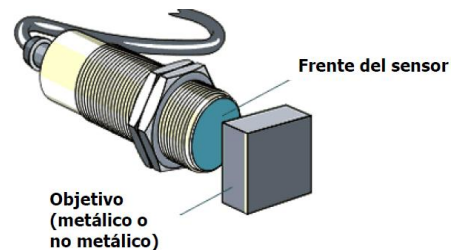
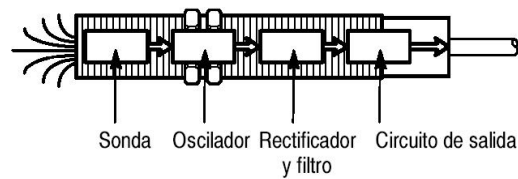


Figura 1.17: Sensor de proximidad capacitivo.

Los interruptores de proximidad capacitivos (Figura 1.17) sensan objetos metálicos y materiales no metálicos tal como papel, vidrio, líquidos y tela.

## Estructura

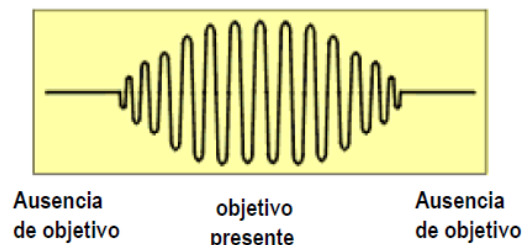
En la Figura 1.18 se puede observar un sensor capacitivo con todas sus partes.



**Figura 1.18: Estructura de un sensor capacitivo.**

### Principio de funcionamiento

Los sensores capacitivos detectan los objetos (metales, no metales, líquidos o sólidos) creando un campo electrostático que varía según la constante dieléctrica del objeto que se acerca al sensor. La capacitancia de la sonda de detección del sensor varía de acuerdo a la distancia y al tamaño del objeto (Figura 1.19). Cuando la capacitancia de esta sonda es significativa el oscilador comienza a funcionar, la señal entregada por éste es rectificadora y filtrada para hacer conmutar al circuito de salida. Es importante resaltar que los detectores capacitivos tienen un potenciómetro que permite cambiar los parámetros del oscilador de tal forma que se pueda ajustar la sensibilidad.



**Figura 1.19: Respuesta de los sensores capacitivos.**

### Aplicaciones

Gracias a su propiedad de reaccionar con una amplia gama de materiales, el sensor de proximidad capacitivo es más universal en aplicaciones que el sensor inductivo, pero éste tipo de sensores es más sensible a perturbaciones, por ejemplo, su sensibilidad respecto a la humedad es muy elevada, debido a la constante dieléctrica alta del agua. En la Figura 1.20 se pueden observar algunas aplicaciones del sensor capacitivo.

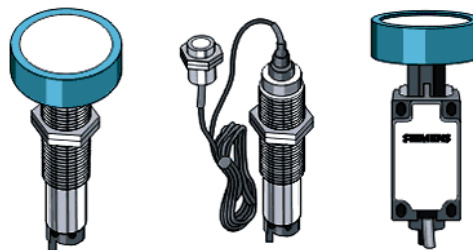


**Figura 1.20: Aplicaciones del sensor capacitivo.**

Fuente: Jenny Mata, Ivan Molina.

### c. SENSOR ULTRASÓNICO

Vilas Iglesias (2006) explica que los sensores ultrasónicos son detectores de proximidad que trabajan libres de roces mecánicos y detectan objetos a distancias de hasta 8 m, emiten impulsos ultrasónicos. Éstos reflejan en un objeto, el sensor recibe el eco producido y lo convierte en señales eléctricas.



**Figura 1.21: Sensores de proximidad ultrasónicos.**

Fuente: Canto, C. (2013). *Autómatas Programables*. Recuperado de: [http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES\\_PLC\\_PDF\\_S/28\\_SENSOR\\_ULTRAS\\_NICOS.PDF](http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES_PLC_PDF_S/28_SENSOR_ULTRAS_NICOS.PDF)

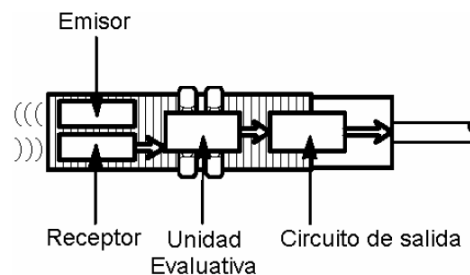
Estos sensores (Figura 1.21) trabajan solamente en el aire, y pueden detectar objetos con diferentes formas, colores, superficies y de diferentes materiales.



Los materiales pueden ser sólidos, líquidos o polvos, sin embargo han de ser deflectores de sonido. Los sensores trabajan según el tiempo de transcurso del eco, es decir, se valora la distancia temporal entre el impulso de emisión y el impulso del eco. Los sensores ultrasónicos no son muy eficientes para detectar objetos suaves ya que estos no reflejan el sonido adecuadamente.

## Estructura

En la Figura 1.22 se ilustra las partes de un sensor ultrasónico, éstos usan un transductor para enviar y recibir señales de sonido de alta frecuencia. Cuando un objetivo entra al haz, el sonido es reflejado de regreso al sensor, haciendo que se habilite o deshabilite el circuito de salida.



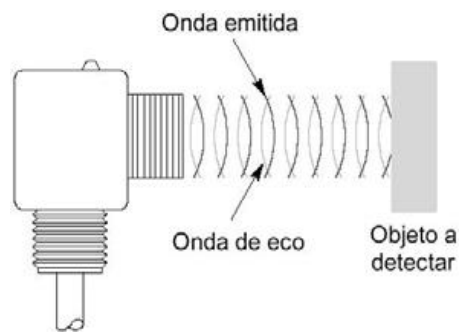
**Figura 1.22: Estructura de un sensor ultrasónico.**

**Fuente:** Itriago, M. (2003). *Sensores de Posición Descripción, Selección y Uso*. Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre", Departamento de Ingeniería Electrónica, (pág. 39). Barquisimeto-Venezuela.

## Principio de funcionamiento

El sensor tiene un disco piezoeléctrico montado en su superficie, el cual produce ondas de sonido de alta frecuencia.

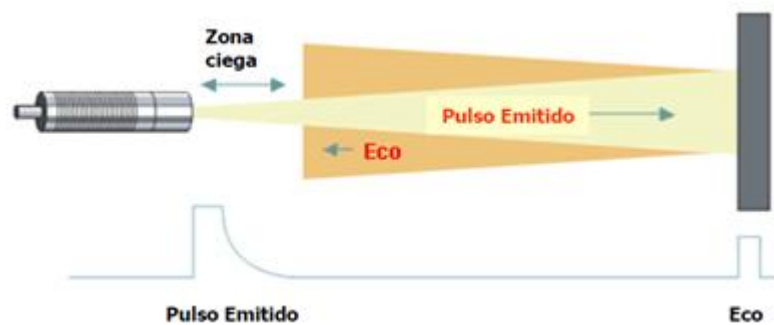
Cuando los pulsos transmitidos pegan con un objeto reflector de sonido, se produce un eco, la duración del pulso reflejado es evaluada en el transductor (Figura 1.23).



**Figura 1.23: Principio de funcionamiento de un sensor ultrasónico.**

El pulso emitido es un corto de energía ultrasónica de gran amplitud, el pulso de eco es típicamente de amplitud más baja, el intervalo de tiempo entre la señal transmitida y su eco es directamente proporcional a la distancia entre el objeto y el sensor.

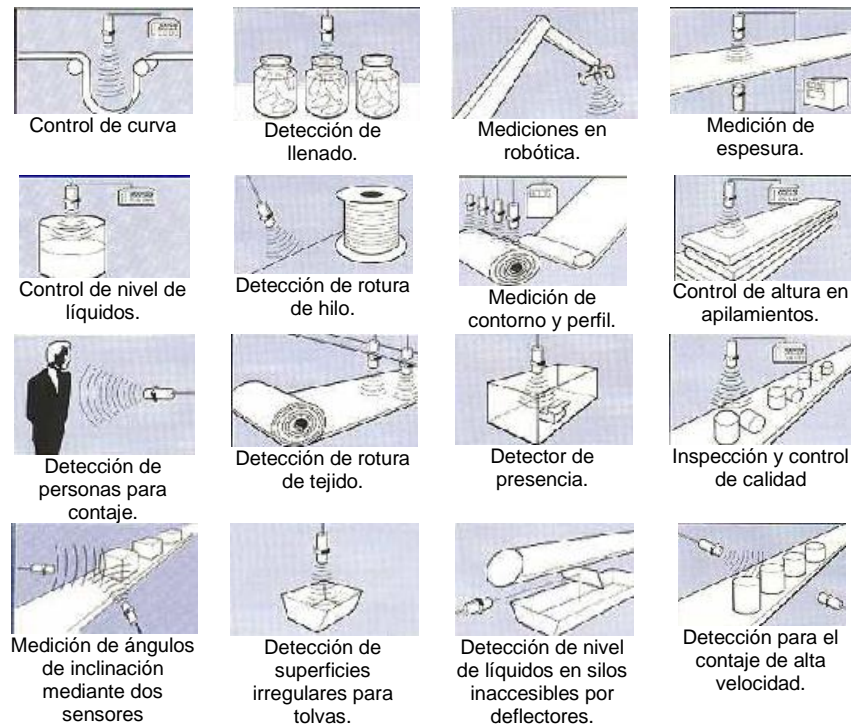
Directamente en frente del sensor hay una zona ciega, ésta puede ser de 6 a 80 cm del frente del sensor; un objeto colocado en la zona ciega produce una salida inestable. En la Figura 1.24 se puede observar el margen de detección y zona ciega de un sensor ultrasónico.



**Figura 1.24: Margen de detección y zona ciega de un sensor ultrasónico.**

## Aplicaciones

Los sensores de proximidad ultrasónicos poseen una amplia gama de aplicaciones industriales, algunas de éstas se muestran en la Figura 1.25.



**Figura 1.25: Aplicaciones del sensor ultrasónico.**

**Fuente:** Jenny Mata, Ivan Molina.

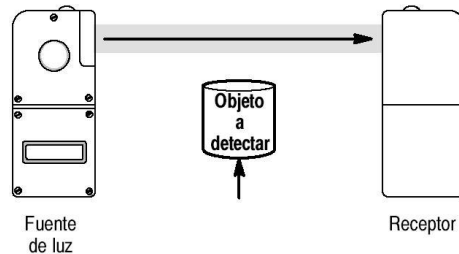
#### **d. SENSOR INFRARROJO.**

Canto (2012) expone que un sensor infrarrojo es un dispositivo electrónico capaz de medir la radiación electromagnética infrarroja de los cuerpos en su campo de visión. Todos los cuerpos reflejan una cierta cantidad de radiación, ésta resulta invisible para nuestros ojos pero no para estos aparatos electrónicos, ya que se encuentran en el rango del espectro justo por debajo de la luz visible.

Los sensores infrarrojos pueden ser:

**Sensor infrarrojo de barrera:** Las barreras tipo emisor-receptor están compuestas de dos partes, un componente que emite el haz de luz, y otro componente que lo recibe (Figura 1.26). Se establece un área de detección donde el objeto a detectar es reconocido cuando el mismo interrumpe el haz de luz. Debido a que el modo de operación de esta clase de sensores se

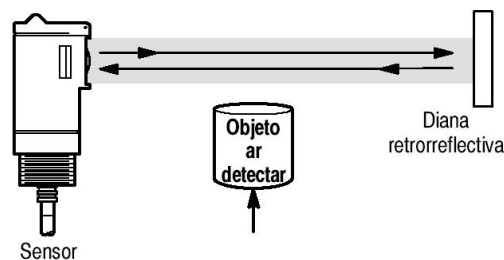
basa en la interrupción del haz de luz, la detección no se ve afectada por el color, la textura o el brillo del objeto a detectar.



**Figura 1.26: Sensor de barrera infrarrojo.**

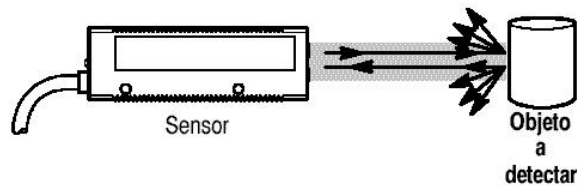
Estos sensores operan de una manera precisa cuando el emisor y el receptor se encuentran alineados. Esto se debe a que la luz emitida siempre tiende a alejarse del centro de la trayectoria.

**Sensor auto reflectivo:** La luz infrarroja viaja en línea recta, en el momento en que un objeto se interpone el haz de luz rebota contra éste y cambia de dirección permitiendo que la luz sea enviada al receptor y el elemento sea sensado, un objeto de color negro no es detectado ya que este color absorbe la luz y el sensor no experimenta cambios (Figura 1.27).



**Figura 1.27: Sensor auto reflectivo.**

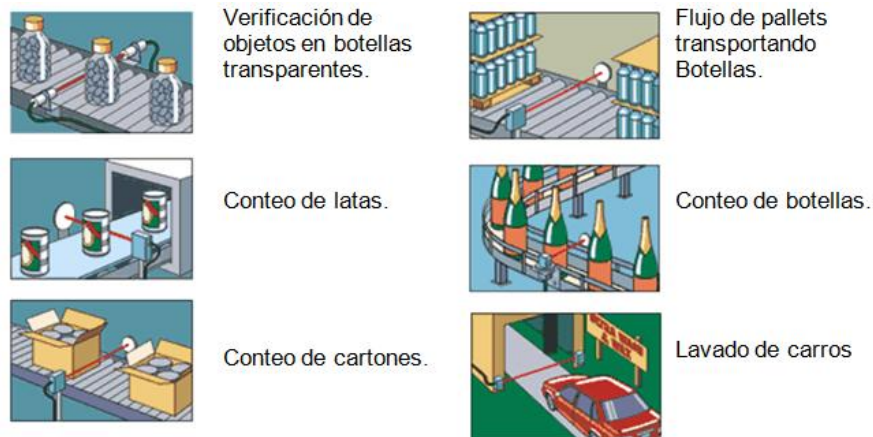
**Sensor reflectivo:** Tienen el componente emisor y el componente receptor en un solo cuerpo, el haz de luz se establece mediante la utilización de un reflector catadióptrico. El objeto es detectado cuando el haz formado entre el componente emisor, el reflector y el componente receptor es interrumpido (Figura 1.28). Debido a esto, la detección no es afectada por el color del mismo. La ventaja de las barreras réflex es que el cableado es en un solo lado, a diferencia de las barreras emisor-receptor que es en ambos lados.



**Figura 1.28: Sensor reflectivo.**

## Aplicaciones

Son numerosas las aplicaciones para los distintos tipos de sensores de proximidad infrarrojos, se ilustran algunas de éstas en la Figura 1.29.



**Figura 1.29: Aplicaciones del sensor infrarrojo.**

**Fuente:** Canto, C. (2013). *Autómatas Programables*. Recuperado de: [http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES\\_PLC\\_PDF\\_S/26\\_SENORES\\_OPTO\\_ELECTR\\_NIC.PDF](http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES_PLC_PDF_S/26_SENORES_OPTO_ELECTR_NIC.PDF)

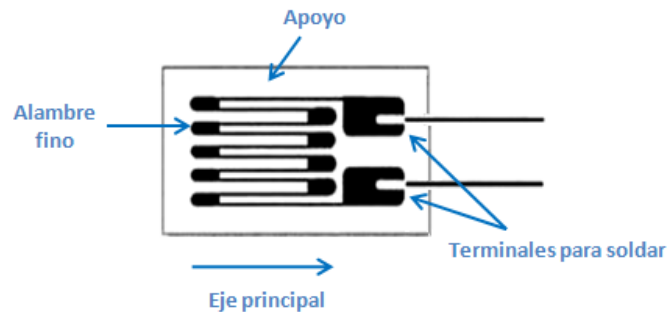
## 1.4.2. TRANSDUCTORES DE FUERZA<sup>1</sup>

### a. GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS

Una galga extensiométrica es un transductor pasivo, que aplicado sobre un elemento sensor, permite medir la fuerza ejercida sobre él a partir de la

<sup>1</sup> Simbaña, K. M., & Terán, T. F. (2009). *Diseño e implementación de un sistema automatizado para un prototipo clasificador de huevos*. Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito-Ecuador.

deformación resultante. Consta de un alambre muy fino arreglado en forma de rejilla como se muestra en la Figura 1.30.



**Figura 1.30: Estructura y forma de una galga extensiométrica.**

**Fuente:** Jenny Mata, Ivan Molina.

Esta forma de rejilla permite aprovechar la máxima cantidad de material de la galga sujeto a la tensión a lo largo de su eje principal. Las fuerzas de compresión, tracción o flexión, aplicadas sobre este material, generan deformaciones que son transmitidas a la galga.

### **Principio de Funcionamiento**

El principio de funcionamiento se basa en la resistencia eléctrica del hilo de la galga que es directamente proporcional a su longitud, o lo que es lo mismo, su resistencia aumenta cuando éste se alarga. De este modo las deformaciones que se producen en el objeto, en el cual está adherida la galga, provocan una variación de la longitud y, por consiguiente, una variación de la resistencia.

Además se puede exponer otro criterio en cuanto al funcionamiento de una galga extensiométrica, mismo que se basa en el efecto piezorresistivo de metales y semiconductores, en el cual, su resistividad varía en función de la presión a la que está sometida. Esto se debe a que una presión ejercida sobre ellos reduce su volumen y la distancia interatómica en el caso de los metales, o en la concentración de portadores en el caso de los elementos semiconductores, factores que repercuten en una variación de su

resistividad. La resistencia eléctrica de la galga cambia a medida que se deforma de acuerdo a la propiedad física de la resistividad.

## **b. CELDAS DE CARGA**

Una celda de carga es un transductor de fuerza que está compuesta de dos partes, una parte es un sólido elástico que absorbe las cargas y se deforma proporcionalmente a la magnitud medida, generalmente es una pieza metálica, y la otra parte consiste en un elemento sensible a la deformación, capaz de variar alguna de sus propiedades físicas y así obtener una variación de una señal eléctrica proporcional a esta variable.

Las celdas de carga, son utilizadas en prácticamente todos los sistemas de pesaje electrónicos.

### **Principio de funcionamiento**

El principio de funcionamiento de una celda de carga está basado en cuatro galgas extensiométricas, dispuestos en una configuración especial, generalmente un puente de Wheatstone, montadas o pegadas al elemento deformador. Como la superficie a la cual la galga es adjuntada se va a deformar, el alambre de la galga, se estira o comprime cambiando su resistencia proporcional a la carga aplicada.

Gracias a la configuración del puente de Wheatstone, se puede apreciar 4 puntos ubicados entre cada galga que forma el puente, dos de estos puntos son de entradas y dos son de salidas, los puntos de entradas se conocen como excitaciones y los de salida como señales.

Como se puede observar en la Figura 1.31, para identificar excitaciones y señales, se utiliza un código de color en el cableado de las celdas de

carga; aunque dependiendo de la procedencia, en algunos modelos, el cable azul es cambiado por un negro, y el amarillo por un blanco.

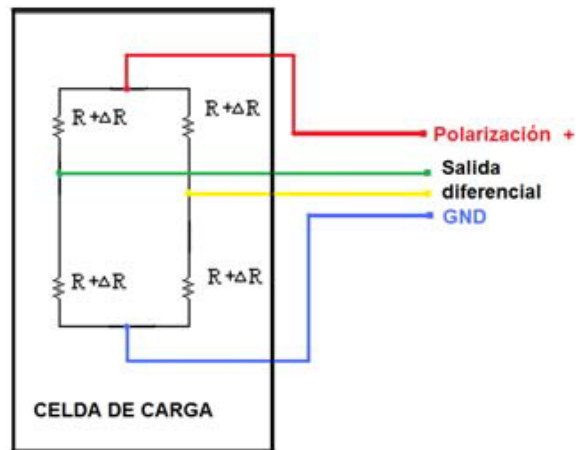


Figura 1.31: Impedancia de las celdas de carga.

### Tipos de celdas de carga

Existen algunos tipos de celdas de carga que difieren, además de su capacidad y resolución, en la forma a la cual se la somete a la fuerza, es decir si es por tracción, compresión o por cizalladura (Figura 1.32).



Figura 1.32: Tipos de celdas de carga.

Una fuerza aplicada por cizalladura o viga de flexión, es aquella que actúa a una determinada distancia de la celda de carga, es decir que se produce sobre un brazo de palanca.



Las celdas que reciben la fuerza por compresión y por cizalladura se utilizan en la medición de pesos grandes; mientras que las celdas que reciben la fuerza en forma de tensión se utilizan para la medición de pesos pequeños.

### **1.4.3. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES**

Kalpakjian & Schmid (2002) menciona que un Controlador Lógico Programable es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales. Un PLC trabaja en base a la información recibida por los sensores y el programa lógico interno, actuando sobre los actuadores de la instalación.

De acuerdo con la definición de la "Nema" (National Electrical Manufacturers Association) un controlador programable es "Un aparato electrónico operado digitalmente, que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones para implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas para controlar, a través de módulos de entrada/salida digitales (ON/OFF) o analógicos (15 VDC, 4-20 mA, etc.), varios tipos de máquinas o procesos".

### **ESTRUCTURA INTERNA**

Montanero (1990) sostiene que los dispositivos característicos con que cuentan los PLCs son los detallados a continuación:

**Unidad central de procesos (CPU):** En ésta se encuentra la memoria que almacena el programa, la base de datos, el estatus del procesador y los elementos internos que permiten el control de los temporizadores, contadores e instrucciones para operaciones lógicas.

**Interfaces de entradas y salidas:** Establecen la comunicación con la planta, permiten ingresar la información proveniente de los sensores, interruptores, etc., y enviar información a motores, electroválvulas y accionamientos en general. Para esto, las interfaces deben filtrar, adaptar y codificar adecuadamente las señales.

**Dispositivos de programación:** Mediante la interfaz con el operador, se tiene acceso a la información que permite controlar y conocer el funcionamiento de la planta. La interfaz más usual es un terminal de programación, resistente al ambiente industrial y de tipo portátil, el cual sirve para introducir, modificar y editar el programa de usuario que ejecutará el procesador central, permitiendo el diagnóstico y localización de fallas.

**Comunicaciones:** La red de comunicaciones tiene una gran importancia pues permite una utilización más completa de las capacidades del sistema de producción avanzado. Mediante el uso de redes de área local se pueden interconectar varios PLCs y las diferentes componentes que forman el sistema total, logrando con ello su mejor administración y operación.

**Fuente de alimentación:** La fuente de alimentación convierte altos voltajes de corriente de línea (115V, 230V AC) a bajos voltajes (5V, 15V, 24V DC) requeridos por el CPU y los módulos de entradas y salidas.

## LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

Rojas (2005) explica que los fabricantes de PLC han desarrollado algunos lenguajes de programación en mayoría de los casos siguiendo normas internacionales, con el fin de satisfacer las necesidades y expectativas de los programadores

En la Tabla 1.1 se presentan lenguajes de uso común.

**Tabla 1.1: Lenguajes de Programación.**

Lenguaje	Características	Ejemplos*	Tipo	Nivel
Listas	Lista de Instrucciones	IL AWL STL IL/ST	Escrito	Bajo
Plano	Diagrama Eléctrico	LADDER LD KOP	Visual	Alto
Diagrama de Bloques Funcionales	Diagrama Lógico	FBD FBS FUD		
Organigrama de Bloques Secuenciales	Diagrama Algorítmico	AS SFC PETRI GRAFSET		
Otros	Lenguajes Usados en Otras Áreas de la computación	BASIC C	Escrito	

\* Los nombres fueron asignados por el fabricante

### Niveles de Lenguajes de Programación

- **Bajo Nivel:** En la programación de PLC no se utiliza directamente el lenguaje de máquina o del ensamblador. Se emplea el lenguaje de lista de instrucciones, similar al lenguaje ensamblador, con una sintaxis y vocabulario acordes con la terminología usada en PLC.

**Listas:** Describe lo que debe hacer el PLC, instrucción por instrucción como se muestra en la Figura 1.33.

```

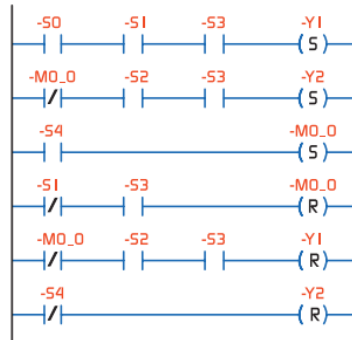
AN  -X I
AN  -STOP
[
A   -RUN
O   -K I
]
=   -K I

```

**Figura 1.33: Programa IL.**

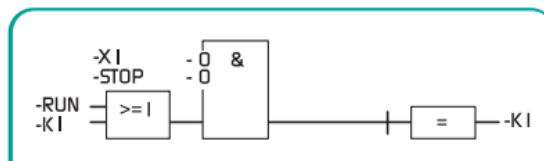
- **Alto Nivel:** Se caracterizan principalmente por ser visuales, aunque existen también lenguajes escritos de alto nivel.

**Diagrama de Contactos:** Se representa con un circuito de contactores y relés, fácil de entender y utilizar para usuarios con experiencia en lógica alamburada. Este lenguaje se lo conoce como LADDER (escalera), ya que la forma de su esquema se asemeja a una escalera (Figura 1.34).



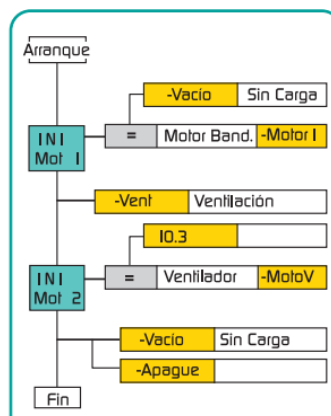
**Figura 1.34: Programa LADDER.**

**Diagrama de Bloques Funcionales:** Utiliza los diagramas lógicos de la electrónica digital (Figura 1.35).



**Figura 1.35: Programa FBD.**

**Organigrama de Bloques Secuenciales:** Utiliza el concepto de algoritmo, todo proceso cumple con una secuencia. Es el lenguaje más utilizado por programadores de PLC con mayor trayectoria (Figura 1.36).



**Figura 1.36: Programa AS.**

## **CAMPOS DE APLICACIÓN**

Ruiz & Vásconez (2012) expone que un PLC por sus características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. Un autómata programable suele emplearse en procesos industriales que tengan una o varias de las siguientes necesidades:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalación de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.

Aplicaciones Generales:

- Maniobra de máquinas.
- Maniobra de instalaciones.
- Señalización y control.

### **1.4.4. ACTUADORES**

Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto (actuar) sobre un proceso automatizado. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”. (Vildósola, 2013)

Los actuadores electrónicos convierten las señales de corriente o voltaje en señales físicamente útiles. Éstos son muy utilizados en aparatos mecatrónicos, como en los robots.

La Figura 1.37, indica un actuador electrónico que en este caso es un servomotor con fuerza, posición, velocidad y aceleración programables.



**Figura 1.37: Actuador electrónico.**

**Fuente:** *Fundación Wikimedia*. (2013). Recuperado de Actuador: <http://es.wikipedia.org/wiki/Actuador>

## 1.5. BANDAS TRANSPORTADORAS.

Castillo & Villavicencio (2009) sostiene que una banda transportadora es un aparato formado por dos poleas que mueven una cinta continua, para el transporte de materiales, materias primas, minerales y diversos productos (Figura 1.38). Las poleas son movidas por motores, haciendo girar la cinta y así lograr transportar el material depositado en la misma.



**Figura 1.38: Banda transportadora.**

**Fuente:** *Fundación Wikimedia*. (2013). Recuperado de Cinta transportadora: [http://es.wikipedia.org/wiki/Cinta\\_transportadora](http://es.wikipedia.org/wiki/Cinta_transportadora).

### 1.5.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

Este tipo de transportadoras continuas están constituidas básicamente por una banda sinfín flexible que se desplaza apoyada sobre unos rodillos de

giro libre. El desplazamiento de la cinta se realiza por la acción de arrastre que le transmite uno de los tambores extremos. Todos los componentes y accesorios del conjunto se disponen sobre un bastidor, casi siempre metálico, que les da soporte y cohesión.

En el funcionamiento de las bandas transportadoras se tiene en cuenta los siguientes parámetros:

- **Tensión en una correa:** Es una fuerza actuando a lo largo de la cinta, tendiendo a elongarla. La tensión de la correa es medida en Newtons.
- **Torque:** Es el resultado de una fuerza que produce rotación alrededor de un eje.
- **Energía y trabajo:** El trabajo es el producto de una fuerza y la distancia a recorrer.
- **La potencia:** Es la relación entre la realización de un trabajo o transmisión de energía.

### 1.5.2. TIPOS DE BANDAS TRANSPORTADORAS

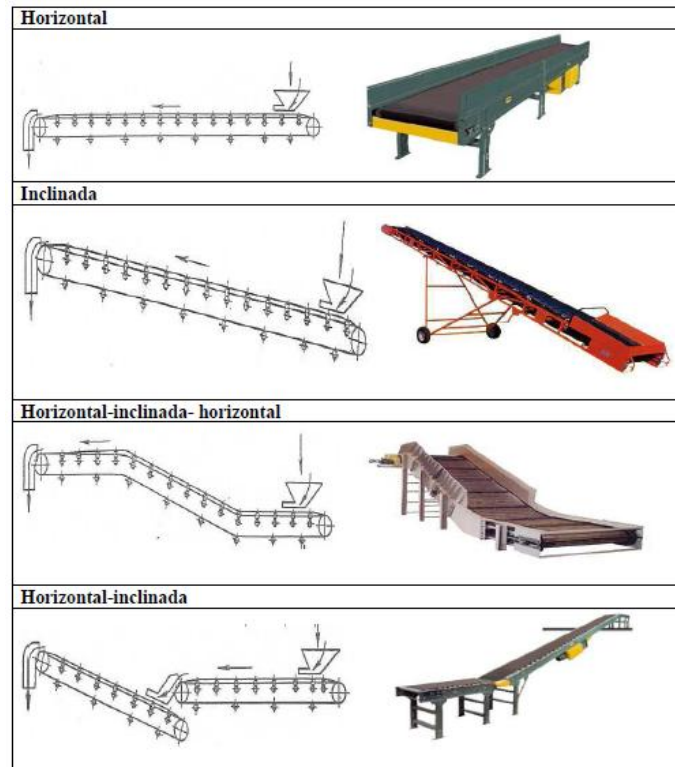
Santillán (2008) realiza la siguiente clasificación de bandas transportadoras:

- **Dependiendo de la movilidad**

Se denominan bandas fijas a aquéllas cuya colocación no puede cambiarse. Por el contrario, las bandas móviles están provistas de ruedas u otros sistemas que permiten un cambio fácil de ubicación. Generalmente se construyen con altura regulable mediante un sistema que permite variar la inclinación de transporte.

- **Dependiendo de la posición**

En función de la posición en la que se encuentre la banda o las posiciones que ocupen sus diferentes módulos o partes, las bandas transportadoras se clasifican según muestra la Figura 1.39.



**Figura 1.39: Clasificación de las bandas dependiendo de su posición.**

### 1.5.3. ELEMENTOS DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Realizando una revisión en algunos medios bibliográficos los autores del presente proyecto determinan que los elementos que constituyen una banda transportadora son:

- **Estructura de soporte:** La estructura de soporte está compuesta por perfiles tubulares o angulares, formando en algunos casos verdaderos puentes que se fijan a su vez, en soportes o torres estructurales apernadas o soldadas en una base sólida.



- **Correa o cinta:** La correa o cinta tiene una gran variedad de características, y su elección dependerá en gran parte del material a transportar, velocidad, esfuerzo o tensión a la que sea sometida, capacidad de carga a transportar, etc.
- **Elementos motrices:** El elemento motriz de mayor uso en los transportadores es el del tipo eléctrico, variando sus características según la exigencia a la cual sea sometido. Además del motor, las poleas, los engranajes, el motorreductor, son otros de los elementos que componen el sistema motriz.
- **Elementos tensores:** Es el elemento que permitirá mantener tensionada la correa o cinta, asegurando el buen funcionamiento del sistema.
- **Tambor motriz y de retorno:** El trabajo de los tambores es funcionar como poleas, las que se ubicarán en el comienzo y fin de la cinta transportadora, para su selección se debe tomar en cuenta factores como: potencia, velocidad, ancho de banda, entre otros.

## 1.6. MOTORES Y SERVOMOTORES

### 1.6.1. MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

Correa & Remache (2006) explican que el motor es una máquina que convierte energía eléctrica en energía mecánica, los motores DC no pueden ser posicionados y/o enclavados en una posición específica, éstos giran en el sentido que la alimentación aplicada se los permite (Figura 1.40).



**Figura 1.40: Motor de corriente continua.**

**Fuente:** García, J. A. (2012). *asifunciona.com*. Recuperado el 28 de Diciembre de 2013, de Así funciona el motor de corriente directa o continua:  
[http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af\\_motor\\_cd/af\\_motor\\_cd\\_6.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af_motor_cd/af_motor_cd_6.htm)

El funcionamiento se basa en la interacción entre el campo magnético del imán permanente y el generado por las bobinas, ya sea una atracción o una repulsión, hacen que el eje del motor comience su movimiento.

### Aplicaciones

- Aplicaciones de regulación de velocidad en general.
  - Máquinas de envase y embalaje.
  - Cintas transportadoras.
  - Ventilación.
- Regulación de par.
  - Enrolladoras.
  - Elevación.
- Regulación de motores de potencias grandes.
  - Laminadoras.

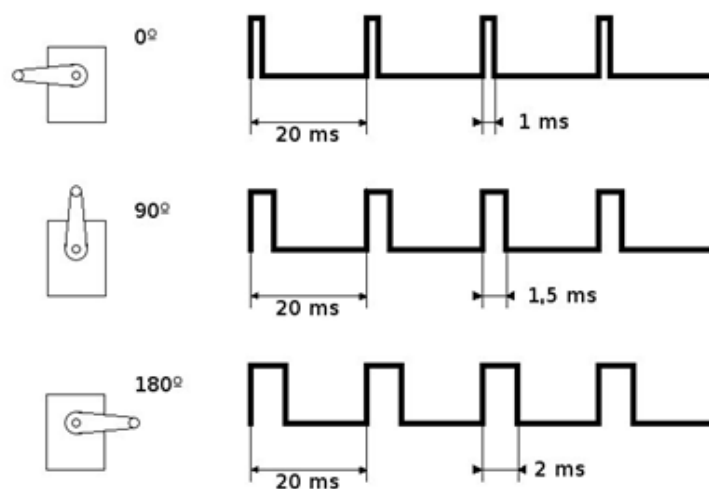
## 1.6.2. SERVOMOTORES

Ruiz & Salazar (2012) explica que los servomotores (Figura 1.41) son motores con un mecanismo de control realimentado que le permite moverse y detectar su posición angular. La entrada de control al motor indica una posición deseada, y el circuito lógico al interior del motor lo colocará en esta posición.



**Figura 1.41: Servomotores.**

Físicamente tienen un rango restringido de movimientos, el motor gira entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$ . Para controlar el movimiento se debe alimentar el servomotor con una señal modulada por un ancho de pulso (PWM), el ancho de pulso enviado a la entrada de control indica al motor la posición en la cual se desea colocar. Según la anchura de ese pulso realizará una cosa u otra.



**Figura 1.42: Posición del Servomotor.**

**Fuente:** Ardumanía, (2014), Recuperado de: <http://www.ardumania.es/apendice-del-ejercicio-3-senales-de-control-rc/>

Por ejemplo los servos se posicionarán en un ángulo de  $0^\circ$  (posición de referencia) si el pulso es de 1 ms, buscarán la posición central ( $90^\circ$ ) si el pulso es de 1.5 ms y se establecerán en la posición final ( $180^\circ$ ) si el pulso es de 2 ms (Figura 1.42).

## Aplicaciones

Existen diferentes aplicaciones para los servomotores, algunas de éstas se detallan a continuación:

- Posicionamiento mecánico preciso.
- Un sistema de movilización de cámaras de vigilancia.
- Las puertas automáticas de un ascensor.
- Movimiento de palancas.
- En la robótica, etc.

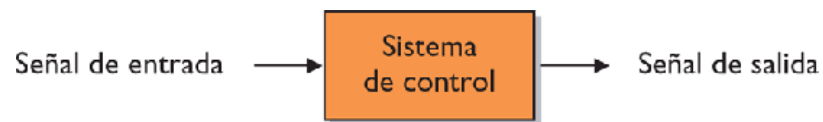
## 1.7. SISTEMAS DE CONTROL<sup>2</sup>

Un sistema de control es un conjunto de componentes físicos relacionados entre sí, de manera que regulen o dirijan su actuación por sí mismos, corrigiendo los posibles errores que se presenten en su funcionamiento.

Los sistemas de control están formados por un conjunto de dispositivos ya sean éstos mecánicos, eléctricos, electrónicos, neumáticos, hidráulicos; cuya finalidad es controlar el funcionamiento de una máquina o de un proceso. En todo sistema de control se puede considerar una señal de entrada que actúa sobre el mismo y una señal de salida proporcionada por el sistema, como se observa en la Figura 1.43.

---

<sup>2</sup> Angulo, B., & Raya G. (2005). Tecnologías del Sistema de Control. En *Principios básicos de la teoría de control* (pág. 31). Barcelona - España: Universidad Politécnica de Catalunya.



**Figura 1.43: Sistema de control.**

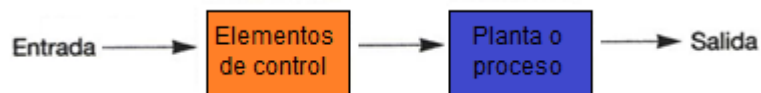
### 1.7.1. TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL

Los sistemas de control pueden ser:

#### a. Sistemas de control en lazo abierto

En un sistema de control en lazo abierto, la señal de salida no influye sobre la señal de entrada. La exactitud de estos sistemas depende de su calibración, de manera que al calibrar se establece una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada.

En la Figura 1.44 se presenta la estructura de un sistema en lazo abierto:



**Figura 1.44: Sistema de control en lazo abierto.**

Fuente: Jenny Mata, Ivan Molina.

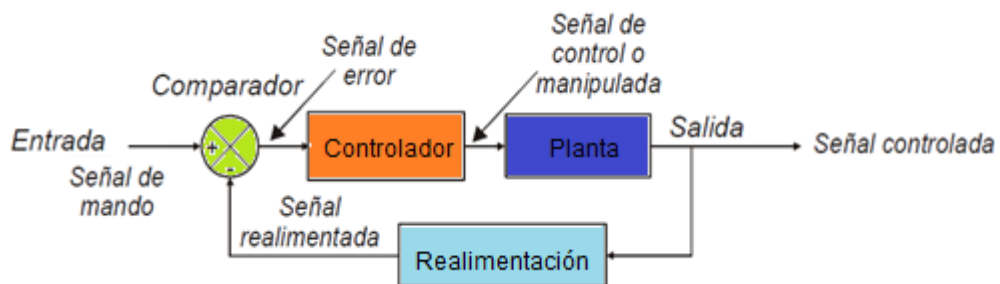
#### b. Sistemas de control en lazo cerrado

En un sistema de control de lazo cerrado la acción de control es, en cierto modo, dependiente de la salida, la señal de salida influye en la entrada. Para esto es necesario que la entrada sea modificada en cada instante en función de la salida. Esto se consigue por medio de una realimentación o retroalimentación (feedback).

La realimentación es la propiedad de un sistema en lazo cerrado por la cual la salida (o cualquier otra variable del sistema que esté controlada) se

compara con la entrada del sistema (o una de sus entradas), de manera que la acción de control se establezca como una función de ambas. A veces también se le llama a la realimentación transductor de la señal de salida, ya que mide en cada instante el valor de la señal de salida y proporciona un valor proporcional a dicha señal.

La Figura 1.45 corresponde a un sistema de control en lazo cerrado.



**Figura 1.45: Sistema de control en lazo cerrado.**

Fuente: Jenny Mata, Ivan Molina.

## 1.8. COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.

En la comunicación inalámbrica no es necesario disponer de cables para transmitir la información, sino que ésta se emite mediante ondas, que se propagan a través de un medio. La principal ventaja es que permite una facilidad de emplazamiento y reubicación, evitando la necesidad de establecer un cableado y su rapidez en la instalación. (Mayné, 2009)

Este sistema constituye la base de la radio, televisión, telefonía móvil y de los sistemas de comunicación vía satélite.

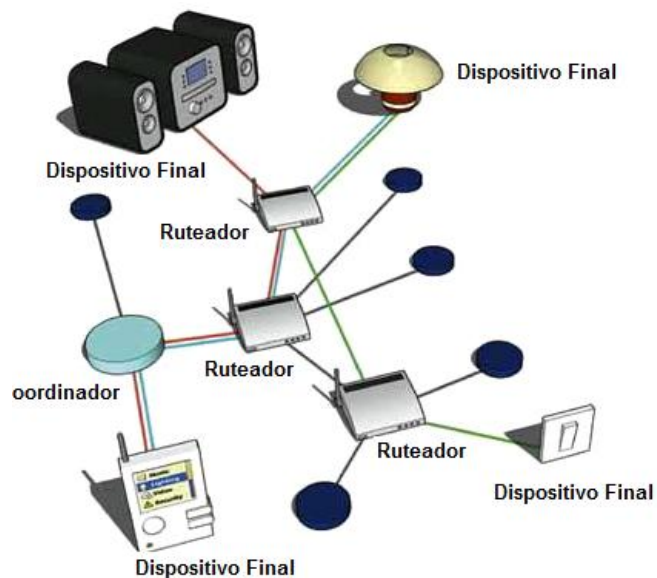
### 1.8.1. PROTOCOLO INALÁMBRICO ZIGBEE

Ortega, Roque, & Úbeda (2008) exponen que ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radios digitales de bajo consumo, basada

en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN). Su objetivo son las aplicaciones para redes Wireless que requieran comunicaciones seguras y fiables con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

### Tipos de dispositivos.

Se definen tres tipos distintos de dispositivo ZigBee (Figura 1.46) según su papel en la red.



**Figura 1.46: Tipos de dispositivos ZigBee.**

Fuente: Jenny Mata, Ivan Molina.

- **Coordinador (ZigBee Coordinator, ZC):** Es el tipo de dispositivo más completo. Debe existir uno por red. Sus funciones son las de encargarse de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos, requiere memoria y capacidad de computación.
- **Ruteador (ZigBee Router, ZR):** Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.

- **Dispositivo final (ZigBee End Device, ZED):** Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato.

## Aplicaciones

El protocolo ZigBee por sus prestaciones posee varias aplicaciones de las cuales se menciona las siguientes:

- Domótica.
  - Seguridad.
  - Control de temperatura.
  - Control de luces.
  - Control de acceso.
  - Irrigación de jardines.
- Control industrial.
  - Manejo de carga.
  - Control de procesos.
  - Control de ambiente.
  - Control de energía.
- Salud.
  - Monitoreo de pacientes.
  - Control de estado físico.
- Otros.
  - Predicción de terremotos.



- Controles remotos.
- Mouse.
- Teclados
- Palanca de mando (joystick)

### 1.8.2. COMPARACIÓN DE ZIGBEE CON BLUETOOTH Y WI-FI <sup>3</sup>

#### BLUETOOTH

Es un protocolo de comunicación inalámbrica basado en el estándar IEEE 802.15.1. Bluetooth trabaja a una velocidad de transmisión de datos de 1 Mbps. Bluetooth y ZigBee tienen consumos similares de corriente en transmisión, pero ZigBee tiene un recurso mejor, más bajo consumo de corriente en modo espera (standby). Esto es debido a que los dispositivos en redes Bluetooth deben dar información a la red frecuentemente para mantener la sincronización, así que no pueden ir fácilmente a modo de desactivación (sleep).

#### WI-FI

Es un estándar que requiere la actividad casi ininterrumpida de los dispositivos en la red. La ventaja de este estándar es la enorme cantidad de datos que se pueden transferir de un punto a multipuntos, pero el consumo de corriente en transmisión es alta, solamente ZigBee brinda la flexibilidad de la conexión de redes en malla.

En la tabla 1.2 se muestra como los estándares inalámbricos mencionados anteriormente están basados en sus características y aplicaciones. Ningún estándar cubre todos los requerimientos de todas las aplicaciones.

---

<sup>3</sup> Ruiz, M. A. (2007). *Diseño e implementación de un sistema de adquisición y control de temperatura mediante el Estándar Zigbee*. Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito - Ecuador.

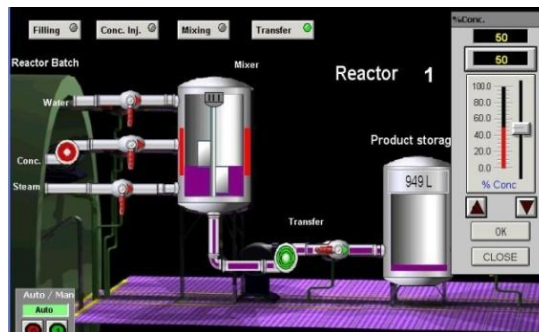
**Tabla 1.2: Estándares inalámbricos.**

ZigBee (WPAN)	Bluetooth (WLAN/WPAN)	Wi-Fi (WLAN)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Estándar 802.15.4</li> <li>250 kbps</li> <li>TX: 35 mA</li> <li>Standby: 3<math>\mu</math>A</li> <li>32-60KB memoria</li> <li>Iluminación, sensores, control remoto, etc.</li> <li>Red en malla, punto a punto o punto a multipunto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estándar 802.15.1</li> <li>1 Mbps</li> <li>TX: 40 mA</li> <li>Standby: 200<math>\mu</math>A</li> <li>&gt;100KB memoria</li> <li>Telecomunicaciones, audio, etc.</li> <li>Punto a multipunto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estándar 802.11</li> <li>Hasta 54Mbps</li> <li>TX: &gt;400 mA</li> <li>Standby: 20mA</li> <li>&gt;100KB memoria</li> <li>Internet, etc.</li> <li>Punto a multipunto</li> </ul>

**Fuente:** Treviño, J., & Silva, J. (2011). *Red de sensores inalámbrica genérica*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ingeniería en Sistemas Digitales y Comunicaciones. Juárez - México: Instituto de Ingeniería y Tecnología.

## 1.9. INTERFAZ HUMANO MÁQUINA.

HMI significa “Human Machine Interface”, es decir es el dispositivo o sistema que permite la interacción entre la persona y la máquina.



**Figura 1.47: Interfaz Humano Máquina.**

**Fuente:** Jenny Mata, Ivan Molina.

La interfaz de un HMI (Figura 1.47), puede ser tan simple como una lámpara indicadora del estado de un aparato, hasta una o varias pantallas desarrolladas en una computadora que llegan a mostrar representaciones esquemáticas de todo el proceso bajo supervisión, incluyendo valores reales de las variables presentes en ese momento en la planta. Un ejemplo común

de un HMI es el cajero automático que posibilita al usuario ejecutar una serie de transacciones bancarias. (Cobo, 2010)

### 1.9.1. FUNCIONES DE UN HMI

Padilla & Reyes (2006) expresan que las funciones principales y necesarias que un HMI debe cumplir son:

**Monitoreo:** Permite obtener y mostrar datos de la planta a tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, texto o gráficos para una lectura más fácil de interpretar.

**Supervisión:** Permite junto con el monitoreo la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.

**Generación de alarmas:** Se puede reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportar estos eventos. Las alarmas son reportadas basadas en límites de control pre-establecidos.

**Control:** Es la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites. Control va más allá de supervisión removiendo la necesidad de la interacción humana.

**Generación de históricos:** Es la capacidad de muestrear y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia. Este almacenamiento de datos es una poderosa herramienta para la optimización y corrección de procesos.

### 1.9.2. MODELOS DE INTERFAZ HUMANO MÁQUINA.

Rodríguez V. (2009) explica que existen tres puntos de vista distintos en un HMI; el del usuario, el del programador y el del diseñador. Cada uno tiene

un modelo mental propio de la interfaz, que contiene los conceptos y expectativas acerca de la interfaz, desarrollados a través de su experiencia.

- a. **Modelo del usuario:** El usuario tiene su visión personal del sistema, una interfaz debe facilitar el proceso de crear un modelo mental efectivo. Para ello son de gran utilidad las metáforas, que asocian un dominio nuevo a uno ya conocido por el usuario.
  
- b. **Modelo del programador:** Es el más fácil de visualizar, está constituido por los objetos que manipula el programador (ejemplo: base de datos). Estos objetos se deben esconder del usuario, los conocimientos del programador incluyen la plataforma de desarrollo, el sistema operativo, las herramientas de desarrollo, especificaciones. Sin embargo, esto no significa necesariamente que tenga la habilidad de proporcionar al usuario los modelos y metáforas más adecuadas.
  
- c. **Modelo del diseñador:** El diseñador mezcla las necesidades, ideas, deseos del usuario y los materiales de que dispone el programador para diseñar un HMI. Es un intermediario entre ambos.

Al diseñar un HMI deben tenerse en cuenta las habilidades cognitivas y de percepción de las personas, y adaptar el programa a ellas, uno de los aspectos más importantes que una interfaz puede hacer es reducir la dependencia de las personas de su propia memoria, no forzándoles a recordar cosas innecesariamente (por ejemplo, información que apareció en una pantalla anterior) o a repetir operaciones ya realizadas (por ejemplo, introducir un mismo dato repetidas veces).

## 1.10. HERRAMIENTAS DE SOFTWARE

La utilización de los ordenadores como instrumentos de ayuda a las diferentes actividades humanas ha cobrado tal importancia que hoy resulta

casi inconcebible subsistir en un mundo tan competitivo sin su uso. Para apoyar la gran mayoría de actividades de diseño se cuenta con una oferta comercial de software, ampliamente reconocido y aceptado por su aporte y beneficios demostrados en la práctica.

### **1.10.1. SOFTWARE PARA DISEÑO MECÁNICO**

Chaur Bernal (2004) explica que dentro de los software para diseño mecánico se encuentran los paquetes de tipo CAD, algunos de los cuales ofrecen versiones especializadas para los diferentes tipos de aplicaciones en ingeniería, que dan un soporte muy importante en el área de diseño de detalle, particularmente en lo relacionado con el dibujo de piezas, ensamble de conjuntos, verificación dimensional, cálculo del volumen de materiales, etc.

Las características de algunos de los programas más importantes comercialmente se describen a continuación:

#### **a. Programas de Autodesk, Inc.**

Esta empresa es la más conocida a nivel mundial en software CAD para PC's, actualmente ofrece una variedad de productos que va desde el programa de referencia AutoCAD hasta programas especializados en diferentes ramas.

La Tabla 1.3 muestra los productos desarrollados por esta empresa. Como se puede apreciar, la oferta comercial de Autodesk, Inc. es muy intensa y orientada a satisfacer requerimientos especializados para diferentes disciplinas. Sin embargo, siguen existiendo productos que son íconos del CAD.

**Tabla 1.3: Familia de productos Autodesk, Inc.**

CARACTERÍSTICAS	SOFTWARE
Diseño general	AutoCAD
	AutoCAD LT
Arquitectura y construcción	Autodesk Architectural Desktop
	Autodesk Architectural Studio
	Autodesk VIZ
Industria y fabricación	Autodesk Inventor Series
	Autodesk Inventor Professional
	AutoCAD Mechanical
Infraestructura y GIS	Autodesk Map Series
	Autodesk Map 3D
	Autodesk Envision
	Autodesk Raster Design
	Autodesk Land Desktop
	Autodesk Civil Design
	Autodesk Survey
	Autodesk Map guide
	Autodesk OnSide View
	Autodesk OnSide Enterprise
Visualizadores	Volo View
	DWF Composer
	DWF Viewer
Colaboración	Autodesk Buzzsaw

#### **b. Programas de Product Development Technology (PTC, Inc.)**

La familia de productos de PTC se muestra en la Tabla 1.4, siendo el principal programa de esta compañía ProENGINEER, constituido por varios módulos integrados, que cubren la totalidad del proceso de desarrollo del producto, desde la concepción inicial hasta la reparación y mantenimiento, pasando por la definición detallada del producto.

**Tabla 1.4: Familia de productos PTC.**

CARACTERÍSTICAS	SOFTWARE
Diseño de productos	ProENGINEER
Análisis FEA	Pro/Mechanical
Diseño compartido	Pro/Desktop
Visualización de archivos	Division
Colaboración	Windchill

### c. Productos de Dassault Systèmes

La filosofía de esta compañía gira en torno al ciclo de vida del producto, de tal manera que ha pasado a convertirse más que en el productor de un software de diseño, en un conjunto articulado de herramientas que busca asistir a las empresas en todos los aspectos relacionados con el producto, desde su concepción hasta su mantenimiento.

En la Tabla 1.5 se muestra los programas desarrollados por la empresa Dassault Systèmes.

**Tabla 1.5: Familia de productos Dassault Systèmes.**

CARACTERÍSTICAS	SOFTWARE
Diseño de productos	CATIA
PLM y toma de decisiones	ENNOVIA
Gerencia compartida	SMARTEAM
Ingeniería concurrente	DELMIA
Desarrollo de plataforma V5.	ESPACIAL
Dibujo 2D y 3D	SolidWorks

### d. Productos de Unigraphics Solutions (UGS)

Esta empresa surge de la unión de dos grandes empresas: la Unigraphics Solutions como una de las pioneras de software CAM, y la SDRC. La unión de estas compañías permite la generación de una oferta importante bajo el concepto de la gestión del ciclo de vida del producto. El portafolio de productos actualmente ofrecidos por UGS se muestra en la Tabla 1.6.

**Tabla 1.6: Familia de productos UGS.**

CARACTERÍSTICAS	SOFTWARE
Gestión de conocimiento, bajo enfoque PLM	TeamCenter
Desarrollo de producto	NX
Dibujo 2D y 3D	Solid Edge
Ingeniería concurrente	E-Factory

### 1.10.2. SOFTWARE PARA DISEÑO ELECTRÓNICO Y SIMULACIÓN.

Pareja A. (2013) explica que existe una cantidad importante de programas que facilitan la labor de análisis, emulación de funcionamiento y diseño electrónico de circuitos. Los programas más usados son los siguientes: PCB 123, ExpressPCB, BSch3V, FreePCB, TinyCAD, Pad2pad, Designworks, MultiSim, Livewire, Circuit Maker Orcad, Proteus, Niple, Eagle.

Siendo Proteus un completo entorno de diseño, que permite realizar todas las tareas de diseño de circuitos electrónicos, tales como: dibujo de esquemas de circuitos, simulación interactiva de circuitos analógicos, digitales, y con microcontroladores, con animación en tiempo real, además del diseño de circuitos impresos.

En la Figura 1.48 se observa la pantalla principal del software Proteus.

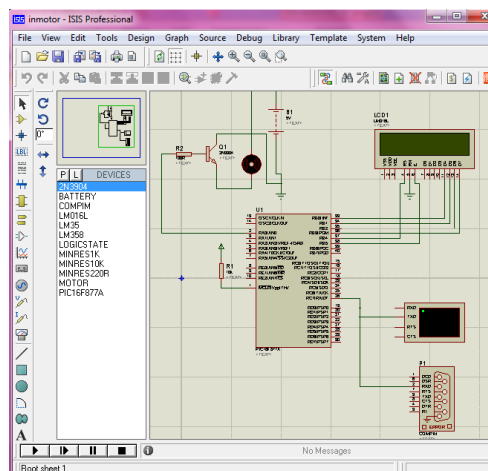


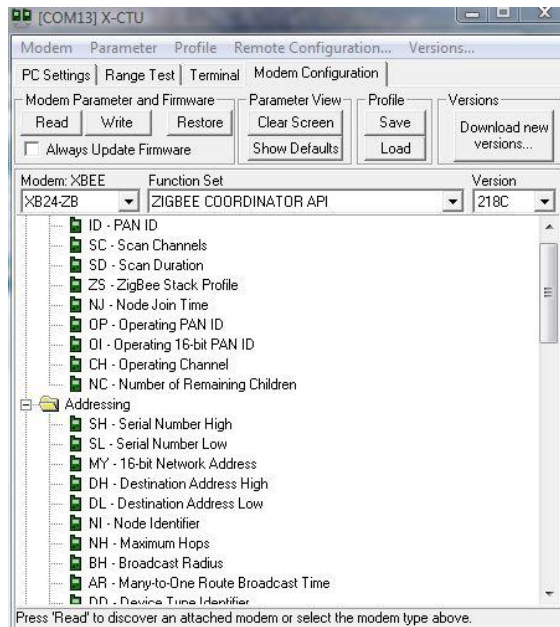
Figura 1.48: Pantalla principal de Proteus.

### 1.10.3. SOFTWARE PARA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

El programa X-CTU (Figura 1.49) es una herramienta esencial para el manejo de los módulos XBee, desarrollado por Digi para la configuración y manejo de sus dispositivos; con este software se puede además de configurar los dispositivos con los parámetros adecuados para la red,



realizar pruebas de cobertura antes de hacer el despliegue de los dispositivos (Techno-Hall, 2012).



**Figura 1.49: Programa X-CTU.**

**Fuente:** Jenny Mata, Ivan Molina.

#### 1.10.4. SOFTWARE HMI

Permiten entre otras cosas las siguientes funciones: Interface gráfica de modo de poder ver el proceso e interactuar con él, registro en tiempo real e histórico de datos, manejo de alarmas. Si bien es cierto sólo con la primera función enunciada es propiamente un HMI, casi todos los proveedores incluyen las otras dos ya sea en el mismo paquete o bien como opcionales, es normal que dispongan de muchas más herramientas. Al igual que en los terminales de operador, se requiere de una herramienta de diseño o desarrollo, la cual se usa para configurar la aplicación deseada, y luego debe quedar corriendo en el PC un software de ejecución (Cobo, 2010).

Un software HMI puede comunicarse directamente con los dispositivos externos (proceso) o bien hacerlo a través de un software especializado en la comunicación, la cual es la tendencia actual (Figura 1.50).



**Figura 1.50: Entorno Gráfico de un HMI.**

Programas como el InTouch de la Wonderware, TouchWin de Xinje, por mencionar algunos; constituyen plataformas de desarrollo que facilitan el diseño de los HMI en computadoras. Algunos de estos paquetes de desarrollo incluyen muchas herramientas poderosas que permiten el desarrollo de HMI's de mucho potencial de procesamiento

## CAPÍTULO II

### DISEÑO DE LA ESTACIÓN DIDÁCTICA

#### 2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En el presente proyecto se desea realizar el diseño y construcción de una estación didáctica para el suministro y transporte de materia granulada con interfaz humano-máquina y comunicación inalámbrica para el Laboratorio de Mecatrónica de la ESPE-L, este proceso debe cumplir con las etapas que se detalla a continuación:

**Abastecimiento:** El depósito o tolva va a ser alimentada de materia granulada de forma manual por el usuario, mediante algún dispositivo se deberá conocer el nivel de producto que se encuentra disponible en la misma.

**Suministro:** Proporciona una medida apropiada de producto para los envases pequeños, debe ser capaz de dosificar granos de diversos tamaños y en diferentes porciones de acuerdo a la necesidad del usuario.

**Transporte:** En esta etapa se utilizará una banda transportadora la misma que se encargará de mover los envases pequeños inicialmente vacíos hacia el sistema de suministro y hasta el final de la banda.

**Comunicación Inalámbrica:** La estación didáctica posee una red inalámbrica de sensores y actuadores.

**Controlador:** El proceso será controlado con un PLC.

**Interfaz Humano-Máquina:** Permite la interacción entre el operador y las variables del proceso mediante un entorno gráfico disponible en una pantalla táctil.

En la Figura 2.1 se ilustra la estación didáctica que se pretende diseñar y construir.



**Figura 2.1:** Estación didáctica que se pretende diseñar y construir.

## **2.2. DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO**

### **2.2.1. CRITERIOS DE DISEÑO**

Antes de diseñar cada una de las partes que conforman el sistema mecánico es muy importante tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- La estación será parte de un laboratorio.
- El material debe tener resistencia a la corrosión y no desprender sustancias nocivas al estar en contacto con los granos.
- Debe ser estable mecánicamente.
- Fácil desmontaje de sus componentes debido a que contendrá una red inalámbrica de sensores y actuadores.

## 2.2.2. FACTOR DE SEGURIDAD

El factor de seguridad para los elementos mecánicos que conforman el diseño, deben tener un valor base, el cual está establecido por organizaciones o por experiencias previas bajo condiciones similares.

Este factor de seguridad permitirá el rediseño y análisis estático, ya que cada elemento debe tener un valor por encima del seleccionado, y de esta manera pueda ser confiable y seguro, además asegurará que el elemento trabajará en condiciones favorables bajo la carga aplicada; para este caso y según la teoría de (Mott, 2006) quien manifiesta que para estructuras estáticas con alto grado de confianza en el conocimiento de las propiedades del material se utiliza:

$$\text{F.S.} = 2$$

## 2.2.3. DISEÑO DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Para la estación de suministro y transporte de materia granulada a construir se requiere de una banda transportadora para trasladar recipientes plásticos desde una posición de inicio hacia una posición final pasando por una etapa media donde son suministrados de producto. Esta estructura debe contar con un sistema de soportes que facilitará su cambio de ubicación ya que será parte de un sistema con características inalámbricas.

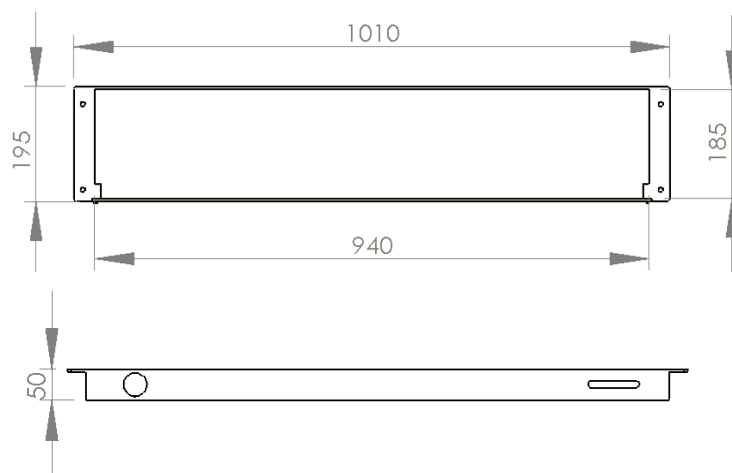
### **Componentes estructurales de la banda transportadora**

Los componentes estructurales de la banda transportadora a diseñarse son:

- a. Estructura de soporte
- b. Tambor motriz y de retorno
- c. Correa o cinta
- d. Elementos tensores
- e. Elementos motrices

- a. **Estructura de soporte:** Debe ser firme ya que sirve de sostén a los componentes de la banda transportadora, tomando en cuenta esta característica y los criterios de diseño detallados en la sección 2.2.1, el material óptimo sería acero inoxidable pero por su elevado costo y la dificultad de encontrar el espesor requerido (5 mm) en el mercado nacional se ha descartado esta opción; es por esto que el material designado para este componente estructural es pletina de acero AISI 1020 cuyas características, propiedades y aplicaciones se muestran en el ANEXO A-1 (PROPIEDADES ACERO AISI – SAE 1020), adicionalmente y para evitar la corrosión será sometido a un proceso de pintado electrostático.

En cuanto a las dimensiones, se ha realizado una previa investigación para encontrar las medidas idóneas de la banda transportadora y se ha tomado en cuenta los requerimientos de los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica. Se ha llegado a la conclusión de que la banda transportadora no debe ser tan pequeña como las que poseen los módulos FESTO del Laboratorio de Mecatrónica (largo: 360 mm, ancho: 40 mm); ni tan grandes como las que existen en el Laboratorio de Robótica (largo: 1950 mm, ancho: 300 mm); por lo que haciendo un promedio entre éstas se ha decidido que las dimensiones del cuadro de la estructura son las que se muestran en la Figura 2.2 las mismas que están en milímetros.



**Figura 2.2: Dimensiones del cuadro de la estructura soportante.**

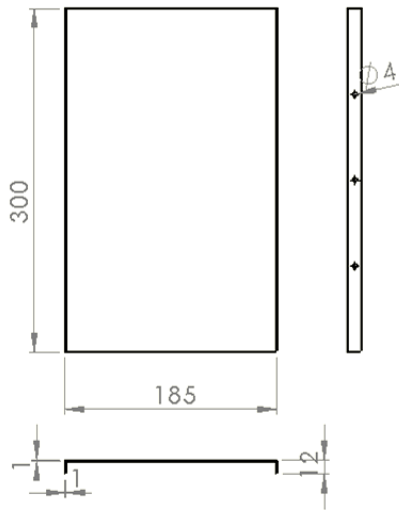
Además del cuadro de la estructura de soporte será necesaria una estructura portante; este tipo de sustentación de la cinta es el más adecuado cuando se trata de transportar productos unitarios, elaborados, piezas, etc. La cinta se desliza sobre una superficie continua que puede ser de diferentes materiales como chapa, madera, laminado plástico o acero inoxidable. El material que se ha elegido para este componente es acero inoxidable AISI 304 (observar ANEXO A-2 PROPIEDADES ACERO INOXIDABLE AISI 304) ya que posee una superficie lisa, esta característica es la adecuada para que no exista desgaste en la cinta que estará en contacto directo con ésta estructura.

Las ventajas que la estructura portante ofrece son:

- El producto se traslada con estabilidad, sin vibraciones ni desplazamientos.
- El conjunto del equipo es mucho más liviano.
- Menor deformación de la cinta transportadora.

La estructura portante debe estar situada a no más de 1 mm por debajo del plano formado por los diámetros mínimos de los tambores: motriz y de retorno, además se debe tener especial cuidado de que no estén en contacto con los tambores y rodillos ya que podrían obstruir su movimiento.

En la banda transportadora se utilizarán dos tramos de estructura portante ya que en la parte media se colocará el sistema de pesaje que se detalla en la sección 2.2.5. Tomando en cuenta los aspectos mencionados anteriormente, las dimensiones del cuadro de la estructura de soporte, la ubicación de los tambores y rodillos. Es por esto que las dimensiones más adecuadas para la estructura portante se muestran en la Figura 2.3, las mismas que se encuentran en mm.



**Figura 2.3: Dimensiones de la estructura portante.**

Todos los componentes del sistema se deben encontrar perfectamente unidos a la estructura de tal manera que siempre se respete la escuadra y el nivel de cada uno de ellos. Las uniones de las diferentes partes o secciones del sistema no deben presentar desniveles, respetando la horizontalidad de todo el conjunto para evitar que la cinta tienda a salirse de su trayectoria.

Para determinar el tipo de unión a utilizar en la estructura se realiza un breve análisis de la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1: Tipo de Unión de una estructura.**

TIPO DE UNIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Unión Atornillada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desmontable.</li> <li>• Ajustable.</li> <li>• Resistente.</li> <li>• Económico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se afloja con vibraciones.</li> <li>• Puede guardar suciedad en la unión.</li> <li>• No garantiza una unión permanente.</li> </ul>
Unión soldada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unión solida de elementos.</li> <li>• Brinda rigidez a la estructura.</li> <li>• Unión segura con mejor apariencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de equipo especializado.</li> <li>• Puede provocar deformación por calor.</li> <li>• Unión permanente.</li> </ul>

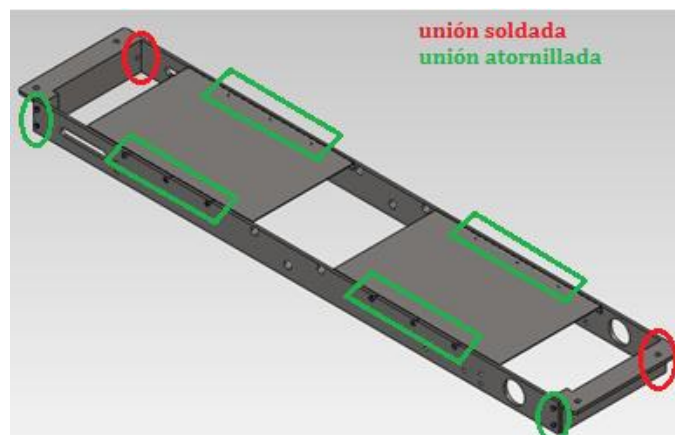


En la estructura de soporte se utilizan los dos tipos de unión: la unión soldada y la unión atornillada.

La unión soldada se encuentra en las partes que se necesitan de una unión sólida, permanente y de buena apariencia, este tipo de unión le proporciona rigidez a la estructura.

La unión atornillada es idónea para este diseño ya que aparte de ser económica, proporciona la característica didáctica que se desea para facilitar el desmonte y limpieza de todos los componentes de la banda transportadora.

En la Figura 2.4 se puede observar la estructura en mención.



**Figura 2.4: Estructura de soporte.**

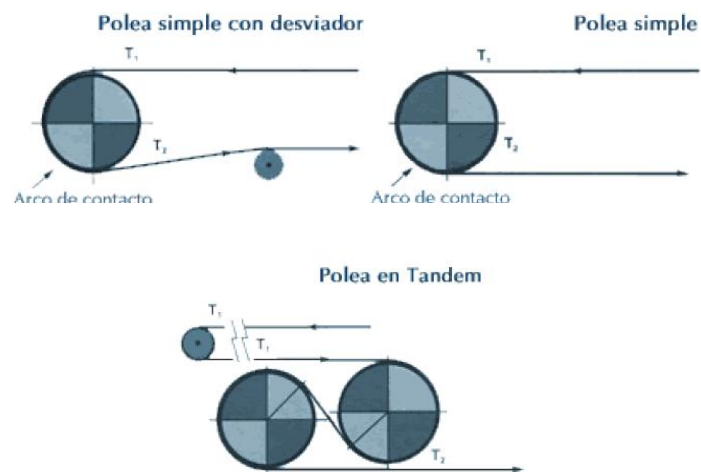
- b. Tambor motriz y de retorno:** La operación que realizan estos tambores es funcionar como poleas, las que se ubicarán en el comienzo y fin de la cinta transportadora.

La adherencia entre la cinta y el tambor motriz es la encargada de transmitirle el movimiento al sistema. Se debe tener en cuenta que a mayor arco de abrace de la banda sobre el tambor, mayor será la fuerza/potencia transmitida a la cinta; este punto tiene mucha importancia

en el cálculo del sistema en cuanto a la definición de la potencia necesaria para el movimiento.

El tambor o polea motriz, dependiendo del arco de contacto, como se muestra en la Figura 2.5 se puede clasificar en:

- Polea simple (Arco de contacto  $180^\circ$ )
- Polea simple con rodillo desviador (Arco de contacto  $210^\circ$  a  $230^\circ$ )
- Polea en Tándem (Arco de contacto  $350^\circ$  a  $480^\circ$ )



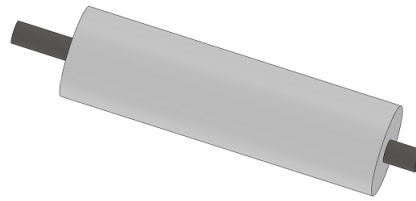
**Figura 2.5: Tipos de arco de contacto del tambor o polea motriz.**

**Fuente:** <http://www.fernandezantonio.com.ar/documentos%5C020.pdf>

Tanto para el tambor motriz como para el de retorno se aplica el caso de polea simple es decir posee un arco de contacto de  $180^\circ$ .

A continuación se realiza el diseño del tambor motriz y del tambor de retorno.

El tambor motriz consta de dos partes del rodillo y el eje que se empotra en la parte hueca media del mismo, como se puede observar en la Figura 2.6.

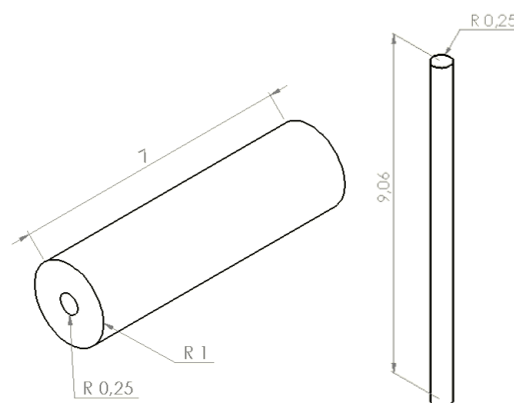


**Figura 2.6: Tambor motriz.**

Para el diseño del rodillo se le asigna el material de Poliamida 6 (PA6) debido a que este material al ser un plástico no se corroe y posee excelente resistencia al desgaste para conocer las propiedades de este material se sugiere observar el ANEXO A-3 (PROPIEDADES POLIAMIDA 6). Las medidas para el rodillo serán diámetro 2 pulgadas y longitud 7 pulgadas.

El eje es una barra de acero inoxidable AISI 316, en el ANEXO A-4 (PROPIEDADES ACERO INOXIDABLE AISI 316) se muestran las propiedades de este material. La longitud y diámetro del eje son 9.06 pulgadas y 0.5 pulgadas respectivamente.

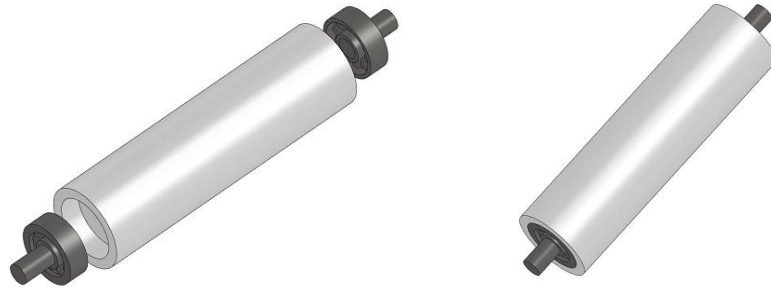
En la Figura 2.7 se puede apreciar las dimensiones que tiene el tambor motriz, la unidad de medida es pulgadas.



**Figura 2.7: Dimensiones del tambor motriz.**

El tambor de retorno se encuentra en el extremo opuesto al tambor motriz, su función es la de permitir el retorno de la cinta una vez que ésta terminó el recorrido en el tramo portante.

Como se muestra en la Figura 2.8, el tambor consta de un eje empotrado en un rodamiento y a su vez el rodamiento empotrado en el rodillo; esto de lado y lado.



**Figura 2.8: Tambor de retorno.**

Para el rodillo de retorno al igual que el rodillo motriz tiene como material Poliamida 6 (PA6) y posee los siguientes parámetros:

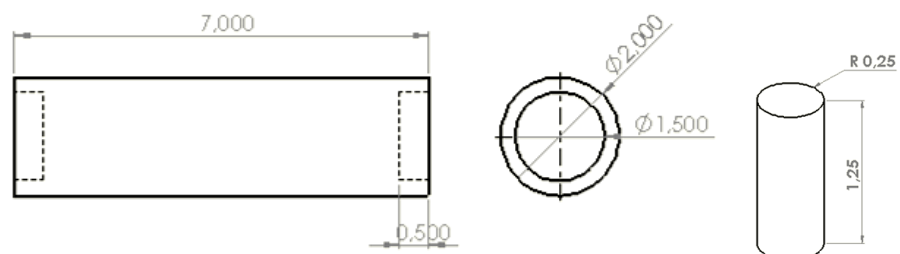
Diámetro exterior: 2 pulgadas.

Diámetro interior: 1.5 pulgadas con una profundidad de 0.5 pulgadas.

Longitud del rodillo: 7 pulgadas.

El eje es una barra de acero inoxidable AISI 316, de longitud 1.25 pulgadas y diámetro 0.25 pulgadas.

Las dimensiones del tambor de retorno se muestran en la Figura 2.9, las mismas que se encuentran en pulgadas.



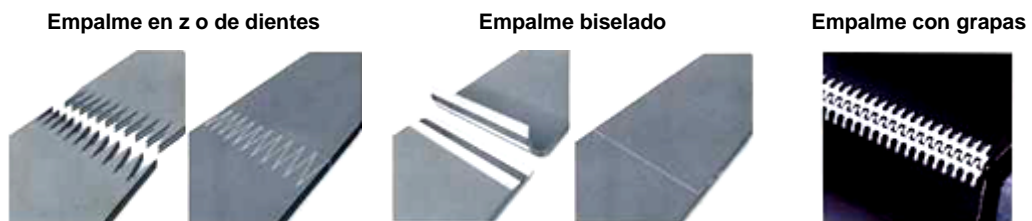
**Figura 2.9: Dimensiones del tambor de retorno.**

Como se puede notar tanto el rodillo motriz como el de retorno poseen el mismo diámetro y longitud; se le proporciona esta longitud ya que

encaja perfectamente en el cuadro de la estructura de soporte detallada en el literal a de esta sección; el diámetro fue designado en esa medida debido a que debe existir un espacio considerable para el ingreso del sistema de pesaje.

- c. Correa o cinta:** Es el elemento que está en contacto directo con el material a transportar. Para la selección se debe considerar las características del material a transportar, el tipo de empalme, y la longitud de recorrido.

Para un mejor entendimiento en la Figura 2.10 se muestra los tipos de empalme de una cinta transportadora, ésta permitirá escoger la más idónea para esta aplicación.



**Figura 2.10: Tipos de empalme en una cinta transportadora.**

Debido a que se desea transportar frascos de plástico que contendrán granos, se ha decidido utilizar una cinta cuya aplicación es el transporte de productos alimenticios, características que se detallan a continuación:

Marca: Youngli Upro 1G/12WM

Material: Poliuretano

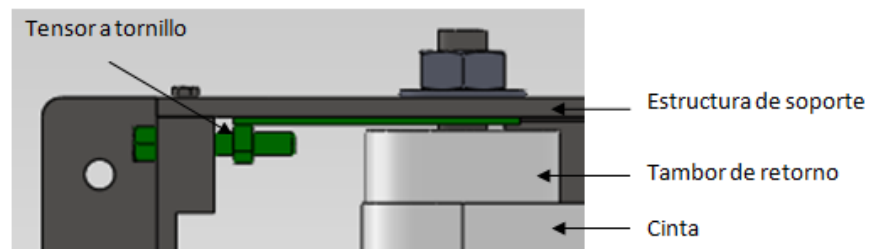
Ancho: 14 cm

Largo: 175 cm

Tipo de empalme: largo sinfín o de empalme biselado.

- d. **Elementos tensores:** En sistemas de transportes livianos es frecuente el uso de tensores a tornillo los cuales son aplicados sobre el eje del tambor de retorno, siendo éste deslizante sobre la estructura principal.

En la Figura 2.11 se puede observar lo explicado anteriormente, el tensor a tornillo se encuentra de color verde.



**Figura 2.11: Tensor a tornillo.**

El sistema de tensado se ayuda con 3 rodillos que se encuentran ubicados en la parte media de la banda transportadora, este tramo es de vital importancia debido a que aparte de ayudar en el tensado de la cinta, también da lugar a la colocación del sistema de pesaje.

Las dimensiones se muestran en la Figura 2.12 y sus parámetros de diseño se detallan a continuación:

Material: Barra de acero inoxidable AISI 316.

Longitud total: 8 pulgadas.

Longitud del rodillo: 7 pulgadas.

Diámetro rodillo: 0.625 pulgadas.

Diámetro desbaste: 0.2 pulgadas.

Longitud desbaste: 0.5 pulgadas.



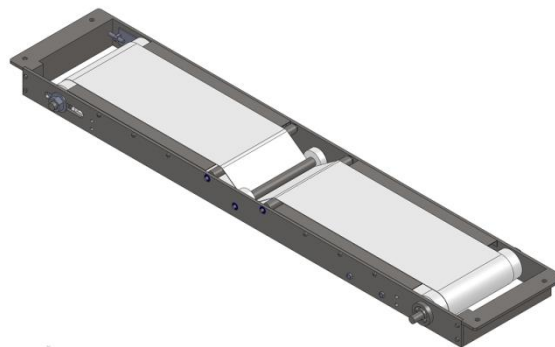
**Figura 2.12: Dimensiones de los rodillos medios.**

**e. Elementos motrices:** Se trata de todos los elementos que permiten el movimiento al sistema de la banda transportadora, el elemento motriz de mayor uso es el del tipo eléctrico. El motor, las poleas, los engranajes, el motorreductor, son elementos que componen el sistema motriz.

En esta sección es preciso dimensionar el motor que se va hacer uso, para ello se realizarán los cálculos de toda la estructura, tomando en cuenta los parámetros y criterios antes mencionados.

### **Cálculos para la banda transportadora.<sup>4</sup>**

En la Figura 2.13 se muestra la banda transportadora ensamblada con los componentes estructurales antes diseñados, la misma será objeto de estudio en la determinación de esfuerzos y potencia requerida para su correcto funcionamiento.



**Figura 2.13: Banda Transportadora.**

### **Área del material a transportar.**

Se transportarán dos tipos de frascos plásticos denominados por los diseñadores como frasco grande y frasco pequeño. Al tratarse de recipientes de forma cilíndrica que contendrán materia granulada (se considera el nivel máximo de llenado), se aplica la siguiente expresión.

$$A = 2 * \pi * r * (h + r) \qquad \text{Ec. 2.1}$$

<sup>4</sup> Manual de fabricación de bandas y rodillos transportadores- Pirelly (1992), Willian-Editorial Mac Graw Hill- Madrid (España)

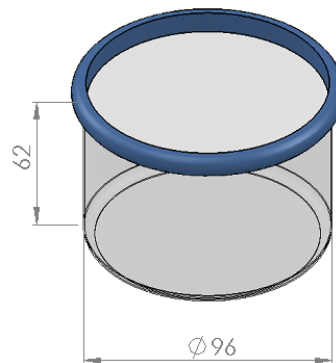
Donde:

$A$ : Área del cilindro ( $m^2$ ).

$r$ : Radio del cilindro (m).

$h$ : Altura del cilindro (m).

Dado que existen dos tamaños de recipientes, los cálculos se realizarán con el recipiente de mayor tamaño, sus respectivas medidas están en mm y se muestran en la Figura 2.14.



**Figura 2.14: Dimensiones de frasco grande.**

$r$ : 48 mm = 0.048 m

$h$ : 62 mm = 0.062 m

Aplicando la Ec. 2.1 se obtiene:

$$A = 2 * \pi * 0.048m (0.062m + 0.048m)$$

$$A = 0.033 m^2$$

### **Velocidad de la banda transportadora**

Para determinar la cantidad máxima de frascos sobre la cinta transportadora se toma en cuenta los siguientes parámetros:

Longitud de la banda: 0.79 m

Diámetro frasco grande: 0.096 m

$$n = \frac{L}{D}$$

**Ec. 2.2**



Donde:

$n$ : Número de recipientes.

$L$ : Longitud de la banda.

$D$ : Diámetro frasco

$$n = \frac{0.79 \text{ m}}{0.096 \text{ m}}$$

$$n = 8 \text{ frascos}$$

En un minuto se tendrán 8 recipientes con un peso máximo de 500 g por unidad, para una longitud de trabajo de 0,79 metros.

Para el cálculo de la velocidad se aplica la siguiente expresión:

$$v = N * L \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

$N$ : Número de recipientes que pasan por la banda en una hora.

$L$ : Longitud de la banda.

$v$ : Velocidad de la banda transportadora.

$$v = 480 \frac{\text{frascos}}{\text{hora}} * 0.79 \text{ m}$$

$$v = 379.2 \text{ m/h}$$

### Holgura de la banda.

Este valor a calcular de acuerdo la expresión matemática de la ecuación 2.4 corresponde al espacio libre a mantenerse en los costados de la cinta transportadora para impedir que el material a transportar sobresalga.

$$c = 0.055(B + 0.9) \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde:

$c$ : holgura de la banda (pulgadas).

$B$ : ancho de la banda (pulgadas).

Para el módulo en desarrollo el valor que corresponde a B es de 14 cm, o bien 5,512 pulgadas.

$$c = 0.055(5.512 + 0.9)$$

$$c = 0.353 \text{ pulgadas}$$

### **Ancho plano de la banda (material).**

Este dato corresponde al espacio designado a ocupar el material al ser transportado.

$$k = B - 2c \quad \text{Ec. 2.5}$$

$$k = 5.512 - 2(0.353)$$

$$k = 4.806 \text{ pulgadas}$$

### **Volumen sobre la cinta completamente cargada (Vc)**

$$Vc = L * A * n \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde:

L: Longitud entre rodillos de la banda.

A: Área del material a transportar.

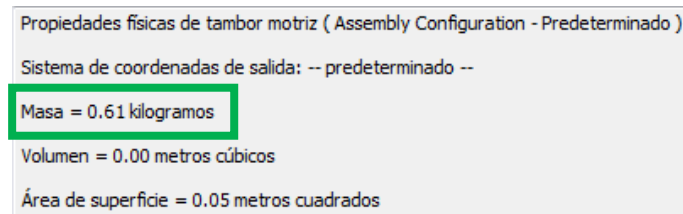
n: Número de recipientes.

$$Vc = 0.79m * 0.033 m^2 * 8$$

$$Vc = 0.21 m^3$$

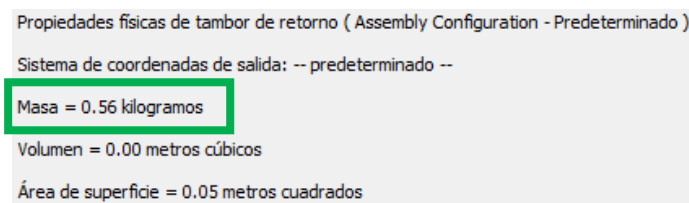
Para los cálculos posteriores se han tomado en cuenta los parámetros que se detallan a continuación. Tanto la masa de los tambores como de los rodillos medios fueron calculados y obtenidos por el software SolidWorks; no así el peso de la cinta, ya que éste es proporcionado por el fabricante.

Masa del tambor motriz: 0,61 Kg (Figura 2.15).



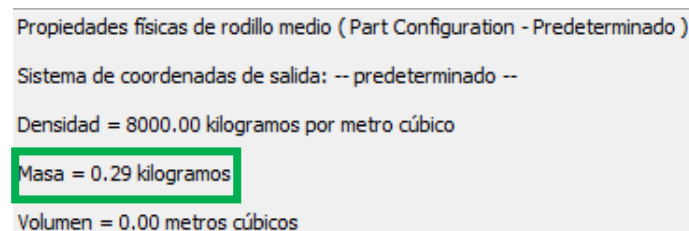
**Figura 2.15: Masa del tambor motriz.**

Masa del tambor de retorno: 0,56 Kg (Figura 2.16).



**Figura 2.16: Masa del tambor de retorno.**

Masa rodillos medios: 0,29 Kg cada rodillo (Figura 2.17).



**Figura 2.17: Masa de rodillo medio.**

Masa de la cinta: 1 Kg

**Esfuerzo necesario para mover la cinta en vacío (P1)**

$$l_o = 60 - 0.2L$$

**Ec. 2.7**

Donde:

$l_o$ : Suplemento ficticio destinado a incrementar la distancia entre ejes.

$$l_o = 60 - 0.2(0.79 \text{ m})$$

$$l_o = 59.842 \text{ m}$$

El esfuerzo necesario para mover la cinta en vacío será:

$$P_1 = f' q_p (L + l_o) \quad \text{Ec. 2.8}$$

Donde:

$f'$ : Coeficiente de rozamiento de los rodillos (observar Tabla 2.2).

$Q_p$ : Masa de la banda y de los rodillos (kg).

$$Q_p = 0,61 \text{ kg} + 0,56 \text{ kg} + 3(0,29 \text{ kg}) + 1 \text{ kg}$$

$$Q_p = 3.04 \text{ kg}$$

$q_p$ : Peso de la cinta y de las partes rodantes (kg/m).

$L$ : Longitud de la banda.

$$q_p = \frac{Q_p}{L}$$

Ec. 2.9

$$q_p = \frac{3.04 \text{ kg}}{0.79 \text{ m}}$$

$$q_p = 3.85 \text{ kg/m}$$

**Tabla 2.2: Tabla de coeficiente de rozamiento de rodillos.**

Elementos que producen rozamiento	Coeficiente de rozamiento $f$
Rodillos portantes con cojinetes a bolas, mantenimiento óptimo	0,022
Rodillos portantes con cojinetes a bolas, mantenimiento normal	0,03
Rodillos portantes con cojinetes de bronce, mantenimiento deficiente	0,05
Cinta sin cobertura de goma deslizando sobre superficie metálica pulida	0,3
Cinta sin cobertura de goma deslizando sobre superficie de madera lisa	0,35
Cinta con cobertura de goma deslizando sobre superficie metálica pulida	0,5
Cinta con cobertura de goma deslizando sobre superficie de madera lisa	0,45

Reemplazando en la ecuación 2.8, se tiene:

$$P_1 = 0.03 * 3.85 \text{ kg/m} (0.79\text{m} + 59.842 \text{ m})$$

$$P_1 = 7 \text{ kg}$$

Este esfuerzo puede considerarse subdividido en el esfuerzo necesario para mover el tramo cargado  $P_\lambda$  y el tramo del retorno  $P_R$  siendo:

$$P_1 = P_\lambda + P_R \quad \text{Ec. 2.10}$$

En general  $P_\lambda > P_R$  ya que los rodillos de soporte de la cinta están más distanciados en el ramal de retorno que en el ramal cargado. En la mayoría de los casos se tiene:

$$P_\lambda = \frac{2}{3} P_1 \quad \text{Ec. 2.11}$$

$$P_\lambda = \frac{2}{3} (7\text{kg})$$

$$P_\lambda = 4.67 \text{ kg}$$

$$P_R = \frac{1}{3} P_1 \quad \text{Ec. 2.12}$$

$$P_R = \frac{1}{3} (7\text{kg})$$

$$P_R = 2.33 \text{ kg}$$

### **Esfuerzo necesario para mover el material (P2)**

$$Q = Qp * N \quad \text{Ec. 2.13}$$

Donde:

$Q$ : Es el peso que transporta la banda por hora.

$N$ : Número de recipientes que pasan por la banda en una hora.

$$Q = 3.04 \text{ kg} * 480/h$$

$$Q = 1459.2 \text{ kg/h}$$

$$P_2 = l' \frac{Q}{3.6 v} (L + l_o)$$

**Ec. 2.14**

$$P_2 = 0.03 * \frac{1459.2 \text{ kg/h}}{3.6(379.2 \text{ m/h})} (0.79\text{m} + 59.842\text{m})$$

$$P_2 = 1.94 \text{ kg}$$

**Esfuerzo total periférico del tambor motriz (P)**

$$P = P_1 + P_2$$

**Ec. 2.15**

$$P = 7 \text{ kg} + 1.94 \text{ kg}$$

$$P = 8.94 \text{ kg} \approx 9 \text{ kg}$$

**Potencia absorbida por el transportador (Pt)**

$$P_t = \frac{P}{75} v$$

**Ec. 2.16**

Donde:

 $v$ : Velocidad de la banda transportadora.

$$P_t = \frac{9 \text{ kg}}{75} (379.2 \text{ m/h})$$

$$P_t = \frac{9 \text{ kg}}{75} (0.1053 \text{ m/s})$$

$$P_t = 12.64 \times 10^{-3} \text{ C.V}$$

$$P_t = 9.29 \text{ W}$$

**Potencia motriz necesaria (Pm)**

$$P_m = \frac{P_t}{\eta}$$

**Ec. 2.17**

Donde:

$\eta$ : Es el rendimiento

Por sugerencia de diseño se usa el 89% (Mott, 2006).

$$P_m = \frac{9.29 W}{0.89}$$

$$P_m = 10.44 W$$

### Cálculo de la potencia efectiva ( $P_{efectiva}$ )

$$P_{efectiva} = P_m * \eta \quad \text{Ec. 2.18}$$

$$P_{efectiva} = 10.44 W * 0.89$$

$$P_{efectiva} = 9.29 W$$

### Cálculo de la fuerza periférica en el tambor ( $F_{pt}$ )

$$P_{pt} = \frac{P_{efectiva} * 100}{v} \quad \text{Ec. 2.19}$$

$$P_{pt} = \frac{9.29 \times 10^{-3} KW * 100}{0.1053 m/s}$$

$$P_{pt} = 8.82 KN$$

### Selección del motor para la banda transportadora.

Una vez realizados los cálculos necesarios para la banda transportadora es de vital importancia seleccionar el motor para lo cual se calcula su potencia.

$$P = \frac{P_{pt} * v}{33000} \quad \text{Ec. 2.20}$$

$$P_{pt} = 8.82 KN = 8820 N \times \frac{0,224809 lb}{1 N} = 1982.82 lb$$

$$v = 379.2 \frac{m}{h} \times \frac{1 h}{60 min} \times \frac{3.28 ft}{1m} = 20.73 ft/min$$

Se debe convertir el esfuerzo en libras y la velocidad de la banda en ft/min para obtener el resultado en HP, de lo cual se tiene:

$$P = \frac{1982.82 \text{ lb} * 20.73 \text{ ft/min}}{33000}$$

$$P = 1.25 \text{ HP}$$

### Determinación de Cargas.

Para el análisis de las fuerzas en la banda transportadora, se toma en cuenta el valor calculado en la ecuación 2.9 que convirtiendo a N/m se tiene:

$$3.85 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times \frac{9.80665 \text{ N}}{1 \text{ kg}} = 37.76 \text{ N/m}$$

Para determinar cargas se realiza el siguiente diagrama de cuerpo libre como se muestra en la Figura 2.18.

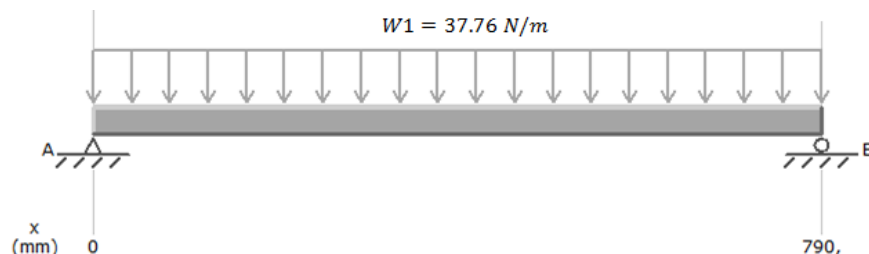


Figura 2.18: Diagrama de cuerpo libre de la banda transportadora.

Para facilitar cálculos se convertirá a una fuerza puntual (Figura 2.19).

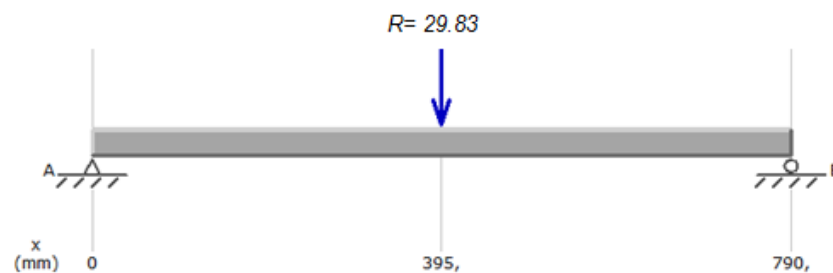


Figura 2.19: Diagrama con carga puntual.



$$\begin{aligned}\Sigma Fy &= 0 \\ R_A + R_B - R &= 0 \\ R_A &= R - R_B\end{aligned}$$

**Ec. 2.21**

$$\begin{aligned}\Leftrightarrow \Sigma M_A &= 0 \\ R_B(0.79m) - R(0.395m) &= 0 \\ R_B(0.79m) &= 29.83N (0.395m) \\ R_B &= \frac{11.78285 Nm}{0.79 m} \\ R_B &= 14.92 N\end{aligned}$$

Reemplazar  $R_B$  en Ec. 2.21:

$$\begin{aligned}R_A &= 29.83 N - 14.92 N \\ R_A &= 14.92 N\end{aligned}$$

Cálculo de áreas para determinar el momento máximo.

$$\begin{aligned}A_1 &= \frac{0.395m (14.92N)}{2} = 2.95 Nm \\ A_2 &= \frac{0.395m (14.92N)}{2} = 2.95 Nm\end{aligned}$$

$$M_{max} = 2.95 Nm$$

Como se tiene una carga distribuida de  $37.76 N/m$  sobre la banda transportadora, se determinan los valores de las reacciones en los puntos A y B dando como resultado  $14.92 N$  en ambos casos, se realiza además el cálculo del momento máximo cuyo resultado es de  $2.95 Nm$ .

Los valores calculados anteriormente se muestran en los diagramas de fuerzas y momentos realizados en el software MDSolids de la Figura 2.20.

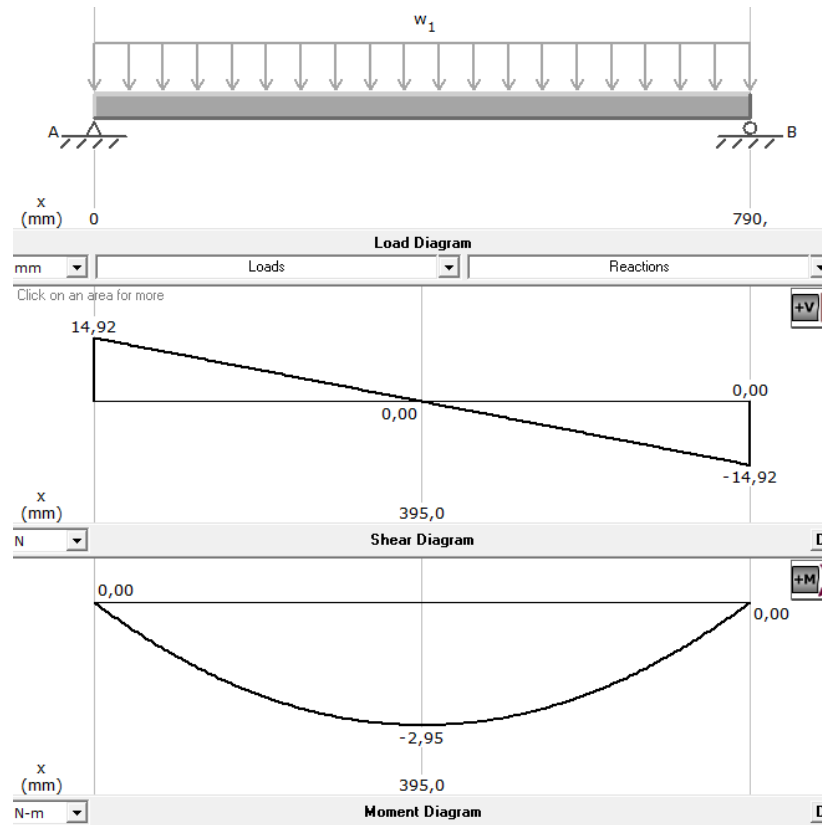


Figura 2.20: Diagrama de fuerzas y momentos de la banda transportadora.

#### 2.2.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Para transmitir la potencia calculada se utilizará el sistema de transmisión piñón-cadena. La relación entre piñones es de 1 a 1 es decir que los dos piñones tienen el mismo número de dientes  $n=10$ .

La cadena (Figura 2.21) proporciona una transmisión de potencia uniforme y eficiente con una baja fricción y una transmisión eslabón a eslabón, que es esencial en transmisiones síncronas. Todas esas cadenas están clasificadas según las dos normas principales, el estándar norteamericano (ANSI) y el británico (BS-ISO).



**Figura 2.21: Cadena.**

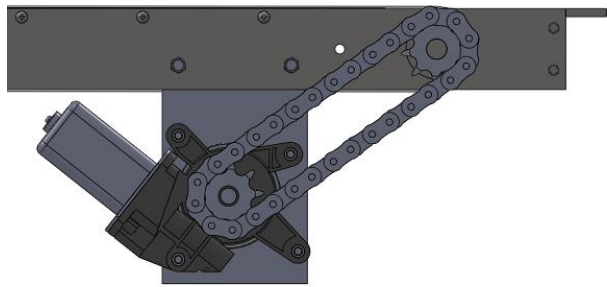
La cadena a utilizar es una eslabonada de tipo 520 cuyas características se muestran en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3: Especificaciones para cadenas eslabonadas de acero.**

Denominación	Paso (Distancia entre eje de los pines)	Diametro del Diente	Ancho entre placas interiores	Diametro del Pin	Longitud del Pin	Diametro externo eslabon	Espesor de la placa del eslabón	Resistencia a la tracción
	P	d1	b1	d2	L	h2	T	KN
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
25H	6.35	3.3	3.18	2.31	8.88	6.0	1.0	4.9
270H	8.5	5	4.75	3.28	13.15	8.45	1.8	9.9
420	12.7	7.77	6.25	3.96	14.9	12.0	1.5	16.2
420H	12.7	7.77	6.25	3.96	15.0	12.0	1.55	17.4
428	12.7	8.51	7.75	4.45	16.7	11.8	1.6	18.9
428H	12.7	8.51	7.75	4.45	18.7	11.8	2.03	20.8
<b>520</b>	<b>15.875</b>	<b>10.16</b>	<b>6.25</b>	<b>5.08</b>	<b>17.5</b>	<b>15.09</b>	<b>2.03</b>	<b>26.7</b>
520H	15.875	10.16	6.25	5.08	18.9	15.09	2.42	28.1
530	15.875	10.16	9.4	5.08	20.7	15.09	2.03	26.7
530H	15.875	10.16	9.4	5.08	22.1	15.09	2.42	28.2

**Fuente:** NPC (2014). Recuperado de: <http://www.autopartsunrise.com/index.php?/View-document/70-Hoja-Tecnica-de-Cadena-de-Motos-NPC.sunrise>

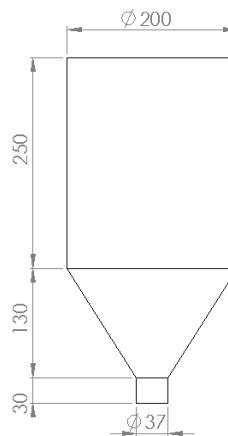
En la Figura 2.22 se puede observar el sistema piñón-cadena diseñado en el software SolidWorks, para la transmisión de potencia del motor de la banda transportadora.



**Figura 2.22: Sistema de transmisión piñón-cadena.**

### 2.2.5. DISEÑO DE LA TOLVA

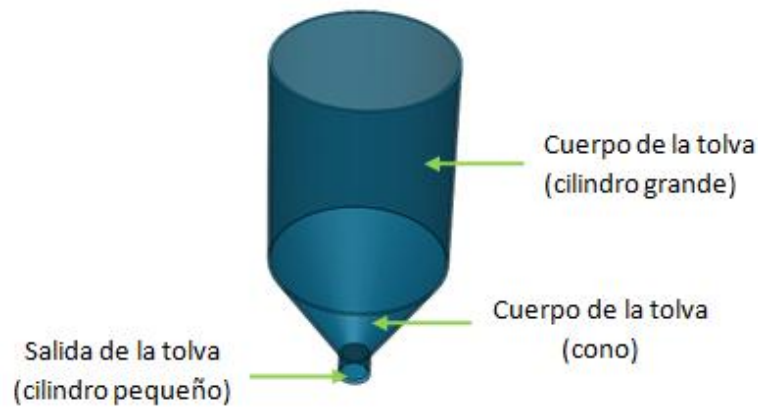
Al diseñar el dispositivo de almacenamiento o tolva se tomó en consideración las dimensiones de todo el sistema mecánico que se encuentran en el ANEXO B (PLANOS MECÁNICOS), para que su tamaño vaya en proporción al mismo, cuyas dimensiones se muestran en la Figura 2.23 estando éstas en milímetros.



**Figura 2.23: Dimensiones de la tolva.**

### Cálculo de la capacidad de la tolva

Para realizar el cálculo del volumen de la tolva se la divide en tres partes como se muestra en la Figura 2.24.



**Figura 2.24: Dispositivo de almacenamiento o tolva.**

**Volumen del cilindro grande (cuerpo de la tolva)**

$$V_1 = \pi * r^2 * h \quad \text{Ec. 2.22}$$

$$V = \pi * (10\text{cm})^2 * 25\text{cm}$$

$$V = 7853.98 \text{ cm}^3$$

**Volumen del cilindro pequeño (salida de la tolva)**

$$V_2 = \pi * r^2 * h \quad \text{Ec. 2.23}$$

$$V = \pi * (1.85 \text{ cm})^2 * 3\text{cm}$$

$$V = 32.26 \text{ cm}^3$$

**Volumen del cono (cuerpo de la tolva)**

$$V_3 = \frac{\pi * r^2 * h}{3} \quad \text{Ec. 2.24}$$

$$V = \frac{\pi * (10 \text{ cm})^2 * 13\text{cm}}{3}$$

$$V = 1361.36 \text{ cm}^3$$

**Volumen Total de la tolva**

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 \quad \text{Ec. 2.25}$$

$$V_T = 7853.98 \text{ cm}^3 + 32.26 \text{ cm}^3 + 1361.36 \text{ cm}^3$$

$$V_T = 9247.6 \text{ cm}^3$$

Luego realizar los cálculos se determina que el volumen de la tolva es de  $9247.6 \text{ cm}^3$ , el peso total de la tolva dependerá de la densidad del material a contener.

El material del cual será fabricada la tolva es acrílico de 3 mm de espesor por tener una dureza tres veces mayor a la del vidrio y por tener una superficie lisa y brillante similar a este. Para conocer más propiedades de este material diríjase al ANEXO A-5 (PROPIEDADES DEL ACRÍLICO).

El material seleccionado es el idóneo, tomando en cuenta que será parte de un módulo didáctico y debe ser resistente a la manipulación de los estudiantes y en el caso de que exista caída no sufra mayor daño.

### **Análisis del tipo de flujo en la tolva.**

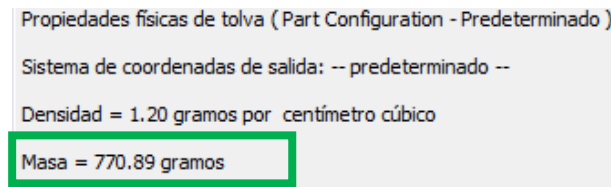
Para el análisis del tipo de flujo en la tolva es necesario revisar la teoría de la sección 1.2.1, tomando en cuenta las dimensiones y forma de la tolva, ésta posee un flujo másico es decir que todo el material cae sin que queden zonas de remanso.

### **2.2.6. DISEÑO DEL SOPORTE DE LA TOLVA**

Para el diseño de este elemento es preciso conocer el peso que tiene la tolva completamente llena de producto. Debido a que se va a trabajar con tres tipos de granos (canguil, arroz, fréjol) no se tendrá el mismo peso sobre el soporte; por lo que se tomará en cuenta únicamente el peso máximo de la tolva, es decir cuando se encuentra contenida de arroz, ya que éste es el producto más pesado.

Peso del arroz: 7 kg.

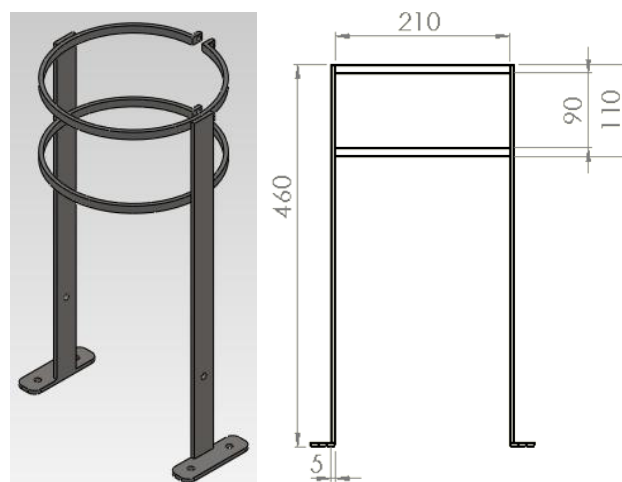
Peso de la tolva vacía: 0.77089 kg (Figura 2.25).



**Figura 2.25: Masa de la tolva.**

Peso máximo es de: 7.771 kg

En la Figura 2.26 se puede observar el soporte de la tolva con sus respectivas dimensiones las mismas que están definidas en mm; el material de esta estructura es acero AISI 1020 (ANEXO A-1 PROPIEDADES ACERO AISI - SAE 1020), se ha escogido este material por su alto grado de confiabilidad y resistencia.

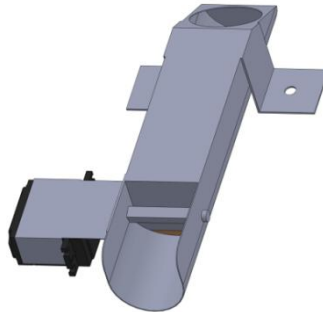


**Figura 2.26: Dimensiones del soporte de la tolva.**

## 2.2.7. DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO

Luego de revisar la sección 1.3.2 para el suministro de los granos desde la tolva hacia los frascos, se diseña un sistema de suministro (Figura 2.27),

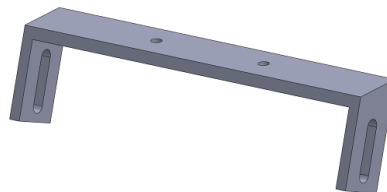
el mismo que consta de un desnivel con un ángulo de inclinación de  $60^\circ$  y de una compuerta la misma que posee una escobilla para evitar la ruptura de granos en este proceso.



**Figura 2.27: Sistema de suministro.**

La estructura del sistema de suministro tiene como material acero inoxidable AISI 304 (ver ANEXO A-2 PROPIEDADES ACERO INOXIDABLE AISI 304), éste material es el más adecuado ya que no desprende sustancias nocivas al estar en contacto directo con los granos y sobretodo es resistente a la corrosión.

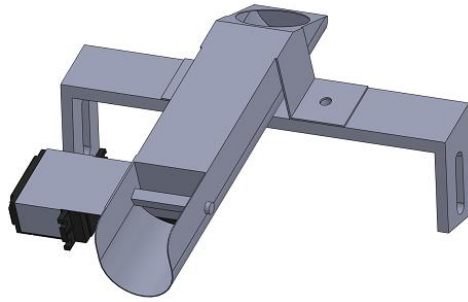
La base de sustento del sistema de suministro se muestra en la Figura 2.28, para este elemento el material designado es acero AISI 1020 (ANEXO A-1 PROPIEDADES ACERO AISI - SAE 1020) ya que se necesita estabilidad y resistencia al soportar no solo el peso del sistema de suministro sino también de la tolva llena de producto.



**Figura 2.28: Base del sistema de suministro.**

En la figura 2.29 se muestra el sistema de suministro sobre su base. La compuerta es accionada por un servomotor cuyas características se describen en la sección 2.3.3, literal b.



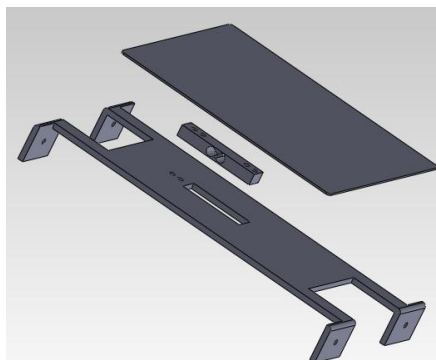


**Figura 2.29: Sistema de suministro sobre su base.**

Las dimensiones a detalle de la estructura del sistema de suministro y su respectiva base se muestran en los ANEXOS B-28 al B-32 (SISTEMA DE SUMINISTRO).

#### **2.2.8. DISEÑO DEL SISTEMA DE PESAJE**

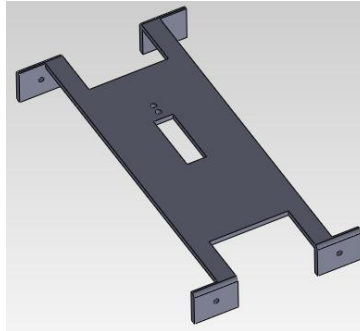
A continuación se realiza el diseño del sistema de pesaje (Figura 2.30) el mismo que estará colocado en la parte media de la banda transportadora y debajo del sistema de suministro para lograr una exactitud en cuanto a los pesos patrones o valores que desea el usuario de este módulo; para esto se realiza un mecanismo parecido al de una balanza digital convencional. Las dimensiones de este sistema se las puede observar en los ANEXOS B-34 al B-36 (SISTEMA DE PESAJE).



**Figura 2.30: Sistema de pesaje.**

El sistema está constituido por tres partes:

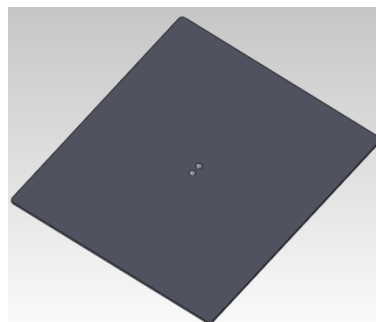
- a. **Base:** Esta parte es el soporte del sistema de pesaje, por lo que debe estar colocada y sujeta perfectamente a la estructura de la banda transportadora.



**Figura 2.31: Base del sistema de pesaje.**

En la Figura 2.31 se muestra la base del sistema de pesaje la misma que tiene como material acero AISI 1020 ver ANEXO A-1 (PROPIEDADES ACERO AISI - SAE 1020).

- b. **Tapa:** Es la parte que va estar en contacto directo con los frascos (Figura 2.32), se encuentra atornillada a la celda de carga. Este componente como estará en contacto con el producto se construirá de acero inoxidable AISI 304.



**Figura 2.32: Tapa en el sistema de pesaje.**

- c. **Celda de carga:** Una celda de carga es un sensor que basa su funcionamiento en el efecto piezoresistivo de una galga extensiométrica,

es decir que la deformación de la estructura tiene una variación de la resistencia eléctrica.

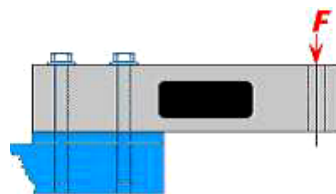
En la sección 2.3.2, literal c, se detallará su calibración y conexiones; a continuación simplemente se realizará un breve análisis de fuerzas en una celda de carga.

### **Análisis de fuerzas en una celda de carga**

Para comprender la forma exacta en que una fuerza debe ser aplicada a la celda de carga es muy importante para el buen diseño de un sistema de pesaje, permitiendo además una correcta selección del modelo de celda de carga.

Las especificaciones técnicas de las celdas de cargas han sido determinadas bajo condiciones de laboratorio, aplicando la carga o fuerza a la celda bajo condiciones lo más cercanas posibles a la perfección.

En la Figura 2.33 se observa una aplicación con una celda de carga de tipo viga de flexión. Uno de los lados está firmemente fijado a una base rígida, con el extremo opuesto libre para flexionar, de acuerdo al peso o carga aplicada. La superficie será perfectamente plana, horizontal y totalmente rígida.



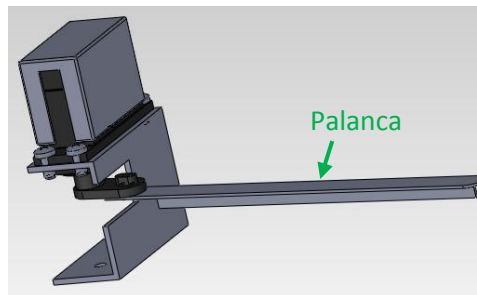
**Figura 2.33: Fuerza ideal.**

La carga  $F$  se introduce en forma vertical con un mínimo de fuerzas extrañas aplicadas. Las celdas de carga están preparadas para ser insensibles en lo posible a todas las fuerzas distintas a la vertical.

La incorrecta aplicación de fuerzas es muchas veces la causa en problemas de precisión de una balanza.

### 2.2.9. DISEÑO DEL SISTEMA DE EMPUJE.

Es necesario diseñar un sistema de empuje el mismo que será el encargado de mover los frascos vacíos sobre el sistema de pesaje y debajo del dispensador, una vez suministrados los frascos de producto actúa nuevamente este sistema para mover los frascos a continuar su trayecto en la banda transportadora.



**Figura 2.34: Sistema de empuje.**

Como se muestra en la Figura 2.34 el sistema de empuje consta de una palanca la misma que es accionada por un servomotor cuyas características y selección se muestran en la sección 2.3.3 literal c.

La estructura del sistema de empuje es relativamente pequeña por lo que no resulta costosa su construcción en acero inoxidable AISI 304, además de que es el material idóneo para evitar la corrosión. Sus dimensiones se muestran en los ANEXOS B-12 al B-15 (SISTEMA DE EMPUJE).

### 2.2.10. DISEÑO DE LAS VARILLAS GUÍA

Las varillas guías se utilizan a fin de que los frascos sigan un mismo curso durante el movimiento de la banda. La altura de las varillas es de vital

importancia y deben estar acorde a la altura de los frascos. Debido a que se tiene dos tamaños de frascos la altura será en base al frasco de menor tamaño.



**Figura 2.35: Varillas guía.**

En la figura 2.35 se puede observar las varillas guía las mismas que poseen las siguientes características:

Longitud: 950 mm

Altura: 33 mm

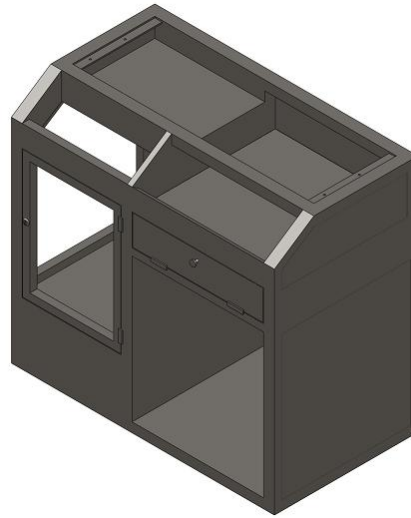
Material: Acero inoxidable AISI 316 y ASI 304

Para mayor detalle de las dimensiones, material y partes que conforman esta estructura diríjase a los ANEXOS B-37 al B-42 (SISTEMA DE GUÍAS).

## **2.2.11. DISEÑO DE LA MESA DE LA ESTACIÓN DIDÁCTICA**

### **a. Estructura base de la mesa**

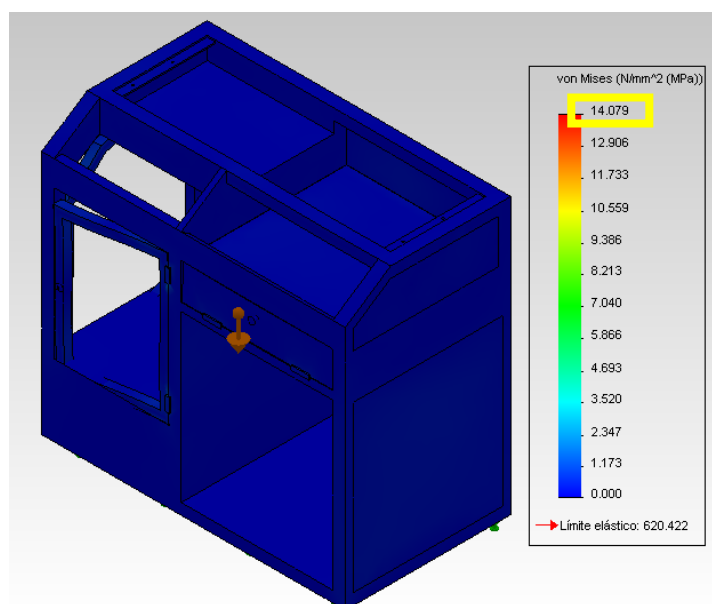
La estructura base de la mesa mostrada en la Figura 2.36, servirá de soporte a todos los elementos de la estación didáctica por lo que debe ser construido de un material resistente y estable mecánicamente es decir acero AISI 1020. Las dimensiones de esta estructura se muestran en el ANEXO B-4 (ESTRUCTURA BASE DE MESA), mismas que están acorde a la estructura de la banda transportadora diseñada anteriormente ya que es acoplada directamente en la base de la mesa.



**Figura 2.36: Estructura base de mesa.**

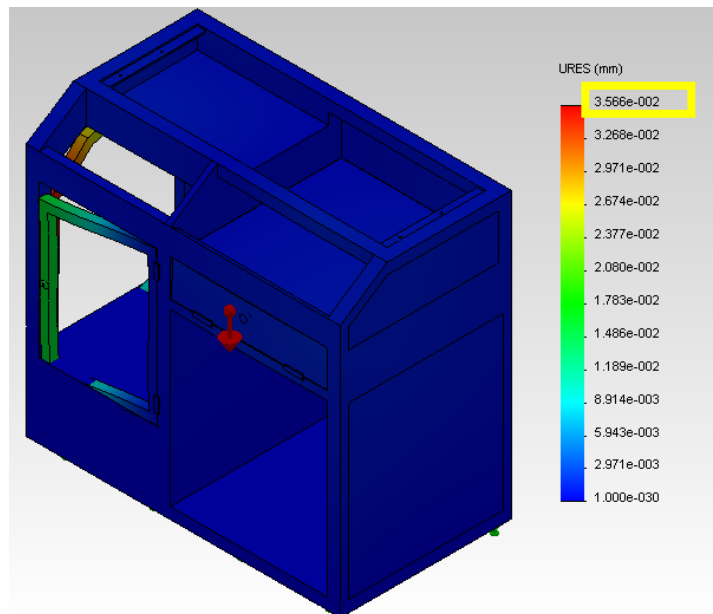
Realizando los estudios necesarios en el software SolidWorks 2011, se encuentra la tensión, el deslizamiento y las deformaciones con un factor de seguridad F.S.= 2 definido en la sección 2.2.2.

En el estudio de tensiones de Von Mises que se muestra en la Figura 2.37 se observa que el esfuerzo máximo que realiza la estructura es de 14.079 MPa.



**Figura 2.37: Tensión de Von Mises de la estructura de la mesa.**

En la Figura 2.38 se muestra la deformación que sufre la estructura, se conoce como la deflexión que tiene una viga al aplicarle una carga; la parte roja del elemento muestra donde será mayor la deformación. La distancia máxima resultante en este elemento es 0,03566 mm, debido a que este valor no es alto podrá ser despreciable y no afectará en la estructura cuando se someta a todo el esfuerzo realizado por cada uno de los elementos de la estación didáctica.

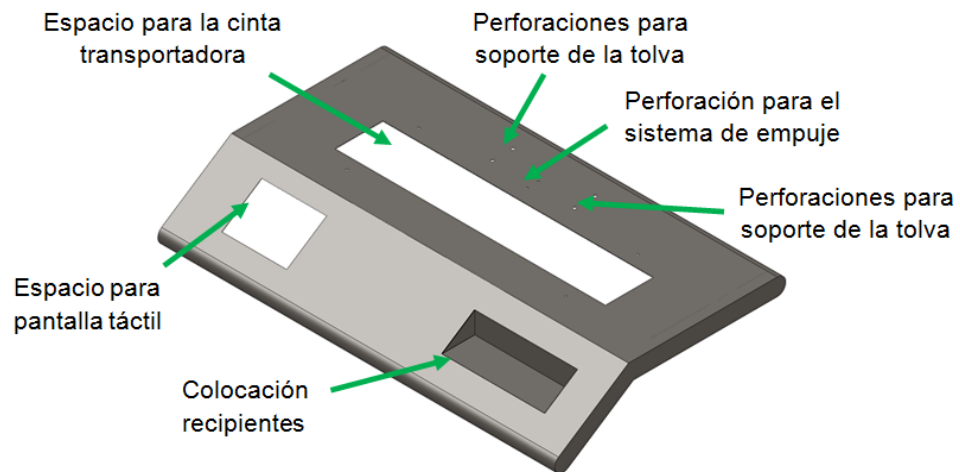


**Figura 2.38: Deformación estática en la estructura de soporte.**

### **b. Tapa de la mesa**

La estructura de la mesa está diseñada de tal manera que cubra la estructura de la banda transportadora y en la parte superior solo se observe la cinta. Además posee el espacio necesario para colocar la pantalla táctil, los recipientes, el soporte de la tolva y el sistema de empuje (Figura 2.39).

Al igual que la base, la tapa de la mesa posee acero AISI 1020 como material para conocer las dimensiones observe el ANEXO B-5 (TAPA DE MESA).



**Figura 2.39: Tapa de la mesa.**

## **2.3. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO**

En los requerimientos del sistema se detalla cada elemento eléctrico o electrónico que se necesita para que el sistema de control funcione correctamente y la manera en que se van a relacionar entre sí.

### **2.3.1. REQUERIMIENTOS GENERALES**

El sistema requiere de dispositivos sensoriales y actuadores; los primeros para el conocimiento de la posición de cada frasco, para determinar el nivel de producto que existe en la tolva y para el sistema de pesaje. En el caso de los actuadores para movilizar la banda transportadora, el accionamiento de la compuerta del dosificador y el accionamiento de la palanca del sistema de empuje.

Además se decidirá el microcontrolador a utilizar así como también se muestran los esquemas electrónicos que posteriormente se construirán e implementarán en la estación didáctica.

Los dispositivos a utilizarse son los mencionados a continuación de acuerdo a su aplicación:



### 2.3.2. SELECCIÓN DE SENSORES

Después de revisar la teoría de sensores con sus respectivas aplicaciones de la sección 1.4.1 se ha determinado el tipo de sensor que se utilizará en cada etapa los mismos que se detallan a continuación:

- a. Posición de los frascos:** Se utilizarán 3 sensores los mismos que estarán colocados: uno al inicio de la banda, el siguiente antes del sistema de pesaje y el último después del sistema de pesaje. Para esta aplicación se determina utilizar sensores infrarrojos (Figura 2.40), ya que al comparar con otros tipos de sensores resultan ser económicos.



**Figura 2.40: Sensor infrarrojo.**

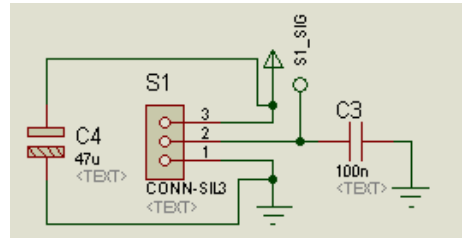
Los sensores seleccionados cuentan con las características que se muestran en la Tabla 2.4:

**Tabla 2.4: Características técnicas del sensor infrarrojo.**

Detalle	Características
Marca:	tinyos electronics
El suministro de energía:	5v
Alcance:	3-80cm ajustable
Cable rojo:	+5v
Cable amarillo:	señal
Cable verde:	GND

El esquema mostrado en la Figura 2.41 es el circuito acondicionador para cada uno de los sensores infrarrojos utilizados en el proyecto. Es

recomendable colocar en la alimentación un capacitor de 47 uF para estabilizar señales de los sensores y un capacitor de 100 nF entre la señal y tierra para eliminar pulsos falsos.



**Figura 2.41: Circuito acondicionador de un sensor infrarrojo.**

- b. Nivel de la tolva:** Para conocer el nivel de producto que existe en la tolva se decide optar por un sensor de tipo ultrasónico ya que este sensor es el más utilizado para estas aplicaciones.

Las características del sensor ultrasónico se muestran en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5: Características técnicas del sensor ultrasónico.**

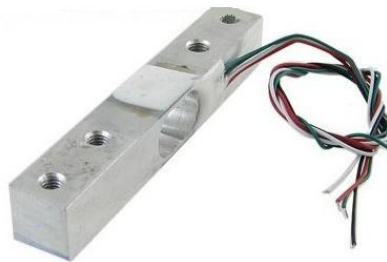
Detalle	Características
Marca:	MAX BOTIX
El suministro de energía:	2.5V-5.5V
Tasa de lectura:	20Hz
Salida serie RS232:	9600bps
Salida analógica:	10mV/pulgadas
PWM de salida:	147uS/pulgadas

El sensor LV-MaxSonar-EZ4 (Figura 2.42) es el sensor ultrasónico elegido ya que posee un bajo consumo de energía y posee características similares a un sensor ultrasónico industrial para mayor detalle se muestra la ficha técnica de este elemento en el ANEXO E-2 (CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS LV – MaxSonar - EZ4).



**Figura 2.42: Sensor Ultrasonico.**

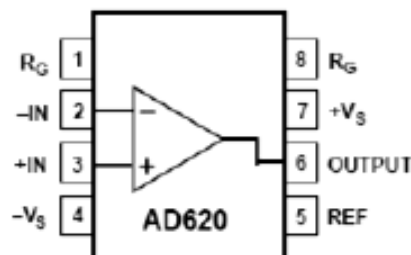
- c. **Sistema de pesaje:** Como la idea de diseño es realizar un sistema parecido al de una balanza se decide utilizar una celda de carga (Figura 2.43). Debido a que las celdas reciben la fuerza en forma de tensión se utilizan para la medición de pesos pequeños como es el caso de este proyecto.



**Figura 2.43: Celda de carga.**

### **Diseño del acondicionamiento para la celda de carga.**

El acondicionamiento de la celda de carga consta de un amplificador de instrumentación, debido a que la celda entrega un voltaje en mV en una relación proporcional al peso. El amplificador de instrumentación escogido es el integrado AD620AN (Figura 2.44).



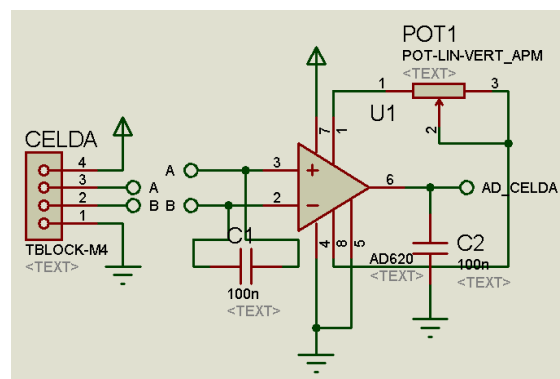
**Figura 2.44: Amplificador de instrumentación AD620AN.**

**Fuente:** <http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/AD620.pdf>

Las características generales del amplificador se detallan a continuación:

- La ganancia se coloca utilizando una sola resistencia
- Rango de ganancia de 1 a 1000
- Amplificador de bajo ruido
- Opera con voltajes BIPOLARES de +- 2.3 a +- 18 volts
- Disponible en empaquetado de 8 pines
- Consumo de 1.3 mA
- El desempeño en DC es excelente ya que solo tiene un máximo de 50  $\mu\text{V}$  de offset.
- Desvío máximo de  $0.6 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$

El circuito acondicionador para la celda de carga se muestra en la Figura 2.45. Por sugerencia del fabricante del integrado AD620AN se coloca un capacitor de 100 nF en las señales de la celda de carga antes de la etapa de amplificación y otro entre la señal amplificada y tierra; este par de capacitores servirán para evitar pulsos falsos.



**Figura 2.45: Circuito de acondicionamiento de la celda de carga.**

### 2.3.3. SELECCIÓN DE ACTUADORES

En esta sección se describirán los actuadores que se utilizarán en la estación didáctica.

- a. **Movimiento de la banda transportadora:** Para el accionamiento de la banda transportadora y después de haber realizado el cálculo de la potencia necesaria en la sección 2.2.3 Diseño de la Banda Transportadora, se utiliza un Motor DC (Figura 2.46).



**Figura 2.46: Motor de la banda transportadora.**

Las características técnicas del motor se muestran en la Tabla 2.6.

**Tabla 2.6: Características técnicas del motor de la banda transportadora.**

Detalle	Características
Tipo:	Motor CC
Serie:	DSW - 3301
Alimentación:	12V
Corriente de arranque:	8 A
Corriente de carga:	1 A
Corriente máxima:	20 A
Torque máximo:	11 N m
Velocidad:	92 rpm

Como se puede notar la corriente de arranque es alta y como se tendrá que realizar control de velocidad e inversión de giro se le acopla por seguridad un controlador para el motor. En la Figura 2.47 se muestra el controlador VNH5019 que es el controlador elegido.



**Figura 2.47: Controlador VN15019.**

A continuación se detallan las características del controlador usado en el funcionamiento del motor DC.

**Características:**

- Tensión de funcionamiento: 5,5 a 24 V
- Corriente de salida: 12 A continuos (30 máximo)
- Entradas compatibles-3V
- PWM operación de hasta 20 kHz, que es ultrasónica y permite el funcionamiento del motor más silencioso
- Sentido corriente de salida proporcional a la corriente del motor (aprox. 140 mV / A)
- LEDs indicadores del motor (lo que indica las salidas están haciendo, incluso cuando no está conectado un motor)
- Robusto:
  - Protección tensiones en sentido inverso
  - Puede sobrevivir tensiones de entrada de hasta 41 V
  - Apagado subtensión y sobretensión
  - Protección de corto a Vcc

**b. Accionamiento de la compuerta de sistema de suministro:** Para el accionamiento de la compuerta se decide usar un servomotor debido a que se va a controlar posición y el movimiento debe estar entre 0 y 90 grados:

**Posición 0:** Posición inicial 0° es decir compuerta cerrada.

**Posición 1:** Posición final 90° es decir compuerta abierta.

En esta sección es de vital importancia tomar en cuenta las características mostradas en la Tabla 2.7.

**Tabla 2.7: Características técnicas del servomotor de la compuerta.**

Detalle	Características
Marca:	Power HD
Serie:	1501 MG
Peso:	60g
Dimensión:	40.7 x 20.5 x 39.5mm
Voltaje que soporta:	6V
Torque:	17Kg/cm
Velocidad sin carga:	0.14 sec/60°
Temperatura de operación:	-20 °C a 60°C
Tipo de engranes:	Metálicos

c. **Accionamiento del sistema de empuje:** Para esta etapa se decide utilizar un servomotor debido a que es de vital importancia el control de 4 posiciones que se describen a continuación:

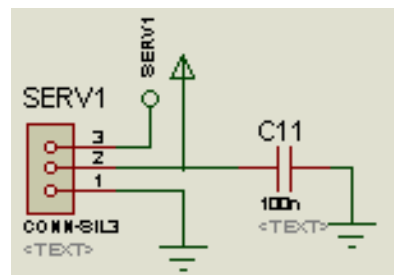
- **Posición 0:** Posición inicial de la palanca es decir 0°.
- **Posición 1:** Posición de suministro de producto para el frasco grande (35°).
- **Posición 2:** Posición de suministro de producto para el frasco pequeño (45°).
- **Posición 3:** Posición final de la palanca es decir 180°.

El servomotor elegido posee las características que se muestran en la Tabla 2.8.

**Tabla 2.8: Características técnicas del servomotor del sistema de empuje.**

Detalle	Características
Marca:	Power HD
Serie:	6001 MG
Peso:	60g
Dimensión:	40. 7x20. 5x39. 5mm
Voltaje que soporta:	6V
Torque:	7 Kg/cm
Velocidad sin carga:	0.14 sec/60°
Temperatura de operación:	-20 °C a 60°C
Tipo de engranes:	Metálicos

El esquema mostrado en la Figura 2.48 es el circuito acondicionador, tanto para el servomotor del sistema de suministro como para el servomotor del sistema de empuje. Es recomendable colocar en la alimentación un capacitor de 100 nF entre la señal y tierra para absorber voltajes picos.



**Figura 2.48: Circuito acondicionador del sensor ultrasónico.**

#### 2.3.4. SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR

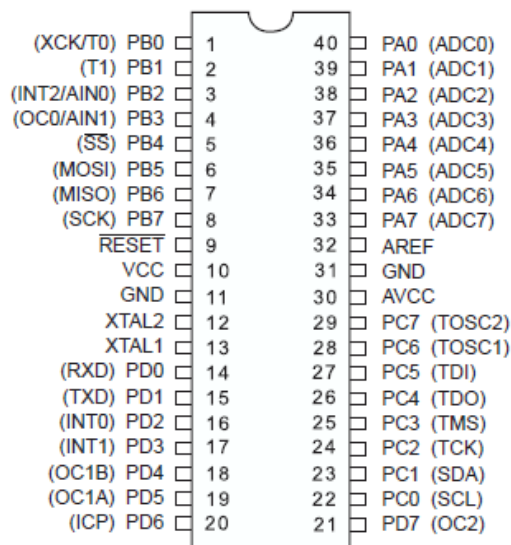
Este microcontrolador es el centro de operación de la estación didáctica, por medio de los circuitos respectivos, acciona uno a uno los elementos del circuito de fuerza y se encarga de ejecutar la trama que se transmitirá mediante comunicación inalámbrica.



Porque posee un sistema robusto y es un microcontrolador muy usado a nivel industrial porque no sufre afección en cuanto a ruido se trate se utilizara un AVR de serie Atmega 16.

### Características principales y distribución de pines

La distribución física de pines se observa en la Figura 2.49.



**Figura 2.49: Distribución de pines Atmega 16.**

**Fuente:** ATMEL (2013). Recuperado de <http://www.atmel.com/images/doc7674.pdf>

Entre las características de este microcontrolador se puede considerar como principales las siguientes:

- 32 x 8 registros de propósito general
- 32 I/O programables
- 16KBytes de memoria de programa (Flash)
- 512 Bytes de memoria EEPROM
- 1kBytes de memoria interna SRAM
- 4 canales PWM
- 8 canales ADC de 10 bits
- Comunicación USART

- Interface serial SPI Maestro/ Esclavo
- Voltaje de operación 2.7V a 5.5V
- Oscilador interno de 1Mhz, 2Mhz, 4Mhz y 8MHz

Este microcontrolador de 8 bits pertenece a la tecnología AVR-RISC de ATMEL. Es decir es de alto rendimiento, bajo consumo de energía, alta densidad del código, tecnología de memoria excepcional y alta integración.

## **2.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y COMUNICACIÓN INALÁMBRICA**

En esta sección se describirán los equipos seleccionados para realizar la red de sensores, actuadores inalámbricos y el controlador que se utilizará.

### **2.4.1. COMUNICACIÓN INALÁMBRICA**

En la sección 1.8 se revisó los estándares de comunicación inalámbrica por lo que para la transmisión de datos se tomó en cuenta los siguientes requerimientos: bajo consumo de energía, hardware compacto.

Los estándares inalámbricos Bluetooth y Wi-Fi no satisfacen los requerimientos de la automatización y control, por ejemplo Bluetooth tiene aplicaciones en las Telecomunicaciones, audio, etc.; Wi-Fi se aplica a conexiones de Internet, lo que las hacen estar sobredimensionadas para aplicaciones industriales relativamente pequeñas como es el caso del presente proyecto; es por esto que se escogió el estándar de comunicaciones IEEE 802.15.4 para la transmisión inalámbrica de datos donde el dispositivo seleccionado para tal cometido fue el módulo XBee Serie 1 (Figura 2.50).



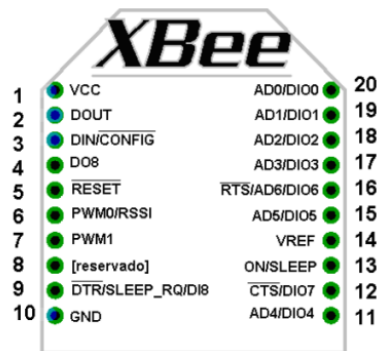
**Figura 2.50: Módulo XBEE.**

## **CARACTERÍSTICAS MÓDULO XBEE SERIE 1**

El uso del estándar 802.15.4 va desde reemplazar un cable por una comunicación serial inalámbrica, hasta el desarrollo de configuraciones punto a punto como es este caso, multipunto, o redes complejas de sensores como las redes Mesh (protocolo ZigBee). Existen dos series de módulos XBee, donde su principal diferencia es que la serie 2 puede hacer redes tipo malla y la serie 1 no, los dispositivos XBee Serie 1 se basan únicamente en el estándar de comunicaciones IEEE 802.15.4, que opera en las capas inferiores del modelo OSI.

Cada módulo XBee tiene una dirección única. En el caso de los módulos seleccionados cada uno de ellos tiene una dirección única de 64bits que viene grabada de fábrica. El módulo XBee Serie 1 tiene un alcance en línea de vista de 100 metros y en interiores hasta 30 metros. Trabajan dentro de la banda libre de 2.4Ghz, por lo que son útiles para aplicaciones en cualquier lugar del mundo sin necesidad de licencias.

El módulo requiere una alimentación desde 2.8 a 3.4 V, la conexión a tierra y las líneas de transmisión de datos por medio del UART (TXD y RXD) para comunicarse con un microcontrolador, o directamente a un puerto serial utilizando algún conversor adecuado para los niveles de voltaje. En la Figura 2.51 se muestra la distribución de pines de un módulo XBEE.



**Figura 2.51: Distribución de pines de un módulo XBEE.**

**Fuente:** Oyarse, A. (2010). *Guía de Usuario XBEE serie 1*. Ingeniería MCI LTDA. Pág 29. Santiago - Chile: MCI electronics.

## 2.4.2. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Para el control de las variables generadas por el sistema se necesita un dispositivo robusto que tenga incorporado comunicación serial para la recepción de información emitida por los módulos XBEE. En base a los parámetros controlados se incorporó al proyecto un PLC de marca XINJE (Figura 2.52) de la serie XCM-32T-E.



**Figura 2.52: PLC Xinje XCM-32T-E.**

Las características que posee el PLC seleccionado se muestran a continuación:

### Características Técnicas:

- Forma de Programación: Instrucción / Escalera

- Alimentación AC: 110 V
- Fuente de Alimentación: 24V DC
- Entradas: 22
- Salidas: 16
- Marcas: 8000
- Marcas Especiales: 768
- Temporizadores: 640
- Contadores: 640
- Registros: 8000
- Registros Especiales: 1024

## 2.5. DISEÑO DEL HMI

Para la manipulación de los registros y variables de control del sistema de suministro y transporte de materia granulada se ha dispuesto la instalación de una pantalla táctil que sirva como interfaz entre el usuario y la máquina en cada uno de los parámetros a controlar.

La pantalla táctil (Figura 2.53) estará cargada con ventanas en donde se pueda seleccionar el sentido de giro y velocidad de la banda transportadora, el tipo de grano, el peso deseado y el tamaño de frasco.



**Figura 2.53: Pantalla táctil.**

Para esta función y tomando en cuenta que se tiene un controlador de la marca Xinje se elige una pantalla de la misma marca de la serie TH765-UT cuyas características se describen a continuación:

Características de la pantalla táctil TH765-UT:

- Pantalla táctil de 7 pulgadas, diseño aerodinámico.
- 65536 muestran colores verdaderos, imágenes en formato JPEG y BMP.
- Rica biblioteca de imágenes en 3D puede hacer la pantalla más realista.
- Ajuste del interruptor simple para cambiar los modos, área de toque preciso ajustar la función
- Soporta varios modos de proceso de datos, tales como mapa de tendencia en el tiempo, mapa tendencia XY ...
- Dos puertos de comunicación puede la comunicación de forma independiente.

## CAPÍTULO III

### IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN DIDÁCTICA

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

Una vez terminado el diseño de la estación didáctica para el suministro y transporte de materia granulada, se inicia con el proceso de construcción, implementación y montaje de todos los componentes que conforman el sistema, en esta sección se describen las tareas realizadas en la parte mecánica, eléctrica y de control, para proceder al montaje y al inicio de la fase de funcionamiento.

#### 3.2. IMPLEMENTACIÓN MECÁNICA

Después de haber terminado el diseño y la selección del sistema mecánico, se procede a realizar el montaje o implementación de sus partes, como se puede observar en la Figura 3.1.

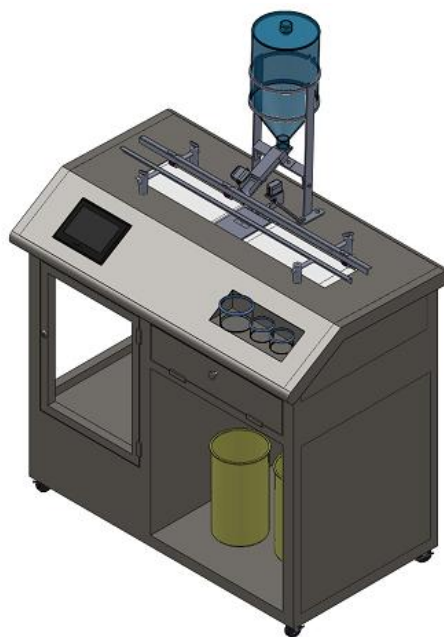
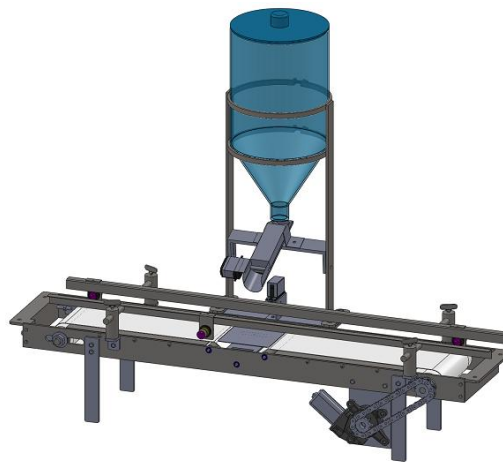


Figura 3.1: Módulo didáctico diseñado en SolidWorks.

Acorde a los planos del sistema mostrados en el ANEXO B (PLANOS MECÁNICOS) se procede con la construcción de toda la estructura mecánica, respetando así dimensiones y materiales designados en la etapa de diseño.

Como el módulo posee características inalámbricas se lo diseño de tal manera que se puedan desprender todos los sistemas de su estructura principal sin ninguna complicación como se muestra en la Figura 3.2.



**Figura 3.2: Sistema mecánico inalámbrico.**

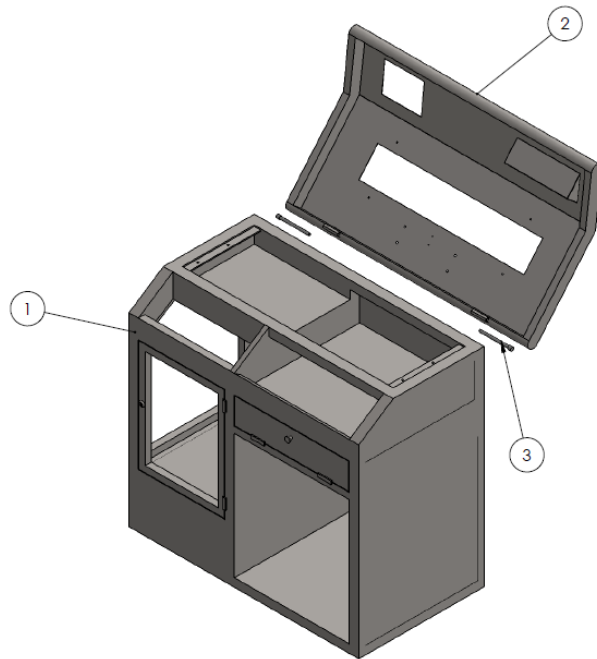
### **3.2.1. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA MESA**

Para la construcción de la mesa de la estación didáctica se toma en cuenta los planos mostrados en los ANEXOS B-4 (ESTRUCTURA BASE DE MESA) y B-5 (TAPA DE MESA). El material del cual fue construida esta estructura es acero AISI 1020 como se realizó en el diseño.

En la Figura 3.3 se muestra el ensamblaje de la mesa siendo las partes constitutivas:

- Estructura base de mesa (1).
- Tapa de mesa (2).
- Perno para juntar (3).





**Figura 3.3: Ensamblaje de la mesa.**

Pero como se trata de una estación didáctica que va ser parte de un laboratorio se decide someterla a un proceso de pintura electrostática para evitar la corrosión y de esta manera asemejar el acabado de acero inoxidable con sus respectivas propiedades.

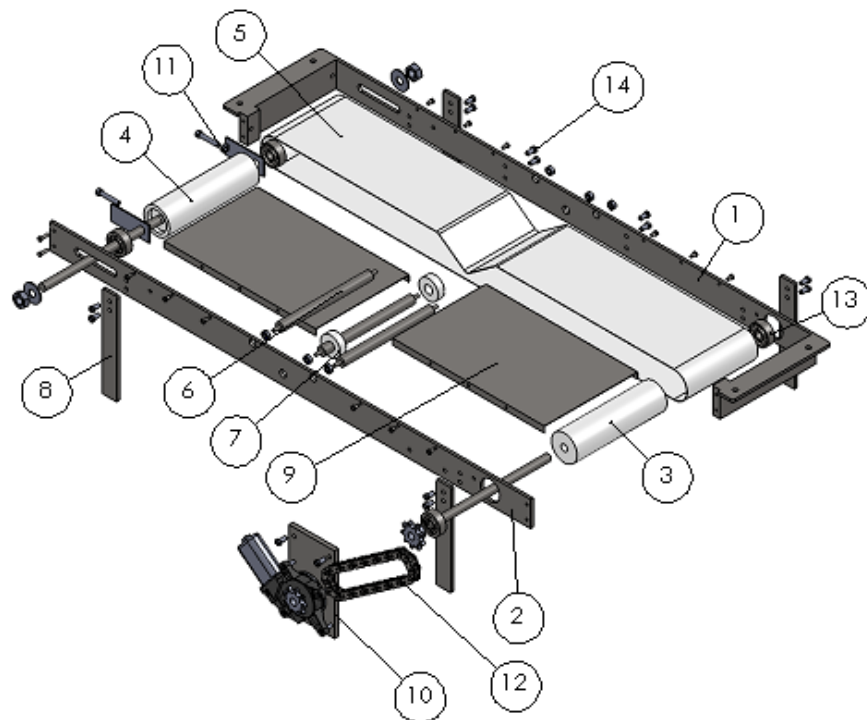
En la Figura 3.4 se muestra la mesa de la estación construida, ensamblada y sometida a pintura electrostática.



**Figura 3.4: Mesa de la estación didáctica.**

### 3.2.2. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA BANDA TRANSPORTADORA

La construcción de la banda transportadora se la realizó acorde al diseño del capítulo anterior, procediendo con el mismo tratamiento de pintado que la mesa, esto para el caso de la parte posterior y frontal del cuadro.



**Figura 3.5: Partes de la Banda transportadora.**

Las partes principales de la banda transportadora mostradas en la Figura 3.5 se detallan a continuación:

- Parte posterior del cuadro (1).
- Parte frontal del cuadro (2).
- Rodillo motriz (3).
- Rodillo de retorno (4).
- Cinta transportadora (5).
- Rodillos medios (6).
- Rodillo guía (7).

- Pie de apoyo de la banda (8).
- Estructura portante (9).
- Base de motor (10).
- Tensor a tornillo (11).
- Cadena eslabonada 520 (12).
- Rodamiento de bola (13).

En la Figura 3.6 se muestra la banda transportadora ya construida y ensamblada.

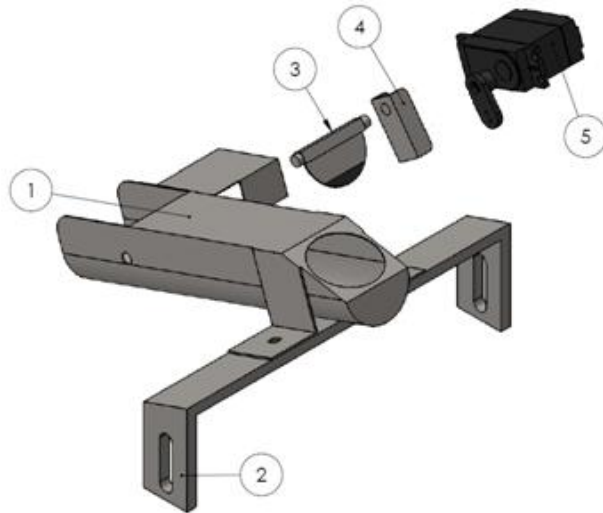


**Figura 3.6: Banda transportadora ensamblada.**

### **3.2.3. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO**

Como se decidió en la parte del diseño este sistema está completamente construido en acero inoxidable ya que al encontrarse en contacto directo con la materia granulada es de vital importancia que el material no desprenda sustancias nocivas; con respecto a la base posee el mismo tratamiento de pintura realizado en los elementos anteriores.

En la Figura 3.7 se muestran las partes del sistema de suministro sobre su base y la forma que se ensamblarán cada una de ellas.



**Figura 3.7: Partes del sistema de suministro.**

Las partes del sistema de suministro son:

- Ducto de suministro (1).
- Base del sistema (2).
- Compuerta (3).
- Acople para pie de servomotor (4).
- Servomotor (5).

Para el correcto funcionamiento del sistema de suministro se realizó la cobertura de la compuerta con una escobilla (Figura 3.8), esto permitirá un suministro eficiente sin granos triturados.



**Figura 3.8: Compuerta del sistema de suministro.**

Además para lograr un ingreso hermético del producto depositado de la tolva hacia el sistema de suministro, se le coloca un anillo de caucho para evitar derrame de producto en este sitio.

En la Figura 3.9 se puede observar lo anteriormente mencionado.



**Figura 3.9: Ingreso de producto al sistema de suministro.**

Realizados los acoples mencionados el sistema de suministro ensamblado se muestra en la Figura 3.10.



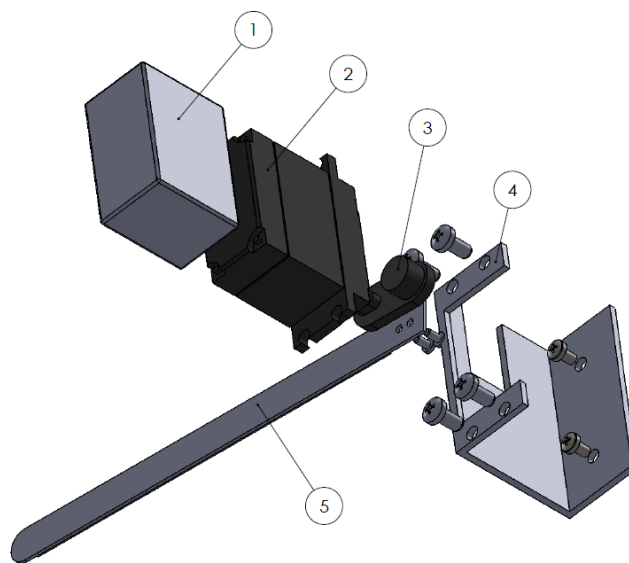
**Figura 3.10: Sistema de suministro ensamblado.**

### **3.2.4. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE EMPUJE**

Para la construcción de este sistema se siguió a detalle los planos de los ANEXOS B-12 al B-15 (SISTEMA DE EMPUJE). Como esta estructura es pequeña se la construyó toda en acero inoxidable AISI 304.

En la Figura 3.11 se muestra como se debe ensamblar este sistema cuyas partes constitutivas son:

- Carcasa del servo (1).
- Servomotor (2).
- Pie de servomotor (3).
- Soporte del sistema de empuje (4).
- Palanca (5).



**Figura 3.11: Partes del sistema de empuje.**

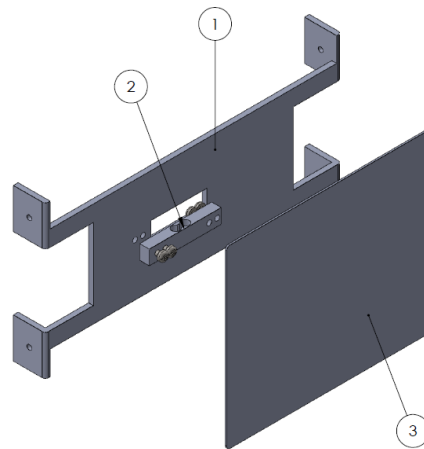
En la Figura 3.12 se muestra el sistema de empuje construido e implementado en la estación didáctica.



**Figura 3.12: Sistema de empuje implementado.**

### 3.2.5. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PESAJE

Como ya se realizó en la etapa de diseño se realizó la construcción basándose en los planos de los ANEXOS B-35 (SOPORTE DE SISTEMA DE PESAJE) y B-36 (PLATO). En la Figura 3.13 se muestran las partes de este sistema y como se realiza su respectivo ensamblaje.

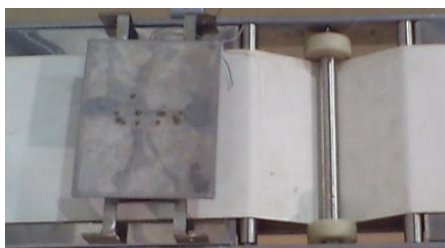


**Figura 3.13: Partes del sistema de pesaje.**

Las partes del sistema de pesaje son:

- Base (1).
- Celda de carga (2).
- Tapa del sistema (3).

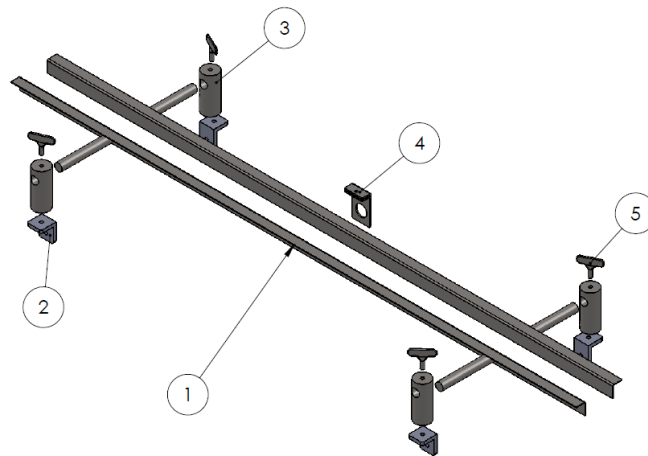
En la Figura 3.14 se muestra en la parte izquierda el sistema ensamblado y en la parte derecha el sistema implementado en la parte media de la banda transportadora.



**Figura 3.14: Sistema de pesaje ensamblado e implementado.**

### 3.2.6. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL CONJUNTO DE GUÍAS.

La construcción de esta estructura se la realizó en acero inoxidable siguiendo los ANEXOS del B-37 al B-42 (SISTEMA DE GUÍAS). En la Figura 3.15 se muestran las partes del conjunto y como se procede a ensamblar.



**Figura 3.15: Partes del conjunto de guías.**

Las partes del conjunto de guías se las detallan a continuación:

- Varillas guía (1).
- Apoyo del conjunto de guías (2).
- Soporte de las varillas guía (3).
- Porta sensor infrarrojo (4).
- Mariposa de ajuste (5).

En la Figura 3.16 se puede observar el conjunto de guías ensamblado y montado en la estación.



**Figura 3.16: Conjunto de guías implementado.**



### 3.2.7. EL SISTEMA DE SUMINISTRO Y TRANSPORTE DE MATERIA GRANULADA IMPLEMENTADA.

Una vez ensamblados y montados cada uno de los sistemas y partes de todo el proyecto se tiene la estación didáctica completa, en la Figura 3.17 se muestra la estación didáctica y la estación dividida en la estación fija y la estación portátil para que se note sus características inalámbricas que en secciones posteriores se pondrá en funcionamiento.



Figura 3.17: Estación didáctica implementada.

## 3.3. IMPLEMENTACIÓN ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

### 3.3.1. IMPLEMENTACIÓN ELECTRÓNICA

Una vez seleccionados los elementos electrónicos, realizados los esquemas y acondicionamiento mostrados en los ANEXOS C-2 (CIRCUITO ELECTRÓNICO), se prueban dichos esquemas, primero en un protoboard (Figura 3.18), para realizar las correcciones respectivas en el caso de que existan fallas.

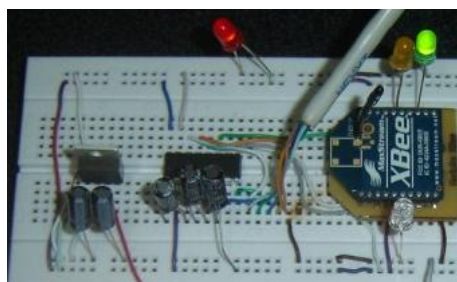


Figura 3.18: Comprobación de los esquemas electrónicos en protoboard.

Después de haber comprobado el correcto funcionamiento de los circuitos se procede a diseñar las placas electrónicas de la tarjeta de control y la tarjeta de comunicación en el programa ARES.

En la Figura 3.19 se muestra el diseño de la placa electrónica de la tarjeta de control o tarjeta principal; llamada así porque en esta placa se encuentran asociados los sensores, actuadores y el módulo Xbee con el microcontrolador. Esta tarjeta será la encargada de comandar todas las variables del proceso.

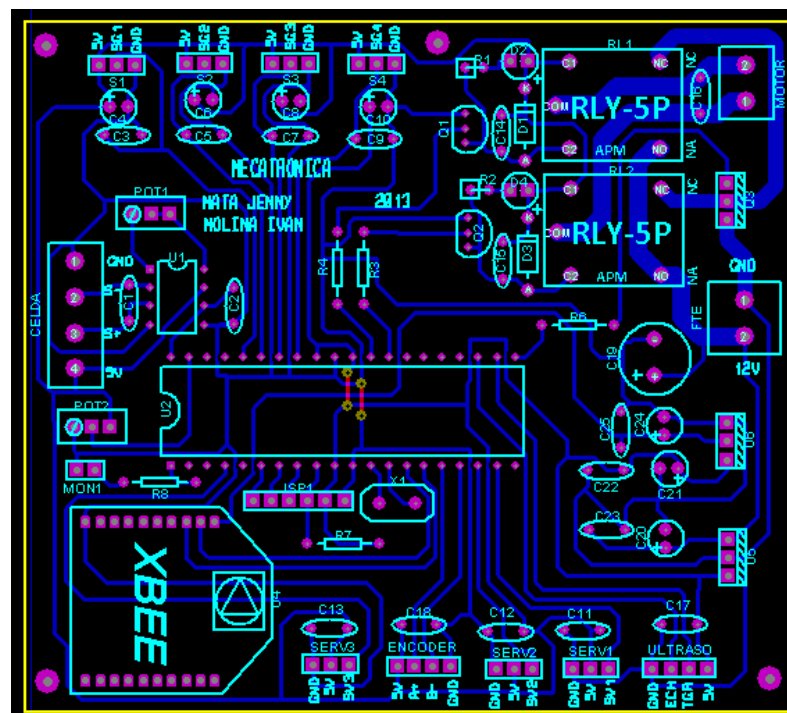


Figura 3.19: Placa de la tarjeta de control.

En la Figura 3.20 se muestra el diseño de la placa electrónica de la tarjeta de comunicación llamada así porque permite la comunicación serial entre el módulo XBEE y el PLC.

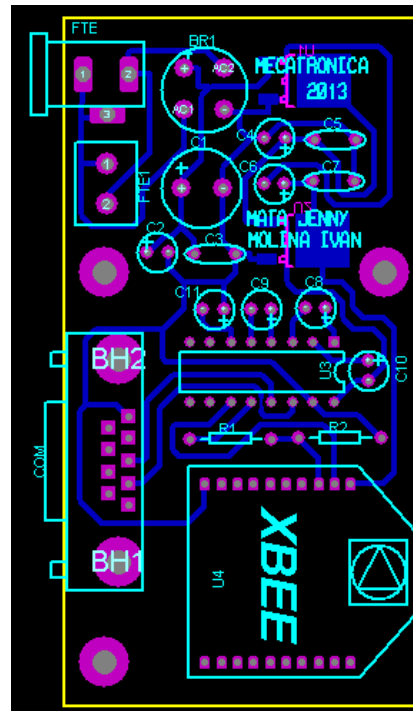


Figura 3.20: Placa de la tarjeta de comunicación.

Después de haber realizado el diseño de las placas se realiza la construcción de estas tarjetas mostradas en la Figura 2.21, para la protección de las tarjetas en mención se construye unas cajas de protección realizadas en acrílico.

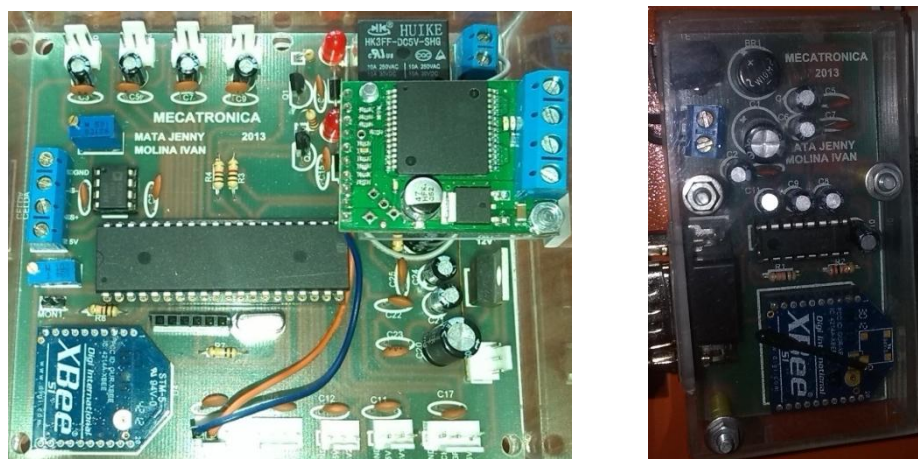


Figura 3.21: Tarjetas construidas.

### 3.3.2. MONTAJE DE ELEMENTOS

En esta sección se procede con el montaje de todos los elementos eléctricos y electrónicos en la mesa de la estación didáctica como se muestra en la Figura 3.22.



**Figura 3.22: Montaje de elementos eléctricos y electrónicos.**

En la implementación eléctrica y electrónica en especial en la parte del cableado se debe tener especial cuidado con las características didácticas e inalámbricas que tiene la estación, ya que debe ser fácil el desmontaje de la estación portátil.

Para lograr el cometido anterior se decide crear un cable en el cual se envían señales y alimentación de los sensores infrarrojos, sensor ultrasónico y servomotores desde la tarjeta de control (Figura 3.23).



**Figura 3.23: Cable desde la tarjeta de control.**

Como ya se tiene el primer tramo se procede hacer lo mismo pero ahora desde los sensores y servos uniendo señales y alimentaciones en un solo cable como se muestra en la Figura 3.24.



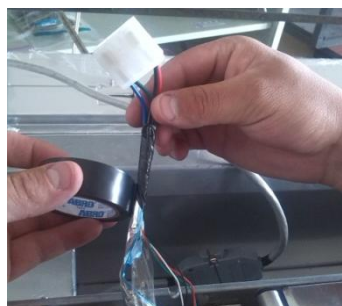
**Figura 3.24: Cable desde los sensores.**

Es así como se obtiene un conducto macho y otro hembra (Figura 3.25) para que se fácil la conexión y desconexión de los sensores y actuadores al separar la estación portátil de la fija.



**Figura 3.25: Cable hembra y macho.**

Como se debe tener especial cuidado con la señal de la celda de carga se decide enviar, tanto señales como alimentación, por un cable blindado desde la tarjeta hacia el conector hembra y desde la celda de carga hacia el conector macho se procede a blindar manualmente como se muestra en la Figura 3.26.



**Figura 3.26: Blindaje manual del cable.**

Para una mejor comprensión en cuanto a conexiones en la parte electrónica; se muestra en la Tabla 3.1 la distribución de pines de la tarjeta principal.

**Tabla 3.1: Distribución de pines cable principal.**

ELEMENTO	N° PIN	TARJETA PRINCIPAL	COLOR DEL CABLE PRINCIPAL		COLOR DE CABLE SENSOR
			COLOR	FRANJA	
Sensor infrarrojo 1	1	5V	Blanco	Verde	Rojo
	2	Sg1	Naranja	Blanco	Amarillo
	3	GND	Azul	Blanco	Verde
Sensor infrarrojo 2	4	5V	Café	Blanco	Rojo
	5	Sg2	Verde	Blanco	Amarillo
	6	GND	Blanco	Gris	Verde
Sensor infrarrojo 3	7	5V	Naranja	Negro	Rojo
	8	Sg3	Gris	Blanco	Amarillo
	9	GND	Azul	Rojo	Verde
Servomotor 1 (compuerta)	10	GND	Gris	Rojo	Rojo
	11	5V	Blanco	Café	Naranja
	12	SV1	Rojo	Azul	Café
Servomotor 1 (palanca)	13	GND	Naranja	Rojo	Rojo
	14	5V	Rojo	Gris	Naranja
	15	SV1	Blanco	Azul	Café
Sensor ultrasónico	16	GND	Azul	Negro	Blanco
	17	ECH	Rojo	Verde	Azul
	18	5V	Negro	Azul	Naranja
ELEMENTO	N° PIN	TARJETA PRINCIPAL	CABLE BLINDADO		COLOR DE CABLE SENSOR
Celda de carga	19	GND	Negro		Negro
	20	S-	Azul		Blanco
	21	S+	Verde		Verde
	24	5V	Rojo		Rojo

Una vez que se tienen los todos los elementos posicionados correctamente se procede al respectivo cableado del tablero de control. En la Figura 3.27 se muestra como se realiza la conexión de los equipos.

Para mayor detalle de las conexiones eléctricas dirijase al ANEXO C-1 (PLANO ELÉCTRICO).



**Figura 3.27: Cableado del tablero de control.**

La conexión de los equipos se realizó de tal manera que se ocupe todo el espacio en el tablero de control y estén perfectamente distribuidos. En la parte superior se coloca la parte que se quedará en la estación fija, y en la parte inferior la tarjeta y fuente de la parte portátil o móvil. En la Figura 3.28 se muestra el tablero de control con la distribución mencionada anteriormente.



**Figura 3.28: Tablero de control.**

### 3.4. CALIBRACIÓN CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN.

En esta sección es necesario conocer, manipular y familiarizarse con cada uno de los elementos del sistema y leer las especificaciones mencionadas en la etapa de diseño.

#### 3.4.1. CALIBRACIÓN SENSORES INFRARROJOS.

Como se describe en la Tabla 2.4 de la etapa de diseño, el alcance de estos sensores está en el rango de 3 a 80 cm, de fábrica vienen con el valor máximo es decir 80 cm, para determinar la posición de los frascos en la estación solo se necesitará un alcance de 5 cm por lo que se procede a disminuir la distancia mediante el tornillo de regulación que tienen éste tipo de sensores en la parte posterior como se muestra en la Figura 3.29.



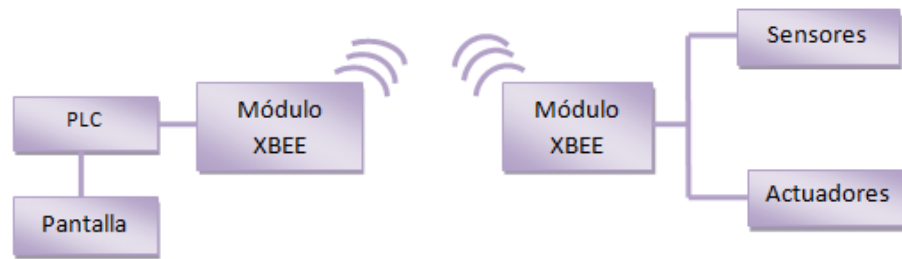
Figura 3.29: Tornillo de regulación del sensor infrarrojo.

#### 3.4.2. MANIPULACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS XBEE

##### TRANSMISIÓN INALÁMBRICA DE DATOS

Existen dos módulos XBee utilizados en el sistema: el primero en la tarjeta electrónica de la estación local y el segundo en la tarjeta electrónica de la estación móvil o portátil. En la Figura 2.30 se muestra el esquema gráfico de la transmisión inalámbrica de datos que se tiene en la estación didáctica.





**Figura 3.30: Transmisión inalámbrica de la estación didáctica.**

### **FUNCIONAMIENTO DE LOS MÓDULOS XBEE.**

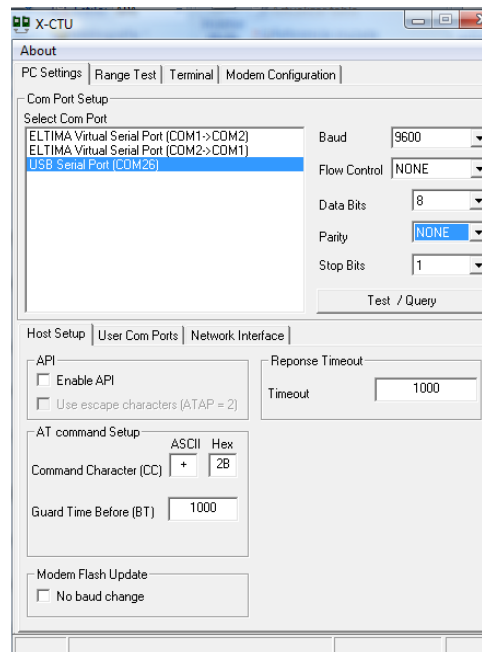
Debido a los requerimientos de comunicación inalámbrica entre las estaciones, los módulos XBee utilizados trabajan en topología de comunicación punto a punto. En este modo, los datos que ingresan por el pin 3 (RXD), es guardado en el buffer de entrada y transmitido inalámbricamente y los datos que ingresan como paquete RF, es guardado en el buffer de salida y luego enviado por el pin 2 (TXD).

La comunicación punto a punto es la configuración más sencilla y no requiere de mayor configuración, este tipo de comunicación está destinado principalmente a donde no es necesario ningún tipo de control.

### **CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS XBEE**

El software X-CTU presenta un entorno de configuración completo y de fácil utilización, es por esto que se utilizó este método para configurar las direcciones de los módulos XBEE.

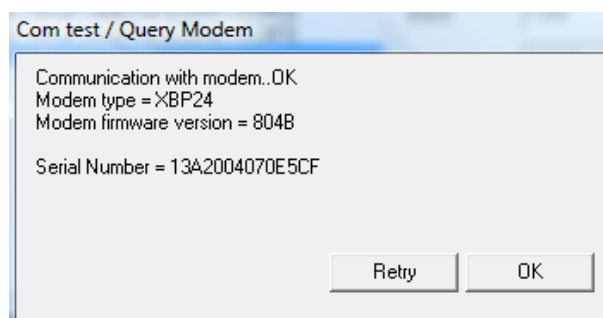
Una vez ejecutado el software y conectado el XBEE al computador se procede a reconocer el módulo serial como se muestra en la Figura 3.31



**Figura 3.31: Ventana de reconocimiento módulo Xbee.**

Para comprobar el funcionamiento del módulo y la comunicación se presiona en la opción **Test/Query**.

Si aparece una ventana (Figura 3.32) donde muestra el tipo del módulo la versión del firmware y el número de serie, quiere decir que el funcionamiento del módulo es correcto y que la comunicación es efectiva.



**Figura 3.32: Ventana de comunicación efectiva.**

Si aparece una ventana (Figura 3.33) donde se muestra el mensaje “Unable to communicate with modem”, quiere decir que la comunicación no es efectiva o que el módulo no funciona correctamente

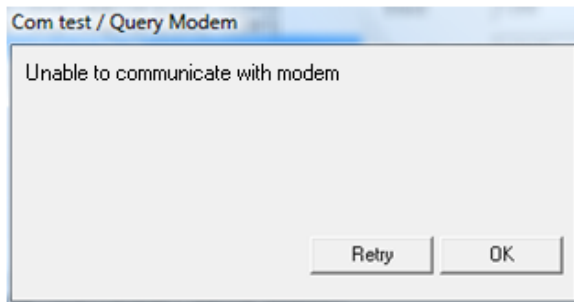


Figura 3.33: Ventana de comunicación errónea.

Los módulos permiten dos tipos de direccionamiento, el de 16 bit y el de 64 bits. El de 64 bit, puede obtener una mayor cantidad de direcciones, a través de estas direcciones los módulos se comunican entre sí. Como se utilizan dos módulos XBee se configuran direcciones de 16 bits en cada uno de los módulos.

Mediante la pestaña **Modem Configuration** es posible visualizar, editar y guardar parámetros de configuración del módulo.

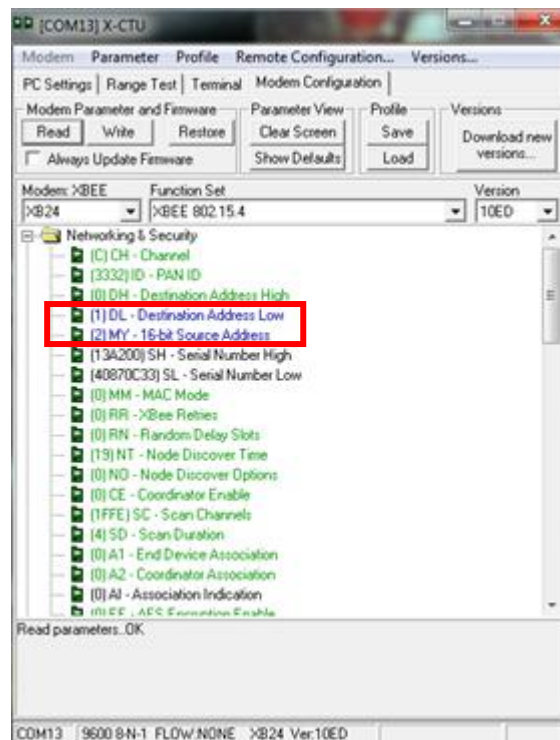


Figura 3.34: Configuración de módulos XBee.

La Figura 3.34 presenta la pestaña de configuración de los módulos XBEE en el X-CTU en este caso solo se cambiarán los parámetros **DL** y **MY**.

**Para la estación local:**

**DL:** FAFA

**MY:** EFEF

**Para la estación móvil:**

**DL:** FAFA

**MY:** EFEF

### **3.4.3. PROGRAMACIÓN.**

Antes de empezar con la programación es necesario conocer el diagrama de flujo del sistema, el mismo que será de vital importancia para realizar la programación de cada uno de los equipos, debido a que muestra la secuencia que tendrá el proceso.

En la Figura 3.35 se muestra el proceso que realiza la estación de suministro y transporte de materia granular.

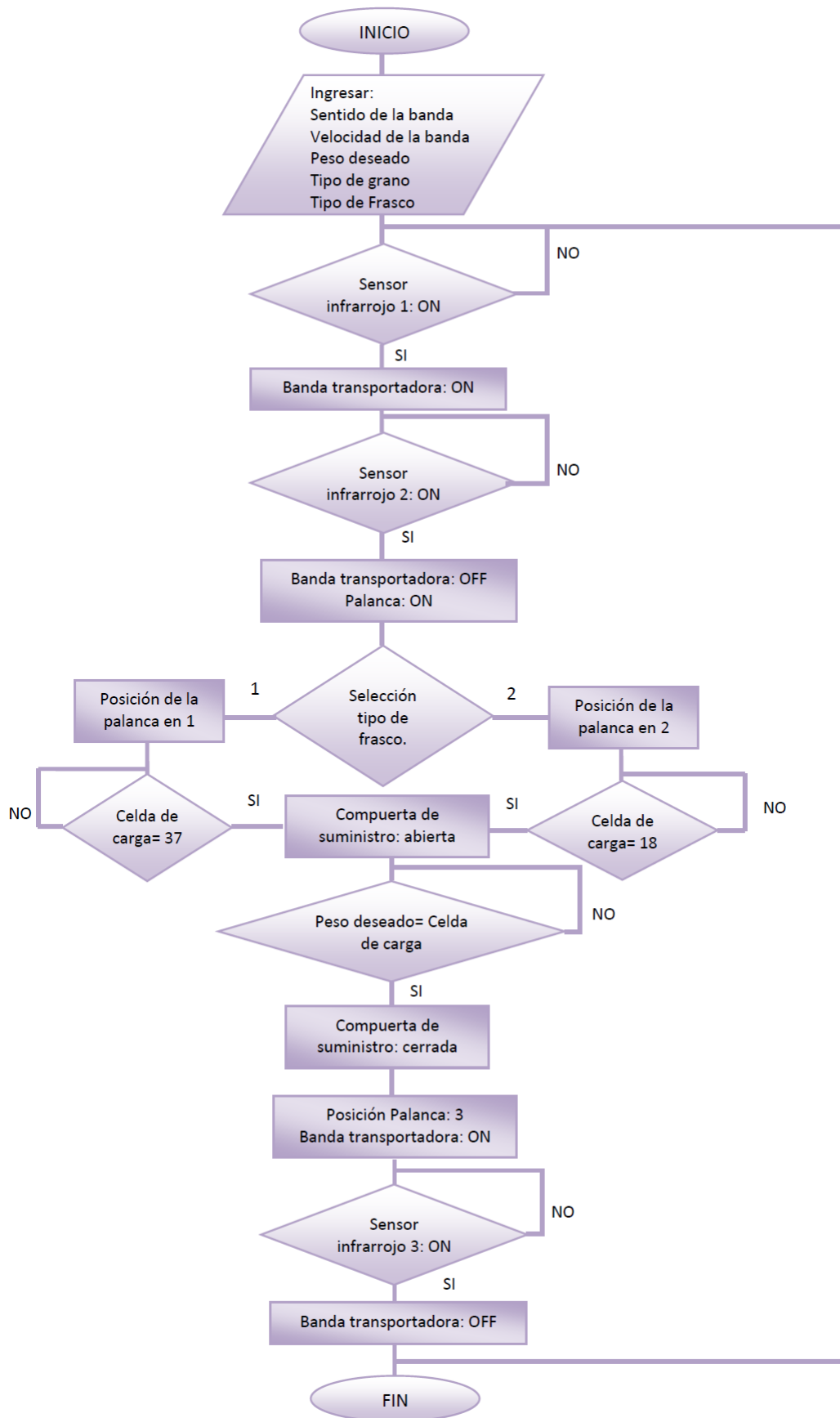


Figura 3.35: Diagrama de flujo del sistema.

- **PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR**

Para iniciar la programación del microcontrolador se toma en cuenta el proceso de la figura anterior y se realizan las tramas, tanto la de recepción como la de envío, quedando éstas de la siguiente manera:

**Trama de recepción:**

< & R X & Valor celda de carga & Valor sensor ultrasónico & Sensor infrarrojo 1 & Sensor infrarrojo 2 & Sensor infrarrojo 3 & >

**Trama de envío:**

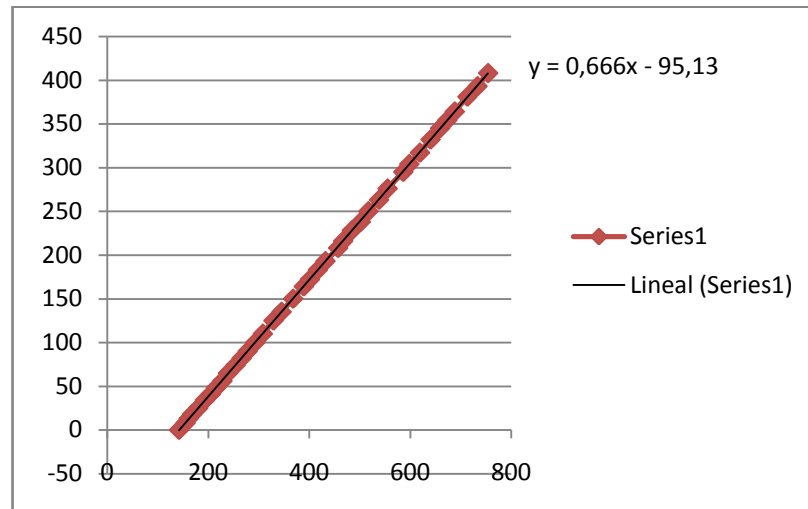
< & T X & Sentido de giro de la banda & Velocidad de la banda & Posición servomotor compuerta & Posición servomotor palanca & >

**Valor celda de carga:** Como ya se especificó en el diseño, para la celda de carga se utilizará un amplificador debido a que los valores que proporciona son demasiado bajos. Como se tiene en mV, con la ayuda de una balanza se tomará pesos patrones para realizar la conversión a gramos. En la tabla 3.2 se muestran los pesos patrones con su equivalencia en mV.

**Tabla 3.2: Pesos patrones vs mV.**

Pesos Patrones (gr)	mV	Pesos Patrones (gr)	mV	Pesos Patrones (gr)	mV
0	142	100	293	250	517
8	155	110	308	263	538
13	161	125	329	276	555
18	168	135	345	295	586
25	180	150	368	304	598
34	193	164	389	317	619
41	205	172	401	332	640
48	215	183	417	345	659
56	228	193	432	354	673
65	239	208	457	364	688
74	254	216	467	381	713
82	266	228	484	393	733
90	278	238	502	408	754

Una vez tomados los datos respectivos se realiza la gráfica de la Figura 3.36 y con la ayuda del software Excel se obtiene la ecuación correspondiente.



**Figura 3.36: Pesos patrones vs mV.**

La ecuación obtenida es de vital importancia para el sistema de pesaje, se la coloca en el programa del microcontrolador para lograr la conversión a gramos y de esta manera se tiene la configuración completa y similar a la de una balanza convencional.

**Sentido de giro de la banda transportadora:** El microcontrolador se encargará de asignar tres estados para este parámetro, los mismos que se detallan a continuación:

0: motor apagado.

1: motor en sentido anti-horario.

2: motor en sentido horario.

**Velocidad de la banda transportadora:** Se realiza un control PWM, ocupando un byte de memoria del microcontrolador, es decir 8 bits o lo que es lo mismo 256 combinaciones; por lo tanto la velocidad de la banda

transportadora estará en el rango de 0 a 255, siendo éstos parámetros la equivalencia de 0 a 92 rpm que es el rango de velocidad del motor cc.

**Posición servomotor compuerta:** El servomotor de la compuerta tendrá dos posiciones:

0: Compuerta cerrada (0°).

1: Compuerta abierta (90°).

**Posición servomotor palanca:** El servomotor de la palanca posee las posiciones siguientes:

0: Palanca posición inicial (0°).

1: Palanca posición frasco grande (35°).

2: Palanca posición frasco pequeño (45°).

3: Palanca posición final (180°).

En el ANEXO D-1 (PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR) se muestra el programa completo del microcontrolador para un mejor entendimiento.

## • PROGRAMACIÓN DEL PLC

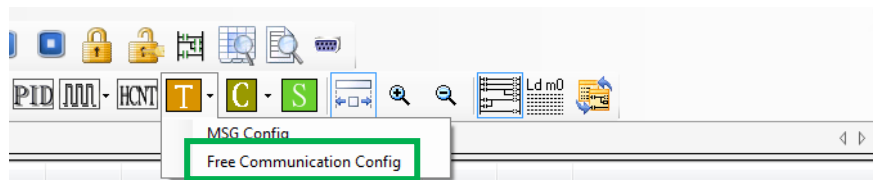
Antes de empezar con la programación de este equipo primero se realizará una configuración previa para la comunicación serial entre la tarjeta de comunicación y el PLC.

### **Formato de comunicación libre.**

Para establecer comunicación entre los módulos XBEE y el PLC se utilizó el formato en modo de comunicación libre, donde se habilita al puerto común dos del PLC para la recepción de datos.

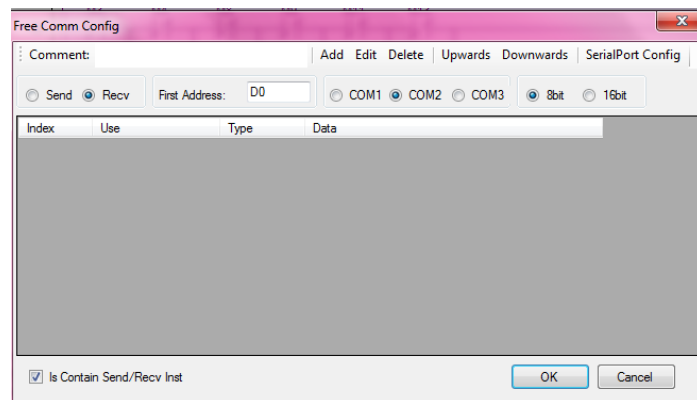


Para habilitar el modo de comunicación libre se selecciona en el entorno gráfico del programa la pestaña **Free Communication Config** para acceder a la configuración de recepción de datos como se especifica en la Figura 3.37.



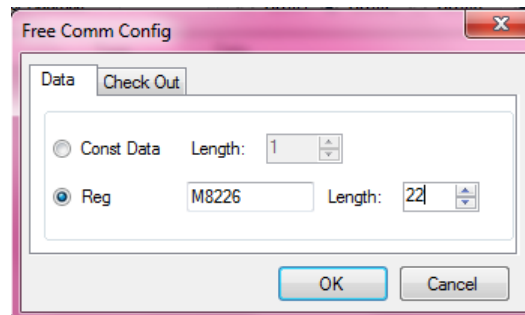
**Figura 3.37: Acceso a la configuración de modo de comunicación libre.**

Para la recepción de datos se establece el modo en recepción seleccionando **Recv**, elegir el registro inicial en donde se almacenan los datos que para este programa es el registro **D0** y por último se establece el puerto de comunicación dos del PLC como se indica en la Figura 3.38.



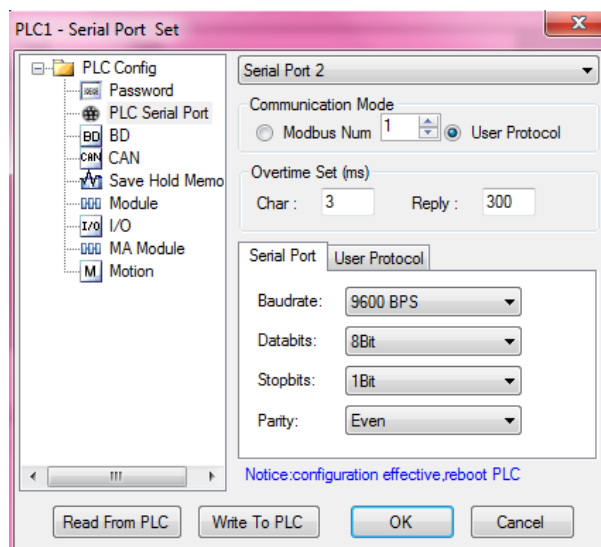
**Figura 3.38: Configuración parámetros de recepción de datos.**

Posteriormente se debe acceder a la pestaña de **Add** para establecer la marca M8226 que es la habilita la recepción de datos de comunicación libre y configurar la extensión de la trama de 22 bytes puesto que ésta es la trama más grande que está llegando de los módulos XBEE; como se muestra en la Figura 3.39.



**Figura 3.39: Colocación Marca Especial y longitud de la trama.**

Una vez configurados estos parámetros se debe cambiar los parámetros de comunicación del puerto dos del PLC con una velocidad de 9600 BPS (Figura 3.40), similares a los del módulo XBEE para establecer la comunicación entre los dos dispositivos.

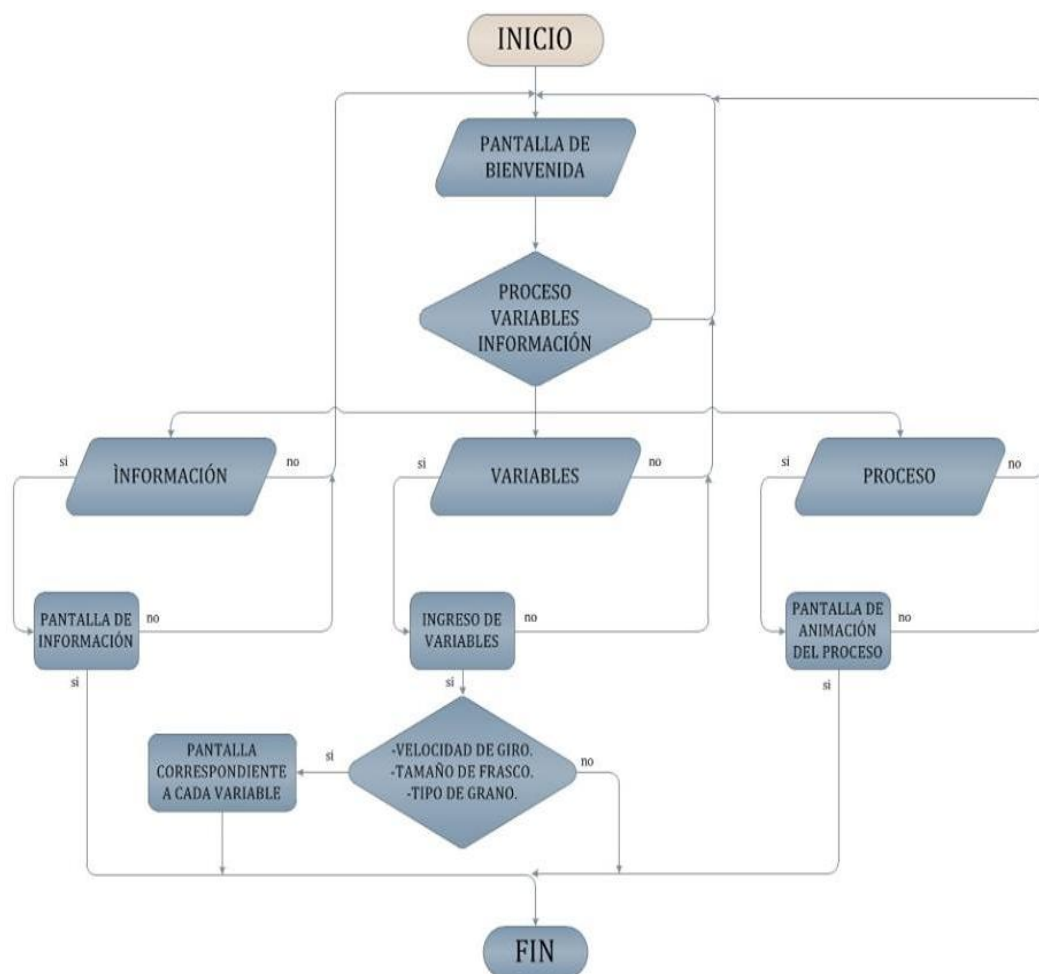


**Figura 3.40: Selección de la velocidad en el puerto serial 2.**

En el ANEXO D-2 (PROGRAMA DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE), se muestra el programa completo realizado en el programa XCPPro.

## • IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA.

Para entender el funcionamiento de las funciones insertadas en el programa y la manipulación del mismo por medio de la pantalla táctil, así como de cada una de las funciones de visualización de alertas y variables del sistema, se debe interpretar la lógica de programación de la pantalla táctil mediante su diagrama de flujos que se muestra en la Figura 3.41.



**Figura 3.41: Diagrama de flujo del funcionamiento del HMI.**

Mediante el uso del software TouchWin se ha diseñado la interfaz con la finalidad que el usuario pueda interactuar con la máquina, para esto se ha creado la siguiente pantalla principal (Figura 3.42).



Figura 3.42: Pantalla principal del HMI.

En la pantalla principal se puede ingresar a tres ventanas, siendo éstas: información, variables y proceso.

- **Información:** En esta ventana se detalla la información del proyecto es decir el tema, autores del proyecto, colaboradores científicos y la descripción del proceso, como se puede observar en la Figura 3.43.



Figura 3.43: Ventana de información.

- **Variables:** En esta ventana se puede seleccionar el sentido de giro y velocidad de la banda transportadora, el peso, el tipo de grano, el tamaño de frasco y el peso de producto que se desea en cada frasco, como se muestra en la Figura 3.44.

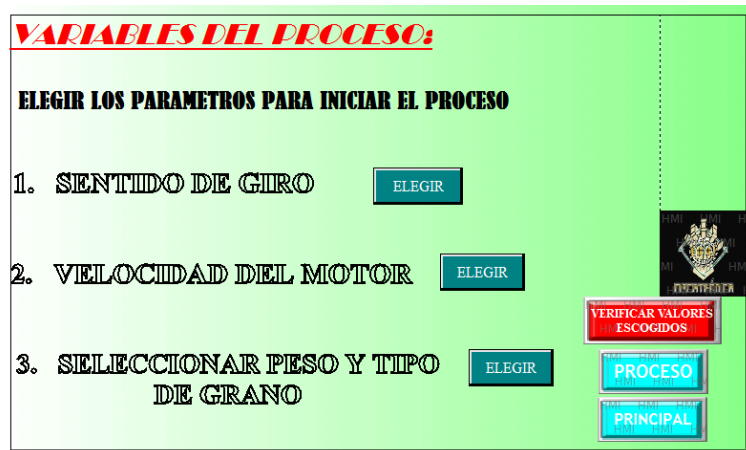


Figura 3.44: Ventana de variables.

A su vez al presionar el botón elegir en cada una de las variables muestran una serie de ventanas contenidas de parámetros y alertas.

- **Proceso:** En la ventana de la Figura 3.45 se muestra el estado de cada sensor, llevado a una interfaz gráfica que simula el proceso.

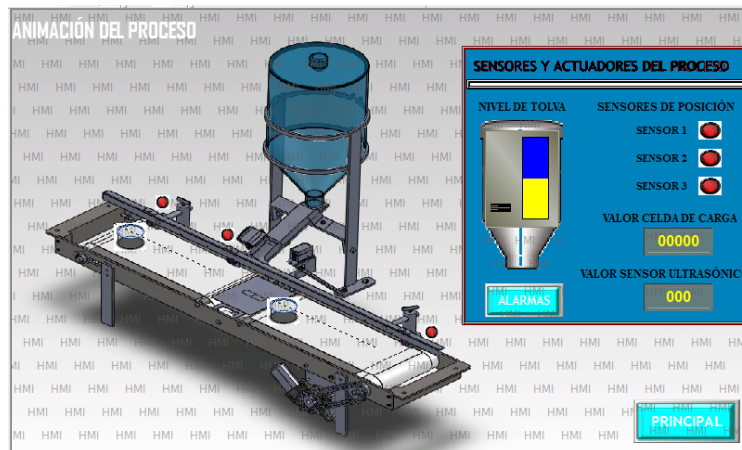


Figura 3.45: Ventana de Proceso.

El ANEXO F (MANUAL DE USUARIO), se muestra a detalle todas las pantallas del HMI.

## CAPÍTULO IV

### PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. INTRODUCCIÓN

Después de haber terminado la implementación, en este capítulo se analiza el comportamiento del sistema de suministro y transporte de materia granulada. A continuación se presenta las pruebas realizadas y los resultados obtenidos que servirán como base para la evaluación del sistema.

#### 4.2. PRUEBAS A LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS

Después de haber montado el tablero eléctrico de la Figura 4.1, se realizaron algunas pruebas en la instalación.



**Figura 4.1: Tablero de control de la estación didáctica.**

Con la ayuda de un multímetro se selecciona la función continuidad y con la asistencia de los planos eléctricos mostrados en el ANEXO C-1

(PLANO ELÉCTRICO), se procede a revisar la conexión de los elementos, se verificó que el cableado está correcto.

#### 4.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PLC

Con la seguridad de que no se presenten cortocircuitos que dañen algún componente, se enciende la alimentación principal para verificar el arranque del PLC y a su vez confirmar que esté corriendo el programa almacenado en la memoria del mismo (Figura 4.2).



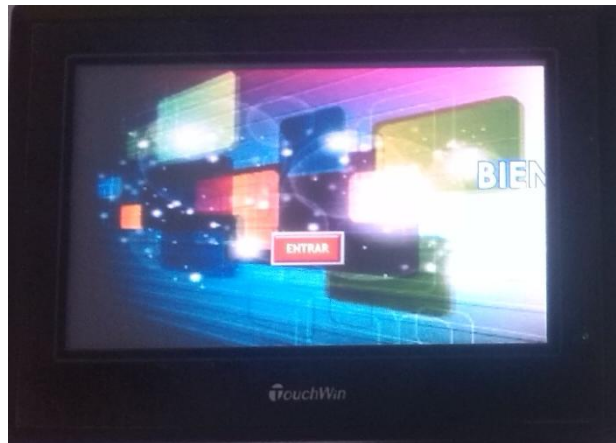
**Figura 4.2: Verificación del encendido del PLC.**

Cuando se establece la comunicación con el computador se debe probar al PLC poniéndolo en correr (run) y parar (stop) desde el software XCPPro.

Esta prueba resultó exitosa debido a que el PLC funcionó correctamente al realizar las acciones mencionadas anteriormente.

#### 4.4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL HMI.

Se verificó el funcionamiento del interfaz humano - máquina (Figura 4.3), en esta etapa se colocó unos cuantos registros para que lea el PLC y se visualice en la pantalla táctil.



**Figura 4.3: Pruebas del funcionamiento de la comunicación HMI-PLC.**

En esta prueba se obtuvo como resultado la correcta comunicación entre el PLC y la pantalla táctil, se visualizaron todos los registros colocados y los valores varían de la misma manera que en el programa del PLC en el software XCPPro.

#### 4.5. PRUEBAS DE COMUNICACIÓN MÓDULOS XBEE

Para verificar que los módulos XBEE están funcionando y comunicando correctamente, mediante el software X-CTU se puede observar que se recibe la trama, como se muestra en la Figura 4.4.

```

X-CTU [COM34]
PC Settings | Range Test | Terminal | Modern Configuration
Line Status: Asset
CTS [X] DSR [X] DTR [X] RTS [X] Break [ ]
Close Com Port Assemble Packet Clear Screen Hide Hex
0&0&0&>> 30 26 30 26 30 26 3E 3E 0D
.<<&RX&2&31& 0A 3C 3C 26 52 58 26 32 26 33 31 26
0&0&0&>> 30 26 30 26 30 26 3E 3E 0D
.<<&RX&2&30& 0A 3C 3C 26 52 58 26 32 26 33 30 26
0&0&0&>> 30 26 30 26 30 26 3E 3E 0D
.<<&RX&2&28& 0A 3C 3C 26 52 58 26 32 26 32 38 26
0&0&0&>> 30 26 30 26 30 26 3E 3E 0D
.<<&RX&2&27& 0A 3C 3C 26 52 58 26 32 26 32 37 26
0&0&0&>> 30 26 30 26 30 26 3E 3E 0D
.<<&RX&2&27& 0A 3C 3C 26 52 58 26 32 26 32 37 26
0&0&0&>> 30 26 30 26 30 26 3E 3E 0D
.<<&RX&2&26& 0A 3C 3C 26 52 58 26 32 26 32 36 26
0&0&0&>> 30 26 30 26 30 26 3E 3E 0D
.<<&RX&2&27& 0A 3C 3C 26 52 58 26 32 26 32 37 26
0&0&0&>> 30 26 30 26 30 26 3E 3E 0D
.<<&RX&3&31& 0A 3C 3C 3C 26 52 58 26 33 26 33 31
&0&0&0&>> 26 30 26 30 26 30 26 3E 3E 0D
.<<&RX&3&31& 0A 3C 3C 26 52 58 26 33 26 33 31 26
0&0&0&>> 30 26 30 26 30 26 3E 3E 0D
.<<&RX&3&31& 0A 3C 3C 26 52 58 26 33 26 33 31 26
0&0&0&>> 30 26 30 26 30 26 3E 3E 0D
.<<&RX&3&31& 0A 3C 3C 26 52 58 26 33 26 33 31 26
0&0&0&>> 30 26 30 26 30 26 3E 3E 0D
.<<&RX&3&31& 0A 3C 3C 26 52 58 26 33 26 33 31 26
0&0&0&>> 30 26 30 26 30 26 3E 3E 0D
.<<&RX&3&29& 0A 3C 3C 26 52 58 26 33 26 32 39 26
0&0&0&>> 30 26 30 26 30 26 3E 3E 0D
. 0A
COM34 | 9600 8N-1 FLOW:NONE | Rx: 2710 bytes

```

**Figura 4.4: Trama de datos recibidos.**



Al igual que en la recepción para el envío se utiliza el mismo software y se da clic en la opción **Assemble Packet**, cuya trama de envío se muestra en la Figura 4.5.

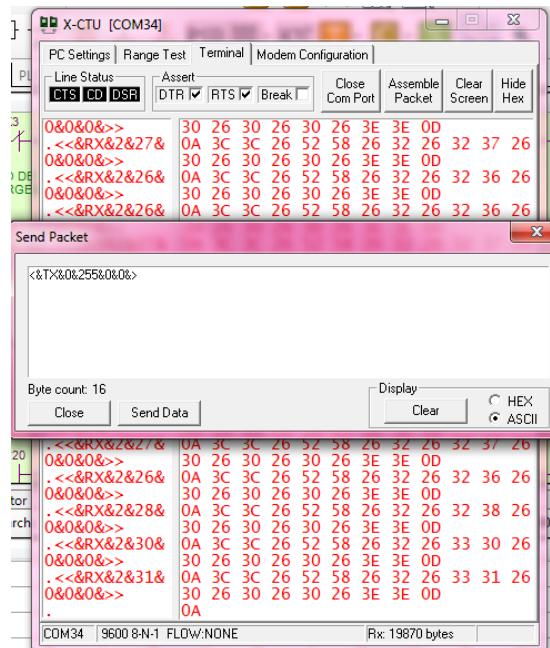


Figura 4.5: Trama de datos a enviar.

#### 4.6. PRUEBAS DE COMUNICACIÓN XBEE-PLC

La comunicación entre el módulo xbee y el PLC se la realiza mediante comunicación serial y el formato de comunicación libre que posee la programación interna del PLC.

Una vez que se ha configurado la comunicación del PLC, habilitando que los bytes enviados por los módulos XBEE se almacenen desde el registro D0 hasta el D21 (Figura 4.6), además los valores de datos asignados a cada uno de los registros van siendo sustituidos por los datos enviados en forma serial por los módulos XBEE.



Figura 4.6: Recepción de datos habilitados.

En la Figura 4.7, se muestra la recepción de datos directamente en los registros direccionados anteriormente.

PLC1 - Reg Monitor															
Monitor	Search: D200	X	Y	M	S	T	C	D	FD	M8000	D8000	FD8000	ID	QD	ED
	+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9					
D0	60	60	38	82	88	38	51	38	50	54					
D10	38	48	38	48	38	48	38	62	62	13					
D20	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
D30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					

Figura 4.7: Datos recibidos en los registros del PLC.

#### 4.6.1. ANÁLISIS DE LA TRAMA DE DATOS

Como se tienen algunos valores analógicos en la trama, ésta no siempre se ubicará en los mismos registros (Tabla 4.1) por lo que se realiza el siguiente análisis.

Tabla 4.1: Trama de recepción.

D 0	D 1	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	D 7	D 8	D 9	D 10	D 11	D 12	D 13	D 14	D 15	D 16	D 17	D 18	D 19	D 20	D 21
<	<	&	R	X	&	0	&	0	&	0	&	0	&	0	&	>	>				
<	<	&	R	X	&	0	&	1	0	&	0	&	0	&	0	&	>	>			
<	<	&	R	X	&	0	&	1	0	0	&	0	&	0	&	0	&	>	>		
<	<	&	R	X	&	1	0	&	0	&	0	&	0	&	0	&	>	>			
<	<	&	R	X	&	1	0	&	1	0	0	&	0	&	0	&	>	>			
<	<	&	R	X	&	1	0	0	&	0	&	0	&	0	&	0	&	>	>		
<	<	&	R	X	&	1	0	0	&	1	0	&	0	&	0	&	0	&	>	>	
<	<	&	R	X	&	1	0	0	&	1	0	0	&	0	&	0	&	0	&	>	>

Para identificar los datos recibidos por el módulo XBEE hacia el PLC se debe desfragmentar la trama conociendo cada una de las partes que integran la misma.

El PLC puede recibir nueve tipos de tramas diferentes con longitudes entre 18 y 22 bytes. Los datos del fabricante de los módulos XBEE determina la trama en números hexadecimales y especificando cada una de las partes que contiene la misma, es decir, el primer byte determina el comienzo de la trama y empieza siempre en < o lo que es lo mismo 3C y termina en > o lo que es lo mismo 3E.

#### **4.7. PRUEBAS DEL MOVIMIENTO DE LA BANDA TRANSPORTADORA**

##### **4.7.1. SENTIDO DE GIRO**

Al realizar las pruebas de sentido de giro se puede observar que las posiciones mencionadas en la etapa de diseño e implementación se cumplen a cabalidad; a continuación se recuerda las opciones de éste parámetro:

0: motor apagado.

1: motor en sentido anti-horario.

2: motor en sentido horario.

##### **4.7.2. VELOCIDAD**

En cuanto a la velocidad de la banda transportadora, como se explicó en la parte de programación del microcontrolador de la sección 3.4.3, literal a; se programa de tal manera que éste parámetro varíe entre 0 y 255, realizando un control PWM.

Se realizan las pruebas respectivas y se determina que adquiere movimiento seguro con un parámetro entre 70 y 255, por seguridad no se deberá setear valores menores a 70 porque si bien es cierto con estos valores se mueve la banda pero el motor realiza un esfuerzo mucho mayor y podría sufrir algún daño.

#### 4.8. PRUEBAS DEL SISTEMA DE SUMINISTRO

En esta etapa es muy importante evaluar si existen desperdicios al caer los granos desde el sistema de suministro hacia el frasco (Figura 4.8).



**Figura 4.8: Suministro de materia granulada.**

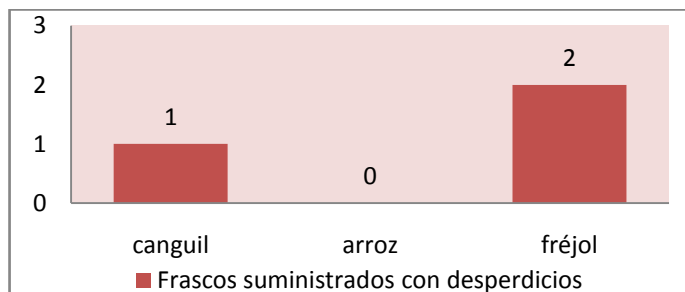
Para determinar la eficiencia del sistema se realizan los estudios con los diferentes granos y para los dos tamaños de frascos como se muestra a continuación:

En la Tabla 4.2 se muestra los datos para el frasco grande.

**Tabla 4.2: Datos para el frasco grande.**

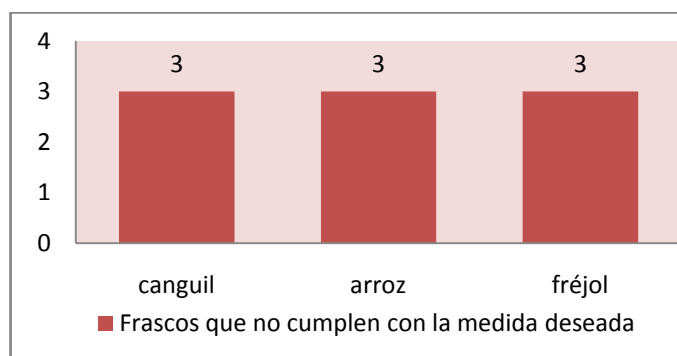
N° de frascos suministrados	Tipo de grano	Fascos suministrados con desperdicios	Fascos que no cumplen con la medida deseada	Fascos correctamente suministrados
50	canguil	1	3	46
50	arroz	0	3	47
50	fréjol	2	3	45

En la Figura 4.9 se muestra el gráfico del tipo de grano con respecto al número de frascos grandes que tienen desperdicios.



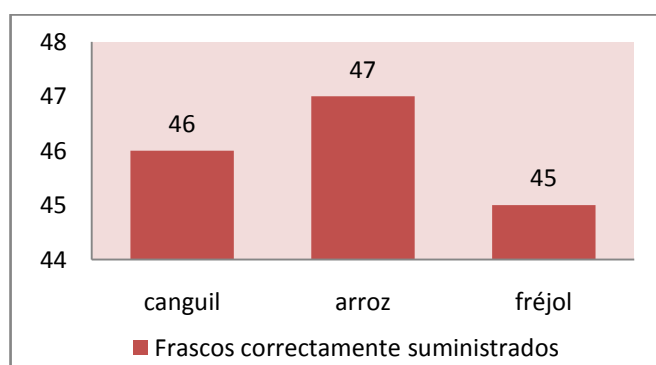
**Figura 4.9: Frascos grandes con desperdicios por cada tipo de grano.**

En la Figura 4.10 se muestra el gráfico del tipo de grano con respecto al número de frascos grandes que no cumplen con la medida deseada.



**Figura 4.10: Frascos grandes que no cumplen con la medida deseada.**

En la Figura 4.11 se muestra el gráfico del tipo de grano con respecto al número de frascos grandes que cumplen con la medida deseada.



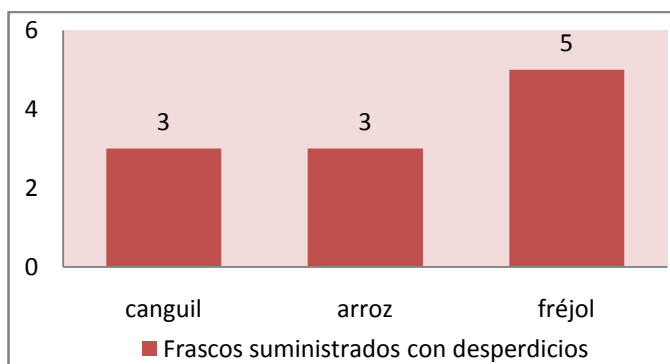
**Figura 4.11: Frascos grandes suministrados correctamente.**

En la Tabla 4.3 se muestra los datos para el frasco pequeño.

**Tabla 4.3: Datos para el frasco pequeño.**

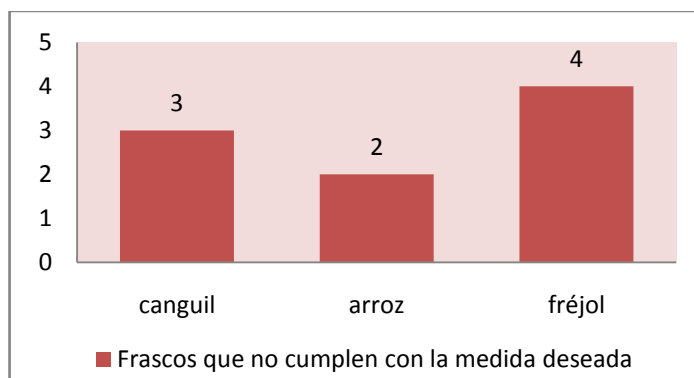
N° de frascos suministrados	Tipo de grano	Fascos suministrados con desperdicios	Fascos que no cumplen con la medida deseada	Fascos correctamente suministrados
50	canguil	3	3	44
50	arroz	3	2	45
50	fréjol	5	4	41

En la Figura 4.12 se muestra el gráfico del tipo de grano con respecto al número de frascos pequeños que tienen desperdicios.



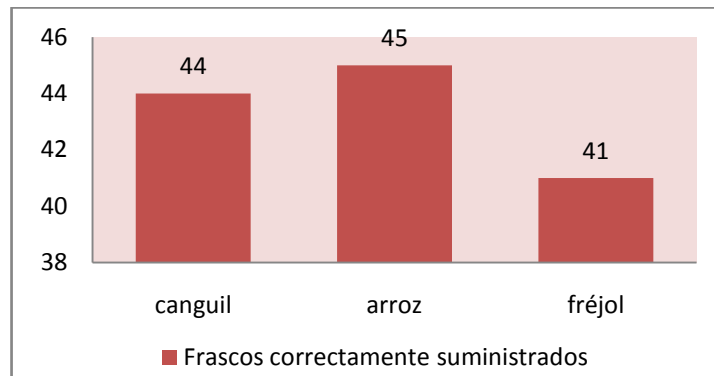
**Figura 4.12: Frascos pequeños con desperdicios por cada tipo de grano.**

En la Figura 4.13 se muestra el gráfico del tipo de grano con respecto al número de frascos pequeños que no cumplen con la medida deseada.



**Figura 4.13: Frascos pequeños que no cumplen con la medida deseada.**

En la Figura 4.14 se muestra el gráfico del tipo de grano con respecto al número de frascos pequeños que cumplen con la medida deseada.



**Figura 4.14: Frascos pequeños suministrados correctamente.**

#### 4.8.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE SUMINISTRO

Tomando en cuenta las pruebas realizadas, se procede a realizar el cálculo de los errores que presenta este sistema.

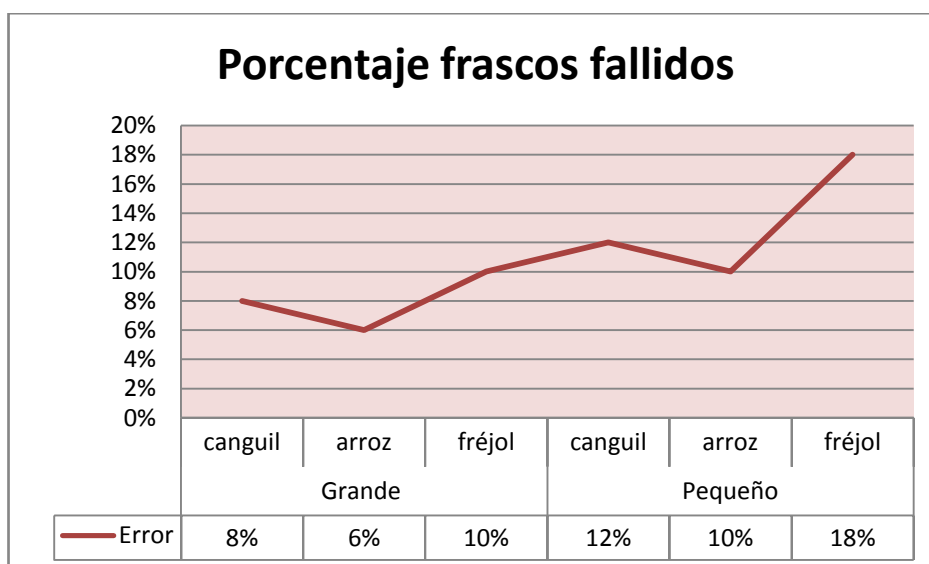
En la Tabla 4.4 se muestran el error del sistema con respecto a los frascos fallidos, es decir aquellos frascos que no cumplen con los requerimientos del usuario.

**Tabla 4.4: Análisis del sistema de suministro.**

N° de frascos de la prueba	Tamaño de frasco	Tipo de grano	Frascos correctamente suministrados	Frascos Fallidos	Error
50	Grande	canguil	46	4	8%
50		arroz	47	3	6%
50		fréjol	45	5	10%
<b>150</b>	<b>TOTAL</b>		<b>138</b>	<b>12</b>	<b>8%</b>
50	Pequeño	canguil	44	6	12%
50		arroz	45	5	10%
50		fréjol	41	9	18%
<b>150</b>	<b>TOTAL</b>		<b>130</b>	<b>20</b>	<b>13%</b>
<b>ERROR PROMEDIO</b>					<b>10,5%</b>

Como se observa en la tabla anterior existe un error mayor en los frascos pequeños que en los grandes; tomando en cuenta como frascos con desperdicios a aquellos que llegan a la etapa de suministro, la celda de carga no llega al valor deseado y existe un llenado en exceso de los bordes del frasco; se conoce como frascos sin la medida deseada a aquellos que llegan a la etapa final y no han adquirido el peso seteado por el usuario en la pantalla táctil. A estos dos casos se los denomina como frascos fallidos.

En la Figura 4.15 se grafica el porcentaje de frascos fallidos para cada tipo de grano.



**Figura 4.15: Porcentaje de frascos fallidos.**

Realizando un promedio en cuanto al error, se obtiene un valor de 10,5% por lo que se determina una eficiencia del 89,5%. Es decir el 89,5% de frascos cumplen con el peso deseado o digitado previamente en la pantalla táctil y no presentan desperdicio alguno.



#### 4.9. ALCANCES Y LIMITACIONES

Con la habilitación del sistema de suministro y transporte de materia granulada, se puede destacar los alcances y las limitaciones que este proyecto posee, a continuación se detallan los alcances:

- Mediante el HMI se puede obtener información del estado de operación de la máquina durante su operación, así como el registro de problemas suscitados durante el proceso.
- Este sistema se puede utilizar no solo para dosificar los granos que se han utilizado en las pruebas sino diferentes tipos de materiales sólidos o polvos.
- La estación didáctica servirá para la explicación de distintas asignaturas debido a que es una aplicación mecatrónica que será parte de un laboratorio.

Las limitaciones que tiene la estación dentro de su normal funcionamiento son:

- El sistema se puede ver afectado por las vibraciones excesivas producidas cerca del sistema de pesaje.
- La cantidad máxima de materia granulada suministrada se ve limitada a la capacidad máxima de los frascos.
- No se tiene un proceso a tiempo real, debido a que para la interacción entre el PLC y el microcontrolador se requiere de un tiempo que si bien es cierto es de milisegundos afecta al realizar todo el proceso.

#### 4.10. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La hipótesis planteada al iniciar el proyecto fue la siguiente:

¿Al diseñar y construir una Estación Didáctica se conseguirá un proceso eficiente de suministro y transporte de materia granulada con una Interfaz Humano-Máquina y comunicación inalámbrica?

De dicha hipótesis se obtienen las siguientes variables:

**Variable independiente:**

- Diseñar y construir una Estación Didáctica.

**Variable dependiente:**

- Suministro y transporte de materia granulada.

Se desea analizar si los resultados de las pruebas realizadas en el control de calidad son concluyentes o no, para lo cual se aplica una prueba de hipótesis para las proporciones (Ordoñez et al., 2009).

En base a los resultados de la sección 4.8.1, con el siguiente enunciado: si los resultados indican que de los 300 frascos que fueron objeto de estudio, los frascos correctamente suministrados son 268; entonces se puede afirmar que al menos el 89,5% de frascos cumplieron con el proceso correctamente.

Resumiendo:

$$n = 300$$

$$x = 268$$

$$p = \frac{268}{300} = 0,893333$$

$$p_0 = 0,895 = 89,5\%$$

Hipótesis:  $H_0 = p_0 \geq p$

$H_1 = p_0 < p$

$$Z_p = \frac{p - p_0}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}}$$

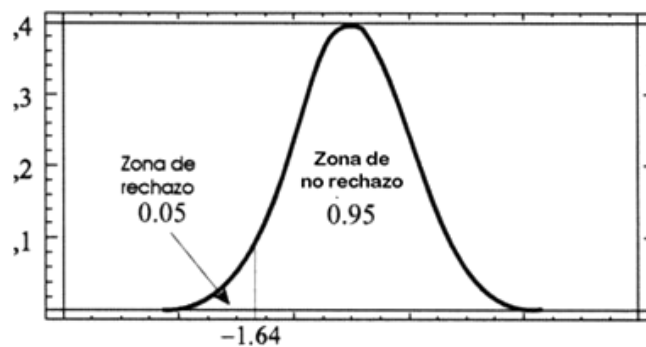
**Ec. 4.1**

$$Z_p = \frac{0,893 - 0,895}{\sqrt{\frac{0,893(1-0,893)}{300}}}$$

$$Z_p = -0,112$$

Asumiendo una confiabilidad del 95%, el valor correspondiente a Z en la distribución normal es -1.645.

Como puede observarse en la figura 4.16, el valor de la estadística de trabajo se encuentra en la zona de no rechazo de la hipótesis nula, por consiguiente, con una confiabilidad del 95% se concluye que al menos el 89,5% de frascos cumplieron con el proceso correctamente.



**Figura 4.16: Regla de decisión para prueba de hipótesis.**

Mediante la implementación del proyecto se ha logrado crear un sistema que permita suministrar varios tipos de granos en distintas proporciones, obteniendo un proceso moderno, eficiente y automatizado. Además por el análisis que se realizó se dedujo que existe una eficiencia 89,5%, por lo que se puede concluir que la hipótesis planteada es verdadera.

#### 4.11. ANÁLISIS FINANCIERO DE COSTOS

##### Inversión inicial del proyecto

Para el análisis de la inversión para la implementación del proyecto será necesario realizar un análisis de los insumos utilizados. En la Tabla 4.5 se indica el equipo proporcionado por el laboratorio de Mecatrónica.

**Tabla 4.5: Equipo del Laboratorio de Mecatrónica.**

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	P.UNITARIO	TOTAL
1	PLC XINJE XCM-32T-E	1	\$ 400,00	\$ 400,00
				<b>\$ 400,00</b>

Para la implementación del proyecto se empleó materiales eléctricos, electrónicos, dispositivos de control, materiales mecánicos proporcionados por los estudiantes encargados del proyecto; que se detallan en la Tabla 4.6.

**Tabla 4.6: Equipo y material proporcionado por los estudiantes.**

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	P.UNITARIO	TOTAL
1	Sensores infrarrojos	3	\$ 8,00	\$ 24,00
2	Sensor ultrasónico	1	\$ 45,00	\$ 45,00
3	Celda de carga	1	\$ 18,00	\$ 18,00
4	Servomotor 6001 MG	1	\$ 28,00	\$ 28,00
5	Servomotor 1501 MG	1	\$ 37,00	\$ 37,00
6	Tolva	1	\$ 75,00	\$ 75,00
7	Controlador VNH 5019	1	\$ 45,00	\$ 45,00
8	Motor DC	1	\$ 28,00	\$ 28,00
9	Cinta Transportadora	1	\$ 45,00	\$ 45,00
10	Frascos grandes	4	\$ 1,00	\$ 4,00
11	Frascos pequeños	4	\$ 0,75	\$ 3,00
12	XBEE Serie 1	2	\$ 48,00	\$ 96,00
13	Material Mecánico	1	\$ 600,00	\$ 600,00
14	Material eléctrico/electrónico	1	\$ 200,00	\$ 200,00
15	Touch Panel TH 765 UT	1	\$ 700,00	\$ 700,00
16	Cable mini USB	1	\$ 25,00	\$ 25,00
				<b>\$ 1.973,00</b>

## Análisis Técnico-Económico

La estación didáctica ha sido implementada satisfactoriamente cumpliendo su funcionamiento en el Laboratorio de Mecatrónica; por lo cual se hace necesario cuantificar su valor económico para identificar la inversión realizada por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga y los estudiantes encargados del proyecto.

Con todos los costos mencionados anteriormente, se tiene que para el proyecto se realizó una inversión total de \$ 2 373,00 USD; como se muestra en la Tabla 4.7.

**Tabla 4.7: Costo de la estación didáctica.**

GASTOS REALIZADOS POR LOS AUTORES DEL PROYECTO	\$ 1.973,00
COSTO DE PLC DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA	\$ 400,00
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>\$ 2.373,00</b>

En la Figura 4.17, se indica una estación didáctica que se encuentra en el mercado con características similares a la implementada en el laboratorio, cotizada en \$ 72 800,00 USD.



**Figura 4.17: Estación didáctica disponible en el mercado.**

Al comparar el valor de estaciones didácticas similares con el valor del proyecto, se determina que el costo beneficio es de \$ 70.427,00 USD, lo cual indica que el proyecto es sumamente factible.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó una estación didáctica para el suministro y transporte de materia granulada con interfaz humano - máquina y comunicación inalámbrica para el Laboratorio de Mecatrónica de la ESPE-L
- Se investigó y seleccionó minuciosamente cada uno de los dispositivos que intervienen en el proyecto, facilitando un correcto funcionamiento de la estación didáctica de suministro y transporte de materia granulada.
- Se desarrolló el programa del PLC de tal manera que se tome en cuenta la comunicación inalámbrica que se tiene, es decir el envío y recepción están establecidos y deben estar perfectamente estructurados en las tramas correspondientes.
- La comunicación entre el PLC y el dispositivo XBEE se consiguió gracias a la investigación de la comunicación serial de forma libre incorporada en el PLC y estableciendo las mismas velocidades de transmisión.
- Se diseñó un interfaz humano - máquina mediante una pantalla de visualización que permite al usuario la interacción con las variables del proceso así como también la visualización de los datos medidos.
- Mediante el HMI se puede obtener información del estado de operación de la máquina durante su operación, así como el registro de problemas suscitados durante el proceso.

- Se configuró los dispositivos XBEE en forma transparente o llamada también comunicación punto a punto y se le asignó direcciones para que no se confunda la comunicación con otros dispositivos XBEE existentes en el laboratorio.
- Mediante la implementación del proyecto se ha logrado crear un sistema que permita suministrar varios tipos de granos en distintas proporciones, obteniendo un proceso moderno, eficiente y automatizado.
- La estación didáctica para el suministro y transporte de materia granulada se puede utilizar no solo para dosificar los granos que se han utilizado en las pruebas sino diferentes tipos de materiales sólidos o polvos.
- El control de la estación didáctica se basa en dos tarjetas principales, la tarjeta procesadora o de control en la cual se encuentran integradas la señal de cada uno de los sensores y actuadores al microcontrolador; y la tarjeta de comunicación que se encuentra conectada de modo serial al PLC.
- Para el diseño del sistema mecánico se utilizó el software SolidWorks, el cual permite realizar un análisis de esfuerzos estáticos, con el fin de conocer las diferentes fallas que tenga el diseño y corregirlas de manera que satisfaga los parámetros planteados.
- La estación didáctica servirá para la práctica de distintas asignaturas debido a que es una aplicación netamente mecatrónica al integrar varios sistemas; como es parte del Laboratorio de Mecatrónica se contribuye a la educación integral que se brinda con la elaboración de este proyecto.
- Para el proyecto se realizó una inversión total de \$ 2 373,00 USD, mientras que el costo de una estación didáctica disponible en el mercado con características similares a la implementada es de \$ 72 800,00 USD.

Al comparar los valores anteriores se determina que el costo beneficio es de \$ 70.427,00 USD, lo cual indica que el proyecto es sumamente factible.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- El usuario que vaya hacer uso de la estación didáctica, debe leer y comprender lo expuesto en el manual para realizar el adecuado uso y así garantizar el correcto funcionamiento del sistema.
- Las estructuras que van a estar en contacto directo con el producto deben ser construidas en materiales que no sean corrosivos, por lo general para productos alimenticios es recomendable el uso de acero inoxidable.
- Se debe revisar la documentación de cada uno de los dispositivos antes de su manipulación para comprender su funcionamiento y evitar daños provocados por el manejo equivocado de los equipos.
- Es necesario que las velocidades de transmisión entre el dispositivo XBEE y el PLC sean las mismas ya que si esta condición no se cumple no existirá comunicación.
- Por seguridad no se deberá setear valores menores a 70 que equivale a 25 rpm en el valor de la velocidad de la banda porque si bien es cierto con estos valores se mueve la banda pero el motor realiza un esfuerzo mucho mayor y podría sufrir algún daño o disminuir su vida útil.
- Es importante que los parámetros seteados en el panel táctil coincidan con los que se tiene en proceso real caso contrario no funcionará de forma óptima el proceso.



- Al cambiar de locación la estación desmontable, se recomienda verificar el estado de los sensores ya que por el movimiento se puede descalibrar alguno de ellos, en especial la celda de carga.
- Es importante tomar en cuenta que se está utilizando módulos XBEE por lo que estos dispositivos deben tener siempre una línea de vista, caso contrario se perderán algunos datos de la trama o en el peor de los casos la comunicación es nula.
- Para futuras aplicaciones similares se recomienda utilizar otro tipo de PLC, si bien es cierto el PLC utilizado es muy robusto para aplicaciones en las cuales se utilice códigos G, no es lo suficientemente rápido en cuanto a envío y recepción vía serial por lo que no se consigue un proceso a tiempo real.
- Para cumplir con el proceso completo industrial de automatización se recomienda realizar estaciones complementarias antes y después de la estación construida en este proyecto. Antes, se puede realizar estaciones de selección de granos en buen estado y alimentación automática de la tolva; después del proyecto se puede realizar la estación de sellado y almacenamiento de recipientes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguinsaca, O. F. (2008). *Diseño y Construcción de una máquina dosificadora automática de encimas para balanceado de camarón para la empresa EMPAGRAN S.A.* Tesis de Grado, Escuela Politécnica del Ejército, Eléctrica y Electrónica, Latacunga - Ecuador.
- Angulo, B., & Raya, G. (2005). Tecnologías del Sistema de Control. En *Principios básicos de la teoría de control* (pág. 31). Barcelona - España: Universidad Politecnica de Catalunya.
- Brendan, M. (2012). *sabias FRIKI*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2012, de ¿Qué es ZigBee?: <http://www.wisegEEK.com/what-is-zigbee.htm>
- Canto Q., C. E. (2012). *Autómatas*. Recuperado el 20 de Febrero de 2013, de Sensor Inductivo: [http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES\\_PLC\\_PDF\\_S/24\\_SENSORES\\_INDUCTIVOS.PDF](http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES_PLC_PDF_S/24_SENSORES_INDUCTIVOS.PDF)
- Canto, C. (2013). *Autómatas Programables*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2013, de Sensores Ultrasónicos: [http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES\\_PLC\\_PDF\\_S/28\\_SENSORES\\_ULTRAS\\_NICOS.PDF](http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES_PLC_PDF_S/28_SENSORES_ULTRAS_NICOS.PDF)
- Castillo, A. V., & Villavicencio, R. V. (2009). *Repotenciación y Automatización del Proceso de Mezcladora Banda Transportadora para Prácticas de Laboratorio de Automatización Industrial Del DECEM*. Tesis de Grado, Escuela Politécnica del Ejército, Ingeniería Mecánica, Sangolquí-Ecuador.
- Chaur Bernal, J. (2004). *Diseño conceptual de productos asistidos por ordenador: Un estudio analítico sobre aplicaciones y definición de la estructura básica de un nuevo programa*. Tesis de Grado, Univesidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Proyectos de Ingeniería, Barcelona - España.
- Cobo, R. (2010). *EL ABC DE LA AUTOMATIZACION*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2012, de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf>
- Correa, A. Y., & Remache, E. P. (2006). *Sistema para Controlar la Velocidad de un Motor DC utilizando Modulación de Ancho de Pulso*. Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Formación Tecnológica, Quito-Ecuador.

- Espinoza Esquivel, M. (Marzo de 1995). *Universidad Autonoma de Nuevo León*. Recuperado el 27 de Octubre de 2012, de Diseño y Construcción de una Celda de Carga.: <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020074697.pdf>
- etitudela.com. (2012). *downloads*. Recuperado el 2012 de Noviembre de 27, de servoaccionamientos: <http://www.etitudela.com/celula/downloads/servoaccionamientos.pdf>
- Evelio, M. (30 de Noviembre de 2002). *Tecnologías de Comunicación Inalámbrica*. Recuperado el 6 de Noviembre de 2012, de <http://www.eveliux.com/mx/tecnologias-de-comunicacion-inalambrica.php>
- Fundación Wikimedia*. (12 de Junio de 2012). Recuperado el 25 de Enero de 2013, de Actuador: <http://es.wikipedia.org/wiki/Actuador>
- Gaizka, A. A. (19 de Marzo de 2010). *Sensores Capacitivos*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2012, de <http://asiergaizkaaitorapi.blogspot.com/2010/04/concepto-teorico.html>
- García, J. A. (2012). *asifunciona.com*. Recuperado el 28 de Diciembre de 2013, de Así funciona el motor de corriente directa o continua: [http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af\\_motor\\_cd/af\\_motor\\_cd\\_6.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af_motor_cd/af_motor_cd_6.htm)
- González de Durana, J. M. (2002). Modelos de procesos continuos. En *Automatización de Procesos Industriales* (págs. 6-11). Vitoria-Gasteiz: Dpto. I.S.A., EUITI e ITT - UPV/EHU.
- Gutiérrez, M. (2011). Introducción al Control de Dosificación para Sólidos. En *Ingeniería Química*. (págs. 52-55). Ed. Lleal S.A.
- Industrias Ailén S.R.L. (2009). *VESCOVO*. Recuperado el 28 de Octubre de 2012, de <http://www.vescovoweb.com/tiposDosificadores.html>
- Itriago, M. (2003). *Sensores de Posición Descripción, Selección y Uso*. Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre", Departamento de Ingeniería Electrónica, Barquisimeto-Venezuela.
- Jaeger, H. M., Nagel, S. R., & Behringer, R. P. (1996). *Materia Granular sólidos, Líquidos y gases*. Universidad de Chicago, Sociedad Americana de Física, Chicago - Estados Unidos.
- Kalpakjian, & Schmid. (2002). En *Manufactura Ingeniería y tecnología*. (pág. 1029). México: Prentice Hall S.A. de C.V.

- Las Sabinas. (Febrero de 2011). *Departamento de Tecnología*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2012, de SISTEMAS ELECTRÓNICOS: <http://blog.educastur.es/tecnoaller/files/2011/02/apuntes-e-analogica.pdf>
- Mankoc, C. P. (2009). *Estudio experimental de la descarga de medios granulares en silos sometidos a vibraciones*. Memoria para aspirar el grado de Doctor, Universidad de Navarra, Facultad de Ciencias, Pamplona - España.
- Mayné, J. (2009). Comunicaciones Inalambricas. En *Estado actual de las Comunicaciones por Radio Frecuencia*. (pág. 3). Argentina: Ed. Silica.
- Montanero, A. (1990). Fundamento, manejo, instalación y prácticas. En *Autómatas Programables* (págs. 10-28). Madrid, España: Ed. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.
- Morcelle del Valle, P. (2010). *Universidad Nacional de La Plata*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2012, de Departamento de Electrotecnia: [http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/tcieye/Apuntes/Transductores %20\\_%20Rev2010.pdf](http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/tcieye/Apuntes/Transductores%20_%20Rev2010.pdf)
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. México: Pearson Educación.
- NEUMOPACK. (2012). *NEUMOPACK*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2012, de [http://www.neumopack.com/sistemas\\_de\\_dosificacion.htm](http://www.neumopack.com/sistemas_de_dosificacion.htm)
- Ordóñez, H., Ramírez, N., (2009), Estadística II. Prueba de hipótesis. Extraído el 20 de enero del 2014 desde <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4030006/lecciones/capitulotres/tema3.html>
- Ortega, C., Roque, D., & Úbeda, L. (28 de Julio de 2008). *Monografías*. Recuperado el 23 de Marzo de 2013, de ZigBee: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/zigbee/zigbee.pdf>
- Oyarse, A. (2010). *Guía de Usuario XBEE serie 1*. Ingeniería MCI LTDA. Santiago - Chile: MCI electronics.
- Ozohippie. (2 de Octubre de 2010). *Conceptos Generales de*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2012, de Conceptos Generales de Sensores.: <http://es.scribd.com/doc/26660735/Sensores-Inductivo-Infrarojo-Magnetico-Efecto-Hall>
- Padilla, K., & Reyes, R. (2006). *Automatización e implementación de un sistema HMI/ SCADA para el enclavamiento y seguridades del molino*

*de papel 5 de la planta de productos Familia Sancela del Ecuador S.A.* ESPE-L, Departamento de Eléctrica y Electrónica. Latacunga - Ecuador: Carrera de Ingeniería Electrónica e Instrumentación.

- Pareja A., M. (2013). *Revista Digital de ACTA*. Recuperado el 25 de Enero de 2014, de Software libre y simulación de circuitos electrónicos: [http://www.acta.es/medios/articulos/ayudas\\_y\\_herramientas/013001.pdf](http://www.acta.es/medios/articulos/ayudas_y_herramientas/013001.pdf)
- PCE Instrumentos. (25 de Mayo de 2012). *Transductores*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2012, de <http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/transductores.htm>
- Rodríguez V., P. (2009). *Diseño de Interfaces Hombre - Máquina (HMI)*. Recuperado el 25 de Mayo de 2013, de ITESCAM: <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r94806.PDF>
- Rojas, D. (2005). *Sena Virtual*. Recuperado el 20 de Mayo de 2013, de PLC - Controladores Lógicos Programables: <http://davidrojasticsplc.files.wordpress.com/2009/01/plc1s3.pdf>
- Ruiz, J., & Salazar, R. (2012). *Sensores, Actuadores y Efectores*. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Eléctrica. Facultad de Sc. Fs y Matemáticas.
- Ruiz, M. A. (2007). *Diseño e implementación de un sistema de adquisición y control de temperatura mediante el Estándar Zigbee*. Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito - Ecuador.
- Ruiz, W. I., & Vásquez, R. F. (2012). *Construcción de un Prototipo de Lavadora de Autos controlada por PLC*. Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Formación de Tecnólogos, Quito-Ecuador.
- Santillán, J. C. (2008). *Criterios para el diseño de una cinta transportadora*. Artículo de Investigación, Universidad Nacional "Pedro Ruíz Gallo", Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Lambayeque - Perú.
- Simbaña, K. M., & Terán, T. F. (2009). *"Diseño e implementación de un sistema automatizado para un prototipo clasificador de huevos"*. Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito-Ecuador.

- SolidWorks Corp. (s.f.). Recuperado el 15 de Diciembre de 2012, de <http://2.bp.blogspot.com/-zyKV9s8D9FQ/TcYMwLQnGml/AAAAA AAAAB0/1kt3JxXZUug/s1600/solidworks1.gif>
- Techno-Hall. (27 de 12 de 2012). *Electronica, Telecomunicaciones y Tecnologías de la Informacion*. Recuperado el 15 de 03 de 2013, de <http://technohall.com/2012/12/xctu-herramienta-modulos-xbee/>
- Treviño, J., & Silva, J. (2011). *Red de sensores inalámbrica genérica*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ingeniería en Sistemas Digitales y Comunicaciones. Juárez - México: Instituto de Ingeniería y Tecnología.
- Vilas Iglesias, J. M. (8 de Febrero de 2006). *UNIVERSIDAD DE VIGO*. Recuperado el 15 de Enero de 2013, de SISTEMA MULTIMEDIA PARA LA ENSEÑANZA DE LOS SENSORES DE PROXIMIDAD: [http://www.dte.uvigo.es/recursos/proximidad/Sensores\\_Proximidad.swf](http://www.dte.uvigo.es/recursos/proximidad/Sensores_Proximidad.swf)
- Vildósola, E. (2013). *Soltex Chile S.A.* Recuperado el 20 de Enero de 2014, de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>
- Zuriguel Ballaz, I. (2005). Flujo en el interior de un silo. En *FLUJO Y ATASCOS DE UN MEDIO GRANULAR EN LA DESCARGA DE SILOS* (pág. 30). Pamplona - España: Facultad de Ciencias, Universidad de Navarra.

## GLOSARIO

### A

**Acondicionamiento:** Es el resultado de preparar o arreglar algún elemento para alcanzar una meta o cumplir con un objetivo.

### C

**Calibración:** Dar a un elemento un valor deseado.

### E

**Emplazamiento:** Situación, colocación, ubicación.

### F

**Fuerzas cohesivas:** Fuerzas entre moléculas de la misma sustancia.

### M

**Materiales perecederos:** Son aquellos que inician su descomposición de manera rápida y sencilla. Este deterioro está determinado por factores como la temperatura, la presión o la humedad.

**Metáfora:** Las metáforas relacionan el sistema con algo ya conocido.

**Monitoreo:** Es la acción de controlar o supervisar una situación.

### P

**Partículas macroscópicas:** Trata de aquellas partículas que se las puede observar a simple vista sin necesidad de utilizar algún instrumento que tenga lente de ampliación.

**Productos abrasivos:** Son todos los materiales, productos químicos o naturales, cuya dureza es mayor que la del objeto a rayar

### **S**

**Separación galvánica:** Se trata de un detalle técnico que presentan determinados interruptores limitadores (finales de carrera).

**Sólidos friables:** Sólidos que se desmenuzan fácilmente.

### **V**

**Vasos telescópicos:** Tipos de recipientes con graduación o medida que son introducidos en un sistema de dosificación volumétrica.

### **Z**

**Zonas de remanso:** Es la zona en la cual no existe movimiento.



**ANEXOS**

**Elaborado por:**

---

Jenny Mercedes Mata Tutillo.

---

Wilson Ivan Molina Jiménez.

**Aprobado por:**

---

Ing. Vicente Hallo  
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**Certificado por:**

---

Dr. Freddy Jaramillo Checa  
SECRETARIO ACADÉMICO