

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN PROTOTIPO AUTOMATIZADO
PARA DOSIFICACIÓN Y MEZCLADO DE 4 COMPONENTES, TRES DE ELLOS
A GRANEL Y UNO LÍQUIDO OBTENIENDO COMO MEZCLA HASTA 15Kg/h
PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL,
IMPLEMENTADO POR LA TECNOLOGÍA ROCKWELL AUTOMATION.**

**ROGER LEONARDO ÁLVAREZ GÓMEZ
NATALIA CALDERÓN PICO**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA
SECCIONAL BUCARAMANGA
2011**

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN PROTOTIPO AUTOMATIZADO
PARA DOSIFICACIÓN Y MEZCLADO DE 4 COMPONENTES, TRES DE ELLOS
A GRANEL Y UNO LÍQUIDO OBTENIENDO COMO MEZCLA HASTA 15Kg/h
PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL,
IMPLEMENTADO POR LA TECNOLOGÍA ROCKWELL AUTOMATION.**

**ROGER LEONARDO ÁLVAREZ GÓMEZ
NATALIA CALDERÓN PICO**

TRABAJO DE GRADO

**ING. MIGUEL ÁNGEL REYES OROZCO
DIRECTOR DEL PROYECTO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA
SECCIONAL BUCARAMANGA
2011**

Nota de Aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, Septiembre de 2011

A ti Dios Padre, por estar a mi lado en cada paso que doy,
Por fortalecerme en los momentos que más lo necesito,
Por darme la tranquilidad en los momentos de angustia.

Quiero agradecer hoy y siempre a mi padre, Reinaldo Álvarez,
Por brindarme su amor y cariño,
A mi querida madre, Alcira Gómez
Partícipe de este gran logro de mi vida,
Persona que me lleno de valores y enseñanzas con mucha sabiduría.
Agradezco de todo corazón a estas personas por su amor, cariño y
compresión brindados.
En todo momento los llevo conmigo.

A mis hermanas Alejandra y Natalia por el apoyo que me brindan,
Sé que cuento con ellas para siempre.

Agradezco a la persona que ha compartido esta etapa de mi vida, a ti
Dajhana por haberme dejado entrar en tu corazón,
Y estar conmigo compartiendo este gran logro.

ROGER LEONARDO ÁLVAREZ GÓMEZ.

A Dios por darme la vida, por el regalo de una familia y por las bendiciones recibidas tanto espirituales como materiales, por haber permitido que mis padres me dieran la oportunidad de estudiar tan maravillosa carrera y el nunca haberme desamparado en los momentos cruciales en ella.

A mi padre, José Manuel Calderón Gómez por enseñarme a valorar las cosas simples de la vida y por apoyarme en el proceso del aprendizaje.

A mi madre, Rosaura Pico Pineda por ser una madre ejemplar y por darme la tranquilidad que siempre necesite, por ser Mi mejor amiga y consejera.

A mis hermanas, Dennise Katherine e Ivonne Andrea por ser las personas más importantes en mi vida, por su amor incondicional y las que siempre me dieron esas ganas de salir adelante.

A Julio Cesar por su amor incondicional, por la paciencia y fuerza que me brindo en este gran logro.

A mis amigos, por haberme acompañado en este proceso, por ser parte de mi vida, por creer en mí y por el cariño absoluto que siempre obtuve de ellos.

NATALIA CALDERÓN PICO

AGRADECIMIENTOS

A los Ingenieros Juan Carlos Villamizar, Juan Carlos Mantilla y Leidy Johanna Olarte por habernos guiado, por la orientación que daba en el momento preciso, y por ser del apoyo en el transcurso del proyecto.

Al ingeniero Miguel Ángel Reyes Orozco, por habernos brindado la oportunidad de trabajar con él, por los consejos oportunos y por exigirnos a dar siempre lo mejor de nosotros.

Al personal de Mantenimiento y a los ingenieros que nos brindaron el apoyo y conocimientos en el transcurso del proyecto.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar, construir y hacer pruebas de funcionamiento a un prototipo automatizado de dosificación y mezclado de cuatro componentes, tres de ellos a granel y uno líquido obteniendo hasta 15Kg/h de mezcla, por medio de tecnología Rockwell Automation para el laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y Simular el comportamiento estructural estático de los componentes de las dosificadoras y sistema de mezcla, teniendo en cuenta las proporciones hasta 3:2:1:1.
- Construir el prototipo de la planta dosificadora-mezcladora acoplando los elementos mecánicos diseñados y seleccionados según las especificaciones establecidas en el diseño y simulación del mismo.
- Automatizar el prototipo basado en tecnología Rockwell Automation, utilizando el PLC control LogixController 1756L62 de la arquitectura *Allen-Bradley*.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. JUSTIFICACIÓN	19
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1. METODOLOGÍA DEL DISEÑO	20
2.1.1. SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN Y MEZCLA	22
2.1.1.1. <i>Sistemas de Dosificación</i>	22
2.1.1.2. <i>Sistemas de mezcla</i>	24
2.1.2. MANEJO Y TRASPORTE DEL PRODUCTO	26
2.1.3. TECNOLOGÍA NEUMÁTICA	27
2.2. INSTRUMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO	28
2.2.1. SENSORICA Y MANEJO DE SEÑAL	28
2.2.2. PROCESO DE LA AUTOMATIZACIÓN	31
2.2.2.1. <i>Modelo Estructural de un Sistema Automatizado</i>	32
2.2.2.2. <i>Modelo Cim (Manufactura Integrada Por Computador)</i>	33
2.2.2.3. <i>Controladores De Automatización Programables</i>	34
3. METODOLOGÍA DEL DISEÑO	37
3.1. DEFINICIÓN DE NECESIDADES	37
3.2. CONCEPTUALIZACIÓN	37
3.3. ANÁLISIS DE VIABILIDAD	38
3.4. TOMA DE DECISIONES	38
3.5. ASIGNACIÓN DE RESPONSABILIDADES	39
3.6. DISEÑO PRELIMINAR	39
3.7. DISEÑO DETALLADO	40
3.7.1. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y DOSIFICACIÓN	41
3.7.1.1. <i>Diseño de tolva para material polvoriento</i>	42
3.7.1.2. <i>Diseño de tolva para material granular fino</i>	44
3.7.1.3. <i>Diseño de tolva para material granular grueso</i>	46
3.7.1.4. <i>Diseño de tolva para material liquido</i>	58
3.7.2. SISTEMA DE PESAJE	49
3.7.3. SISTEMA DE TRANSPORTE DEL MATERIAL	50
3.7.4. SISTEMA DE MEZCLADO	52
3.7.5. SISTEMA NEUMÁTICO	54
3.7.6. DISEÑO CAD DEL PROTOTIPO SOLIDWORKS	55
3.7.7. ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA ESTRUCTURA POR MEDIO DE SOFTWARE CAE ANSYS	56
3.8. CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE DEL PROTOTIPO	59

4. DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN	62
4.1. SISTEMAS DE CONTROL	62
4.1.1. Distribución de las etapas de control	62
4.2. HERRAMIENTAS DE CONTROL	63
4.3. ELEMENTOS ACTUADORES	65
4.3.1. <i>Sistema de Pesaje</i>	66
4.3.2. <i>Sistema de Volumen</i>	66
4.3.3. <i>Sistema de Transporte de Material</i>	67
4.3.4. <i>Sistema de Mezcla</i>	68
4.4. INSTRUMENTACIÓN	69
4.4.1. <i>Sensor Capacitivo</i>	70
4.4.2. <i>Llave Selectora</i>	71
4.4.3. <i>Led Indicador</i>	72
4.4.4. <i>Electroválvula</i>	72
4.4.5. <i>Motores</i>	73
4.4.6. <i>Válvula solenoide ON-OFF</i>	74
4.4.7. <i>Celda de Carga</i>	74
4.4.8. <i>Sensor Ultrasónico</i>	75
4.4.9. <i>Sistema de protección</i>	75
4.5. CABLEADO ELÉCTRICO DEL PROTOTIPO DIDÁCTICO	77
4.6. PROGRAMACIÓN	80
4.6.1. <i>Configuración del control para el sistema</i>	81
4.6.2. <i>Programación ladder</i>	86
4.6.3. <i>Interfaz gráfica HMI (Human Machine Interfaz)</i>	90
5. PRUEBAS	94
5.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	94
5.2. PRUEBAS DEL PROCESO	95
RECOMENDACIONES	100
CONCLUSIONES	101
BIBLIOGRAFÍA	102
ANEXOS	106

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Tipos de Dosificación	23
Tabla 2.	Tipos de Mezcladores	25
Tabla 3.	Tipos de Transporte	27
Tabla 4.	Elementos Neumáticos	28
Tabla 5.	Tipos de Sensores	30
Tabla 6.	Tipos de Sensores de peso	31
Tabla 7.	Niveles del Modelo CIM	34
Tabla 8.	Lenguajes de Programación del PLC	35
Tabla 9.	Especificaciones de los elementos del PAC	36
Tabla 10.	Nomenclatura del sistema neumático	55
Tabla 11.	Instrumentos de Control	64
Tabla 12.	Elementos finales de control	65
Tabla 13.	Inventario de señales del Proceso	70
Tabla 14.	Especificaciones de los motores trifásicos	74
Tabla 15.	Relés que controlan los diferentes elementos de control	77
Tabla 16.	Condiciones Iniciales	81
Tabla 17.	Cronograma de actividades	86
Tabla 18.	Distribución de productos para mezcla	97

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Etapas en el Proceso de diseño	21
Figura 2. Dosificación por Gravedad	22
Figura 3. Dosificador por Cinta Transportadora	22
Figura 4. Dosificador Canal Vibrante	23
Figura 5. Dosificador Tornillo Sin Fin	23
Figura 6. Dosificador por Pistón	23
Figura 7. Dosificador Volumétrico	23
Figura 8. Mezclador de Flujo o Corrientes	24
Figura 9. Mezclador de Paletas o Brazo	24
Figura 10. Mezclador de Hélices o Helicoidales	24
Figura 11. Mezclador de Turbina o Impulsos Centrífgos	25
Figura 12. Mezclador de Tambor	25
Figura 13. Transporte por Cinta Transportadora	26
Figura 14. Transporte por Elevado de Cangilones	26
Figura 15. Transporte por Tornillo Sin Fin	27
Figura 16. Partes esenciales en las Cintas Transportadoras	27
Figura 17. Cilindro Doble Efecto	28
Figura 18. Válvulas de Control Direccional	28
Figura 19. Válvulas Reguladoras de Caudal	28
Figura 20. Algunos Tipos de Sensor	29
Figura 21. Sensores Capacitivos	29
Figura 22. Sensores Fotoeléctricos	29
Figura 23. Sensores Inductivos	29
Figura 24. Sensores Ultrasónicos	30
Figura 25. Sensores de Temperatura	30
Figura 26. Sensores de Contacto	30
Figura 27. Sensores de Peso	30
Figura 28. Sensor Ultrasónico	30
Figura 29. Celdas de Carga de Compresión	30
Figura 30. Celdas de Carga de Tensión y Compresión	31
Figura 31. Celdas de Carga con Viga en Forma de S	31
Figura 32. Celdas de Carga de Flexión de Viga	31
Figura 33. Celdas de Carga de un Solo Punto	31
Figura 34. Modelo Estructural de un Sistema Automatizado	32
Figura 35. Modelo CIM	33
Figura 36. PAC de Allen Bradley	35
Figura 37. Stratix 8000	36
Figura 38. Controlador Controllogix	36
Figura 39. Modulo Point 1734-AENT	36
Figura 40. Fuente de Alimentación 1606 XLS	36
Figura 41. Módulos de Entradas y salidas Controllogix	36
Figura 42. Distribución de los sistemas y componentes	39

Figura 43.	Alternativas de distribución	40
Figura 44.	Distribución para el proceso de corte de las tolvas	41
Figura 45.	Estructura de la tolva de material en polvo	42
Figura 46.	Dimensiones de tolva para material en polvo	43
Figura 47.	Sello metálico tolva para material en polvo	44
Figura 48.	Estructura de la tolva de material granular fino	44
Figura 49.	Dimensiones de la tolva para material granular fino	45
Figura 50.	Sello mecánico tolva para material granular fino	46
Figura 51.	Estructura de la tolva para material granular grueso	46
Figura 52.	Dimensiones de tolva para material granular grueso	47
Figura 53.	Sello mecánico producto granular grueso	48
Figura 54.	Dibujo de tolva para material liquido	48
Figura 55.	Dimensiones de tolva para material liquido	49
Figura 56.	Dimensiones del sistema de pesaje	50
Figura 57.	Dibujo de la banda transportadora	51
Figura 58.	Estructura de la banda transportadora	52
Figura 59.	Motoreductor	52
Figura 60.	Dibujos y dimensiones del sistema del sistema mezclador	53
Figura 61.	Diseño del mezclador	53
Figura 62.	Plano circuito neumático	54
Figura 63.	Diseño Virtual del Prototipo	56
Figura 64.	Estática estructural tolva	57
Figura 65.	Deformación total estructura de tolva	57
Figura 66.	Estática estructural fuerzas aplicadas en la mesa	58
Figura 67.	Estática estructural momento de flexión total mesa	59
Figura 68.	Proceso de fabricación	60
Figura 69.	Unión no permanente de elementos	60
Figura 70.	Prototipo ensamblado	61
Figura 71.	Gabinete Principal	63
Figura 72.	Gabinete Remoto	63
Figura 73.	Gabinete de Paso	63
Figura 74.	Diagrama de bloques del Proceso	64
Figura 75.	Dosificadora y mezcladora	64
Figura 76.	Dispositivos de acondicionamiento	65
Figura 77.	Sistema de Pesaje	66
Figura 78.	Sistema de Volumen	67
Figura 79.	Sistema de transporte	68
Figura 80.	Sistema de Mezcla	68
Figura 81.	Acople de los sistemas a la maquina	69
Figura 82.	Sensor capacitivo	71
Figura 83.	Circuito acondicionamiento de señal	71
Figura 84.	Llave Selectora	72
Figura 85.	Led indicador	72
Figura 86.	Distribución de las electroválvulas	73

Figura 87.	Motores Trifásicos	73
Figura 88.	Válvula Solenoide	74
Figura 89.	Celda de carga con transmisor	75
Figura 90.	Sensor ultrasónico	75
Figura 91.	Relé de la electroválvula 1 2 3 4, Motores y Solenoide	76
Figura 92.	Contactador	77
Figura 93.	Guardamotores	77
Figura 94.	Canaleta del Prototipo	78
Figura 95.	Conexión entre los gabinetes	79
Figura 96.	Plano eléctrico del proceso	79
Figura 97.	Configuración en el RSLinxClassic Gateway	81
Figura 98.	Comunicación entre los módulos y el RSLogix 5000	82
Figura 99.	Configuración módulos análogos en corriente	82
Figura 100.	Diagrama de bloque de la lógica del programa	83
Figura 101.	Segmento 0	86
Figura 102.	Segmento 1	86
Figura 103.	Segmento 2	86
Figura 104.	Segmento 7	87
Figura 105.	Segmento 8	87
Figura 106.	Segmento 9	87
Figura 107.	Segmento 10	87
Figura 108.	Segmento 11	87
Figura 109.	Segmento 12	88
Figura 110.	Segmento 13	88
Figura 111.	Segmento 18	89
Figura 112.	Segmento 23	89
Figura 113.	Segmento 24	89
Figura 114.	Segmento 29	89
Figura 115.	Segmento 30	89
Figura 116.	Pantalla 1	90
Figura 117.	Pantalla 2	91
Figura 118.	Pantalla 3	91
Figura 119.	Pantalla 4	93
Figura 120.	Instalación sensores en el prototipo	93
Figura 121.	Alarma en la pantalla	94
Figura 122.	Tipos de velocidades en la banda transportadora	95
Figura 123.	Resultados de los tiempos de mezcla	96
Figura 124.	Barrera de desplazamiento en los pistones	96
Figura 125.	Distribución para el concreto	97
Figura 126.	Distribución de alimento de engorde para pollo	98
Figura 127.	Mezclas asociadas al prototipo	99

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Stratix 8000	107
Anexo B. Controlligix	108
Anexo C. Módulo Point1734-AENT	108
Anexo D. Fuente de alimentación 1606 XLS	110
Anexo E. Módulos de entradas y salidas Controllogix	111
Anexo F. Sensor Capacitivo	111
Anexo G. Electroválvulas	113
Anexo H. Motores trifásicos	114
Anexo I. Celda de carga	115
Anexo J. Sensor ultrasónico	116
Anexo K. Guardamotor	117
Anexo L. Planos del prototipo didáctico	118
Anexo M. Reporte de resultados del análisis estructural estático.	119
Anexo N. Válvulas Solenoide	120
Anexo O. Protocolo de operación	121
Anexo P. Programación LADDER	122

GLOSARIO

CAD: Diseño asistido por computador (ComputerAidedDesing)

CAE: Ingeniería asistida por computador (ComputerAidedEngeeniering)

PLC: Controlador lógico Programable (PromagableLogicController)

HMI: Interfaz de usuario Hombre Maquina (Human Machine Interfaz)

PAC: Controlador de Automatización Programable (Programable AutomationController)

MODELO CIM: Manufactura Integrada por Computador (ComputerIntegratedManufacturing)

RESUMEN

TITULO: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN PROTOTIPO AUTOMATIZADO PARA DOSIFICACIÓN Y MEZCLADO DE 4 COMPONENTES, TRES DE ELLOS A GRANEL Y UNO LÍQUIDO OBTENIENDO COMO MEZCLA HASTA 15Kg/h PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL, IMPLEMENTADO POR LA TECNOLOGÍA ROCKWELL AUTOMATION.

AUTOR(ES): ROGER LEONARDO ÁLVAREZ GÓMEZ
NATALIA CALDERÓN PICO

FACULTAD(ES): INGENIERÍA ELECTRÓNICA
INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR(A): MIGUEL ÁNGEL REYES OROZCO

El objetivo de este trabajo de grado es el diseño, construcción y pruebas de un prototipo para dosificación y mezclado de 4 componentes, el cual tiene como función manipular las variables de peso para los productos sólidos y de volumen para productos líquidos. El transporte de estos se hace por medio de una banda transportadora con rodillos y tubería, llegando así a una mezcladora tipo tambor. El peso será manipulado por una celda de carga de flexión de viga y el líquido por un sensor cuenta litros. Para controlar las variables de entrada y salida se implementó el sistema de Control con un PACControllogix el cual cumple con las necesidades de la maquina en cuanto entradas y salidas. Para realizar el control del prototipo se desarrolló un programa con respecto al software RSlogix 5000, el cual realiza un control On-Off para controlar los actuadores del sistema como lo son las electroválvulas, solenoide y motores.

El proyecto busca también implementar operaciones automatizadas con tecnología Rockwell Automation, que permitan la realización de prácticas de laboratorio basadas con un enfoque interdisciplinar para estudiantes de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica e Ingeniería Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana

Palabras Claves_ Prototipo Dosificador de tres componentes, automatización por medio de la tecnología Rockwell Automation.

VºBº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

ABSTRACT

TITLE: DESIGN, CONSTRUCTION AND TESTING OF A PROTOTYPE FOR AUTOMATED DOSING AND MIXING OF 4 PARTS, THREE OF THEM BY BULK AND ONE LIQUID OBTAINED AS A MIXTURE UP TO 15KG / H TO THE AUTOMATION INDUSTRIAL LABORATORY IMPLEMENTED BY AUTOMATION ROCKWELL TECHNOLOGY

AUTHOR (S): ROGER LEONARDO ALVAREZ GOMEZ
NATALIA CALDERON PICO

SCHOOL (S): ELECTRONIC ENGINEERING
MECHANICAL ENGINEERING

DIRECTOR: MIGUEL ANGEL REYES OROZCO

The objective of this degree is the design, construction and testing of a prototype for metering and mixing of 4 components, which has the function to manipulate the variables of weight for solids and liquid volume. The transport of these ago by a conveyor belt with rollers and tubing, thus leading to a drum-type mixer. The weight will be handled by a load cell beam deflection and the fluid has a sensor account liters. To control the input and output variables was implemented with a control system PACControllogix which meets the needs of the machine in terms of inputs and outputs. To control the prototype a program was developed with respect to the RSLogix 5000 software, which performs an on-off control for controlling the system actuators such as valves, solenoids, and motors. The project also seeks to implement automated operations with Rockwell Automation technology, which allow the realization of laboratory practices based in an interdisciplinary approach for students of Mechanical Engineering, Electronic Engineering and Industrial Engineering from the PontificiaBolivariana University.

Keywords_ Dispenser prototype of three components, automation through Rockwell Automation.

VaB^a THESIS DIRECTOR

INTRODUCCIÓN

A través de la historia los procesos de las empresas han evolucionado en la forma de obtención de productos, la automatización es una de las herramientas que permite el aumento de la producción con calidad en menos tiempo y dinero; beneficiando el rendimiento de estas.

En los procesos industriales como la dosificación y el mezclado es necesaria la industrialización, a través de la automatización. Por tanto, es conveniente la unificación de dos profesiones como lo son la Ingeniería Electrónica y la Ingeniería Mecánica; con el fin de cada área exponga su énfasis y le permita un mejor diseño y programación al producto.

En el Proyecto se muestra el proceso de diseño, construcción y automatización de un prototipo de dosificador y mezclador de 4 componentes, el cual se encuentra manipulado por medio de la tecnología Rockwell Automation para el laboratorio de automatización de procesos de la Universidad Pontificia Bolivariana, los materiales a granel son controlados por la variable peso por medio de una celda de carga tipo flexión viga y el líquido es controlado por un sensor ultrasónico manejando la variable de volumen.

Este proyecto busca acercar al estudiante a una tecnología ofrecida por la industria para que tenga la oportunidad de manejar y conocer la arquitectura de la automatización, mediante la realización de prácticas de laboratorio basadas en el trabajo interdisciplinar entre las facultades de Ingeniería Electrónica, Ingeniería Mecánica e Ingeniería Industrial.

1. JUSTIFICACIÓN

La realización de este proyecto dará una aproximación al estudiante por medio de un prototipo dosificador y mezclador que simula la producción de concreto y alimento de engorde para pollo o cualquier otro producto que requiera ser mezclado, dándole una visión del proceso que se lleva a cabo en una planta real, obteniendo como aprendizaje lo brindado en la industria de la automatización.

El prototipo de una dosificadora y mezcladora ayudara a la implementación que se está realizando en el laboratorio de automatización de procesos, apoyando la interdisciplinaridad entre facultades de Ingeniería Industrial, Ingeniería Mecánica e Ingeniería Electrónica.

El proceso es didáctico para el alumno permitiendo la observación de este comparado con la realidad, adoptando técnicas de automatización que permiten evaluar las condiciones del producto final. Este prototipo se realizó con referencia a las probetas para pruebas de resistencia de concretos realizado por estudiantes de Ingeniería Civil en la Universidad Pontificia Bolivariana y a la mezcla de alimento de engorde para pollo realizado en la industria, pero es importante resaltar que esta máquina está disponible para hacer pruebas de otra naturaleza.

2. MARCO TEÓRICO

A medida que avanza la tecnología el desarrollo de las maquinas se hace más complejo y especializado. En los procesos industriales existen diferentes tipos de tareas, dependiendo de las necesidades que el hombre deba atender.

Para el caso de este proyecto, las tareas que se requieren discutir son la dosificación, transporte y mezcla de materiales, ya que el objetivo de este trabajo es lograr una mezcla apropiada de algunos componentes tanto a granel como líquido de acuerdo a proporciones previamente establecidas.

Este proyecto se basa en el diseño mecánico, instrumentación y automatización de procesos, relacionados con la dosificación, mezcla y transporte de materiales para la preparación de un producto, manipulando variables tales como peso de los componentes sólidos, volumen para los líquidos y el tiempo de la preparación de la mezcla. Se requiere para esto el uso de diversos componentes mecánicos, y electrónicos, controlados por medio de algún software de programación.

A continuación se relacionaran los conceptos de ingeniería necesarios para un adecuado desarrollo de este proyecto.

2.1.METODOLOGÍA DEL DISEÑO

Diseño en ingeniería es el proceso de concepción de un sistema para satisfacer unas necesidades. Es este un proceso de toma de decisiones, a menudo iterativo, en el cual las ciencias básicas, las matemáticas y los conocimientos en ingeniería son aplicados para transformar óptimamente los recursos y satisfacer los objetivos. [1]

El producto del proceso de diseño en ingeniería es una unión sinérgica de diferentes elementos, donde el desempeño de la integración de las partes supera el de cada una de las partes individuales. Los elementos fundamentales del proceso de diseño en ingeniería son:

- El establecimiento de objetivos y especificaciones
- Síntesis
- Análisis
- Construcción
- Pruebas y resultados

Además se deben tener en cuenta las diferentes restricciones reales como son los factores económicos, seguridad, estéticos, éticos, impacto social e impacto ambiental.

En la (Figura 1) se relaciona una metodología de diseño, en la cual intervienen los conceptos mencionados, y sirve para la elaboración del presente proyecto. Se resalta que el proceso de diseño comienza con la identificación de necesidades y finaliza con la aceptación de las pruebas del prototipo. [1]

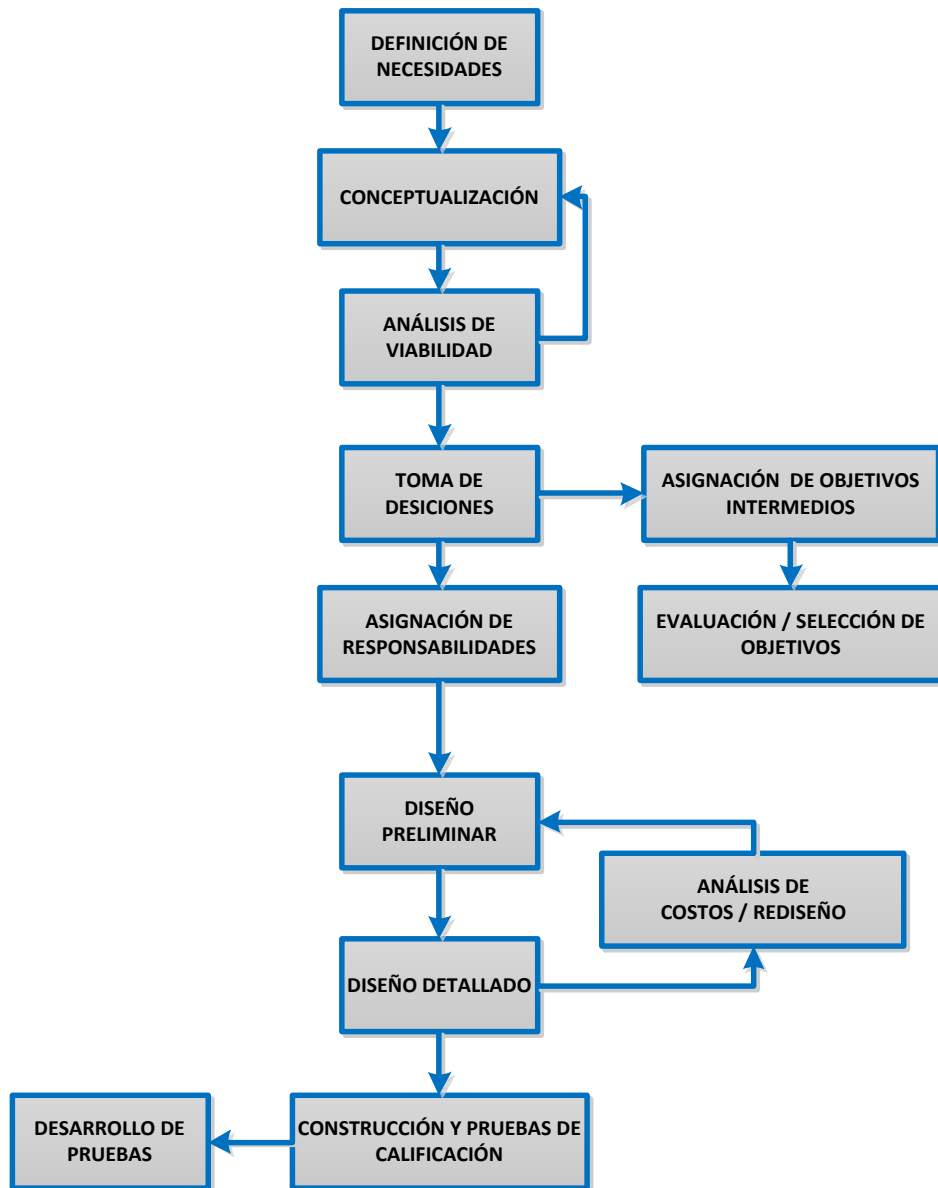


Figura 1. Etapas en el proceso de diseño []

Es importante tener presente que un cambio o adaptación en los objetivos de un diseño es relativamente sencillo en esta etapa, pero en etapas posteriores el cambio es más complejo y el costo total del proyecto se puede incrementar.


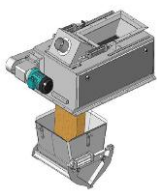
2.1.1. SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN Y MEZCLA

Para dosificar una mezcla es necesario conocer la proporción de los materiales que se desea mezclar. Para efecto de pruebas y observación de resultados, en este proyecto se trabajó con 4 tipos de materiales, 3 de ellos a granel y uno líquido. Simulando un proceso de mezclado de concreto, con el fin de visualizar las etapas propuestas para el mismo. Se debe entender que este prototipo puede ser utilizado en otros procesos de mezclado con hasta 4 productos, por ejemplo preparación de alimentos concentrados o de engorde para aves, proceso de mezcla para la preparación de alimentos tipo galleta o postres, dejando claro que se deben realizar pequeñas adaptaciones en la forma de los equipos.

2.1.1.1. Sistemas de Dosificación

Los equipos de la actualidad, no manuales, utilizan distintos tipos de dosificadores dependiendo del producto que se trabaje. La función del dosificador es fraccionar de forma precisa y autónoma el producto en las cantidades requeridas en la mezcla.

En la tabla 1 se describen los dosificadores de uso común. Estos dosificadores se pueden utilizar en forma independiente o conjunta dependiendo de los requerimientos de trabajo.

TIPOS	CARACTERÍSTICAS	APLICACIONES	IMAGEN
Dosificación por Gravedad	Consiste en un tanque donde se ubicara el líquido que normalmente es alimentado por un tanque principal, mediante un flotador que tiene en el interior se habilita o deshabilita la alimentación del mismo. En la parte inferior posee una llave de paso que es controlada por la envasadora, el cual permite el paso del líquido en el momento preciso. (ver figura 2)	Productos líquidos, agua, jugos, salmuera, vinos etc.	 Figura 2 [2]
Por Cinta Transportadora	Es accionada por un motor de velocidad variable y compuertas de regulación de caudal. (ver figura 3)	Áridos menores a 4mm, áridos ligeros	 Figura 3 [2]





Canal Vibrante	Está compuesto por una tolva vibratoria de acero y canales vibratorios grandes y pequeños que van dosificando el producto, continuamente una balanza, sincronizada automáticamente con cada ciclo de la máquina. (ver figura 4)	Partículas no homogéneas, caramelos rocas, productos deshidratados	 Figura 4 [2]
Tornillo Sinfín	Dentro de la tolva se encuentra un tornillo sinfín que es controlado por la envasadora dependiendo del tipo de producto a dosificar y el gramaje del envase se ajusta a la cantidad de vueltas que el tornillo girara. (ver figura 5)	Productos en polvo, colorantes, pimienta, sal.	 Figura 5 [2]
Por Pistón	Este consiste en uno o más recipientes herméticos donde se ubica el líquido y mediante uno o más pistones del producto es desalojado del recipiente y llevado hacia un pico que se ubica en el interior de una bolsa. (Ver figura 6)	Productos líquidos y semilíquidos shampo, yogurt, grasa, agua, jugos, vinos etc.	 Figura 6 [2]
Volumétrico	El material se retiene en una tolva que alimenta un volumen constante en un tiempo preestablecido mediante la regularización de la velocidad del dosificador. El volumen del material se determina mediante la calibración. El proceso de la dosificación depende de la uniformidad del flujo y densidad del material. (ver figura 7)	Productos sólidos homogéneos, azúcar, garbanzo, productos de maíz	 Figura 7 [2]




Tabla 1. Tipo de dosificación
Fuente autores

Para la elección del sistema de dosificación que se utiliza en este proyecto, se realizan análisis según los materiales a dosificar, se trabaja con materiales líquidos, granulares y polvorientos, por esta razón se eligen sistemas de dosificación por gravedad volumétrica para líquidos y dosificación por gravedad en peso para sólidos.

2.1.1.2. Sistemas de Mezcla

El mezclado es el proceso según el cual varios ingredientes se ponen en contacto, de tal forma que al final de la operación se obtenga un sistema homogéneo, bajo este nombre se agrupan todas las actividades tendientes a producir un producto de buena calidad.

Para diseñar o proyectar bien un mezclador hay que tener en cuenta no solo el elemento mezclador si no también la forma del recipiente. Un elemento muy bueno puede resultar inútil en un recipiente inadecuado. Además no debe perderse de vista el resultado exacto que se quiere alcanzar. En la actualidad existen varios tipos de mezcladores los cuales están clasificados según la tabla 2:

TIPOS	CARACTERÍSTICAS	CLASES	IMAGEN
De flujos o corrientes	Se introducen los materiales por medio de una bomba y la mezcla se produce por interferencia de sus flujos corrientes. Solo se emplean en los sistemas continuos o circulantes para la mezcla completa de fluidos miscibles. (Ver en la figura 8)	<ul style="list-style-type: none"> • Mezcla de Chorros • Inyectores • Mezcladores de columnas con orificios de turbulencia. • Sistemas de circulación Mixta • Bombas centrífugas • Torres rellenas y de rociado 	 <p>Figura 8 [3]</p>
De Paletas o Brazos	Consiste de una o varias paletas horizontales, verticales o inclinadas unidas a un eje horizontal, vertical o inclinado que gira axialmente dentro del recipiente. De esta manera el material mezclado es empujado o arrastrado alrededor del recipiente siguiendo una trayectoria circular. (ver figura 9)	<p>Mezcladores de brazos rectos o de paletas en forma de remos.</p> <p>Mezclador de rastrillo.</p> <p>Paletas con lengüetas o dedos fijos intercalados.</p> <p>Cubetas giratorias con paletas excéntricas.</p> <p>Paletas de doble movimiento.</p> <p>Batidor o emulsificador.</p> <p>Agitador elevador por aire.</p> <p>Amasador</p>	 <p>Figura 9 [4]</p>
De Hélices o Helicoidales	Proporcionan un medio poco costoso, sencillo y compacto para mezclar materiales en un gran número de casos. Su acción mezcladora se deriva de que sus aletas helicoidales al girar empujan constantemente hacia delante. Realiza la mezcla de varios productos en polvo entre sí o granulares. Por su construcción y su sistema de funcionamiento estas máquinas tienen varias	<p>Hélices como dispositivos para mezclar gases.</p> <p>Hélice con ejes verticales.</p> <p>Hélice descentrada y con su eje inclinado penetrando por arriba.</p> <p>Hélice al costado del recipiente.</p> <p>Hélice en un tubo de aspiración</p>	 <p>Figura 10 [3]</p>

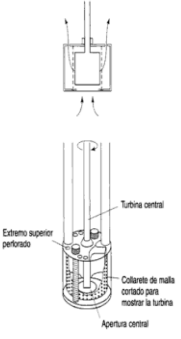

	ventajas sobre otros tipos de mezcladoras. (ver figura 10)		
De Turbinas o impulsos centrífugos	<p>Contiene una o varias bombas centrífugas trabajando en un recipiente casi sin contrapresión, el material en el impulsor axialmente por su abertura central.</p> <p>La turbina puede llevar una corona directriz con paletas curvas fijas (difusores) que desvían esas corrientes tangenciales hasta hacerlas radiales. (ver figura 11)</p>	<p>Soplante de turbina o ventilador centrifugo.</p> <p>Mezclador sencillo de turbina.</p> <p>Mezclador de turbina con paletas directrices fijas.</p> <p>Turbodispersador</p> <p>Absolvedor turbogas</p>	 <p>Figura 11 [5]</p>
De Tambor	<p>Los mezcladores rotatorios utilizan la cinemática de inversión para mezclar sólidos y líquidos. Esto permite una mezcla intensa, rápida y muy suave, sin segregación. (ver figura 12)</p>	<p>Autocargantes</p> <p>Portátiles</p> <p>Mixer</p>	 <p>Figura 12 [6]</p>

Tabla 2. Tipos de mezcladores
Fuente autores

En la actualidad el empresario busca un tipo de mezcla que responda a cierto número de exigencias técnicas, estando el costo dentro de los límites aceptables.

- La mayor capacidad de producción posible, teniendo en cuenta los imperativos de los otros componentes de la central. Esto supone que los aparatos tengan tiempo de mezcla cortos.
- La posibilidad de mezclar todos los tipos de materiales, sean ligeros, normales o pesados, secos o plásticos, cavernosos o compactos.
- La obtención de una mezcla de buena calidad y, sobre todo, de una regularidad. A estos criterios pueden ajustarse exigencias complementarias específicas.

En el plano económico, será preciso tener en cuenta, además del precio de compra:

- Los gastos de funcionamiento:
- Consumo de energía,
- Número de horas necesarias para el trabajo diario.

Debido a estas razones y por factores de uso del prototipo se adopta la idea de diseñar y construir una mezcladora de tambor, ya que los materiales a dosificar y

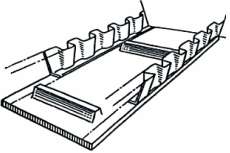
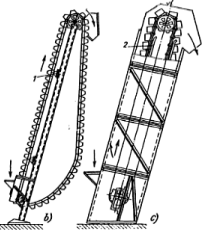
mezclar corresponden a las especificaciones de este tipo de mezcla, en el siguiente capítulo se profundizara en el proceso de diseño.

2.1.2.MANEJO Y TRANSPORTE DEL PRODUCTO

Estos dos conceptos se encuentran relacionados entre sí, ya que ambos tienen como objetivo el lograr un movimiento eficaz y eficiente de productos dentro del sistema de distribución física. El manejo de materiales es una actividad compartida simultáneamente con tres de las operaciones que integran la distribución física: almacenamiento, transporte y mezclado.

La naturaleza de los productos determina como tienen que ser manejados. En este sentido, las empresas cuentan con herramientas que permiten su mejor manipulación como cintas transportadoras, elevadores por cangilones y grúas etc. El transportador es un elemento o maquinaria de carácter preferentemente electromecánico, destinado a trasladar productos o materias primas entre dos o más puntos, alejados entre sí, ubicados generalmente, dentro de una misma planta elaboradora. [7]

El uso de los transportadores se da mayormente en la minería, construcción, industria alimenticia, industria motriz entre otros. Existen varios tipos de transportadores y una variación de los mismos, los principales se nombran en la tabla 3:

TIPOS DE TRANSPORTE	CARACTERÍSTICAS	APLICACIONES	IMAGEN
Cintas transportadoras	Las cintas transportadoras son máquinas complejas cuyo objetivo es el movimiento entre dos puntos de una carga determinada. Este transporte se puede realizar básicamente de dos formas, bien utilizando la gravedad o bien mediante el uso de medios motorizados. (ver figura 13)	Minería, construcción, industria alimenticia, industria motriz	 <p>Figura 13 [8]</p>
Elevador de Cangilones	Los dispositivos transportadores que desplazan material en dirección vertical o próxima a la vertical, se llaman elevadores. En los elevadores inclinados el ramal de trabajo se mueve por los rodillos de apoyo 1 o por las guías especiales. (ver figura 14)	Materiales polvorientos, materiales con dificultad de fluidez	 <p>Figura 14 [8]</p> <p><small>cangilones: a, vertical; b y c, inclinados.</small></p>

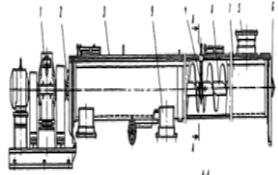
Tornillos Sinfín	Se llaman transportadores de tornillo sin fin a los aparatos que efectúan el desplazamiento del material por un canal, valiéndose de un tornillo giratorio. Este transportador consta del canal inmóvil, cuya parte inferior tiene la forma de un semicilindro, cerrado por arriba con tapa. (ver figura 15)	Materiales a alta temperatura y polvorientos.	 <p>Figura 15 [8]</p>
------------------	--	---	--

Tabla 3. Tipos de transporte
Fuente autores

En el prototipo de dosificación y mezcla se toma la decisión de transportar los materiales a la mezcladora por medio de una cinta o banda transportadora ya que cumple con las especificaciones de diseño y sus aplicaciones en los materiales que vamos a dosificar y mezclar.

Las cintas transportadoras están formadas básicamente por tres partes esenciales:

- Estructura de soporte.
- Elemento móvil.
- Motorización (si la hay).

En la figura 16 se muestra las partes esenciales en las cintas transportadoras:

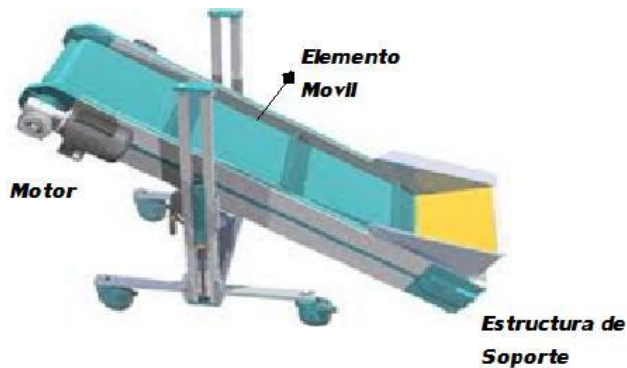


Figura 16. Partes esenciales en las cintas trasportadoras [9]

2.1.3. TECNOLOGÍA NEUMÁTICA

La automatización de procesos productivos, es hoy en día, una necesidad en las industrias modernas que pretenden ser competitivas. La neumática ayuda a las empresas a aumentar su flexibilidad y el ritmo de producción gracias a las características del aire comprimido como medio transmisor y la adaptabilidad que permiten sus componentes. [10]

Los actuadores neumáticos se utilizan eficientemente en aplicaciones industriales donde es preciso el control continuo de una magnitud (posicionado de cargas u obturadores de válvulas, control de movimiento o trayectoria, etc.) así como en procesos discontinuos de manipulado y automatización (cadenas de montaje, embaladoras, máquinas de packing, etc.). [10]

En la tabla 4 se enuncian algunos de los elementos neumáticos que pueden ser utilizados en el proyecto.


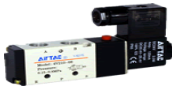

TIPOS	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
Cilindro de Doble Efecto	Tienen dos entradas de aire a cada lado del embolo, debido a esto se produce un avance y un retroceso. (ver figura 17)	 <p>Figura 17 [11]</p>
Válvulas de Control Direccional	Se usan principalmente para dirigir el aire comprimido en la dirección deseada.(ver figura 18)	 <p>Figura 18 [11]</p>
Válvulas Reguladoras de Caudal	Regulan en el paso de aire comprimido en uno o dos sentidos (ver figura 19)	 <p>Figura 19 [11]</p>

Tabla 4. Elementos Neumáticos
Fuente autores

En el capítulo 3 se detallara el circuito utilizado en el proyecto y sus respectivas conexiones neumáticas.

2.2 INSTRUMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO

Continuando con la metodología de diseño expuesta anteriormente, se hace necesario la instrumentación y automatización de un prototipo que permita manipular la dosificación de materiales a granel por su peso y líquido por volumen según los requerimientos establecidos por el operador. El prototipo ha de manejar la dosificación de la mezcla teniendo componentes de diferente granulometría. A continuación se mencionan brevemente algunos conceptos sobre la instrumentación y automatización que se utiliza.

2.2.1 SENSORICA Y MANEJO DE SEÑAL

En un sistema de medida, el sensor es el elemento dispuesto con el fin de obtener información, en forma de señal eléctrica, sobre la propiedad medida. Transforma esta magnitud física en un cambio eléctrico que pueda utilizar esta señal para el




control de la tarea. En la figura 20 se muestran algunos sensores que existen en la industria.



Figura 20. Algunos tipos de Sensor [13]


Dependiendo de la variable física a utilizar y el cambio eléctrico se consiguen varios tipos de sensores en la industria, En la tabla 5, se mencionan algunos de los sensores más representativos de cada tipo.

En la tabla 6 se muestran los diferentes tipos de sensores de peso ya que en el proyecto se plantea varias ideas de sensores, pero que por presupuesto no se pueden implementar.

TIPOS	DESCRIPCIÓN	CLASES Y USOS	IMAGEN
Sensores Capacitivos	Este sensor consta de dos placas metálicas que reaccionan como un dieléctrico, variando la capacidad del condensador formado entre ellas, la cual representa la amplitud de oscilación variante según la distancia a la cual esté el objeto. (ver figura 21)	Existen sensores capacitivos normalmente abiertos (NA) y normalmente cerrados (NC), esto da lugar al tipo NPN y PNP respectivamente, la diferencia que existe es la forma como entrega la señal. Esto hace que se acondicione el sistema a la lógica que deberá usar la señal del sensor.	 <p>Figura 21 [14]</p>
Sensores Fotoeléctricos	Son dispositivos que responden al cambio de la luz detectada de algún componente emisor que genere luz, los cuales producen una señal de salida representativa a la cantidad de luz percibida. (ver figura 22)	Existen fotoresistencias, fotodiodos, fototransistores, fototriacs y célula fotoeléctrica entre otros. Suelen ser utilizados para la detección de posición y clasificado de diferentes tipos de objetos.	 <p>Figura 22 [15]</p>
Sensores Inductivos	Suelen tener un bobinado donde pasa corriente, que al acercarse a un cuerpo metálico varía el campo magnético que crea, detectando variaciones de flujo magnético. (ver figura 23)	Existen sensores inductivos normalmente abiertos (NA) y normalmente cerrados (NC), tiene aplicaciones de posicionamiento como para detectar la presencia o ausencia de objetos.	 <p>Figura 23 [16]</p>

Sensores Ultrasónicos	Funcionan emitiendo un pulso ultrasónico contra el objeto a sensar, y al detectar el pulso reflejado, se para un contador de tiempo que inicio su conteo al emitir el pulso. (ver figura 24)	Suelen ser utilizados para detección de obstáculos, detección de superficies irregulares, líquidos, objetos traslúcidos y objetos en ambientes sucios.[19]	 Figura 24 [17]
Sensores de temperatura	Constan de una resistencia que varía su valor dependiendo de la temperatura. Existen unos sensores de temperatura que son un par de metales distintos que producen un voltaje estos son llamados termopares. (ver figura 25)	Hay diferentes tipos de resistencias cuando aumenta el calor, aumenta la resistencia (PTC), cuando aumenta el calor, disminuye su valor (NTC).[5]	 Figura 25 [18]
Sensores de Contacto	Son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido de un elemento móvil, con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito. (ver figura 26)	Pueden ser normalmente abierto (NA), normalmente cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados. Se utilizan en todas las máquinas que tengan un movimiento rectilíneo de ida y vuelta o sigan una trayectoria fija.[6]	 Figura 26 [19]
Sensores de peso o deformación	Son aquellos dispositivos electrónicos que detectan los cambios eléctricos provocados por una variante en la intensidad de un peso aplicado sobre la báscula o balanza, información que a su vez transmite hacia un indicador de peso o controlador de peso.	Existen una variedad de celdas de carga, las cuáles varían en forma, tamaño, material, entre otros. Para el pesaje de material se utiliza celda de un solo punto o doble punto en diferentes diseños según el fabricante.	 Figura 27 [20]
Sensor de posición	Miden o detectan la posición de un determinado objeto en el espacio por medio de una operación mecánica de un actuador (ver figura 28)	Son utilizados en robótica, en la detección de un objeto o en la parada de un proceso para permitir el paso a otro nivel involucrado en la automatización de una planta industrial.	 Figura 28 [21]

Tabla 5. Tipos de sensores
Fuente autores

TIPOS	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
Celdas de carga de compresión	Son celdas que miden según su compresión con una estabilidad a largo plazo.	 Figura 29 [22]



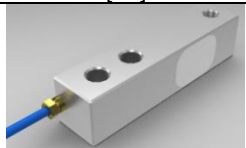

Celdas de carga de tensión y compresión	Estas celdas permiten medir tanto la tensión como la compresión de las cargas.	 <p>Figura 30. [23]</p>
Celdas de carga con viga en forma de S	Estas celdas pueden proporcionar una salida de acuerdo con la tensión o la compresión y ofrecen rechazo de carga lateral superior.	 <p>Figura 31 [24]</p>
Celda de carga de flexión de viga	Estas celdas proporcionan una salida de tensión según la compresión aplicada a una de sus puntas.	 <p>Figura 32 [25]</p>
Celda de carga de un solo punto	Proporcionan lecturas precisas, independientemente de la posición de la carga en la plataforma. Esta característica la hace un poco más costosa que las anteriores.	 <p>Figura 33 [26]</p>

Tabla 6. Tipos de sensores de peso
Fuente autores

El sensor de peso que se utiliza en el proceso fue la celda de carga de flexión, para dosificar los componentes a granel. El sensor del volumen es un sensor ultrasónico que permite tener el flujo solicitado por el operador conociendo el volumen de la tolva del líquido, por medio de la ecuación respectiva en el programa a utilizar. Para facilitar el manejo al operador se utilizan sensores capacitores para el nivel mínimo de cada una de las tolvas, mostrando así su respectiva alarma.

2.2.2 PROCESO DE LA AUTOMATIZACIÓN

El proceso de la automatización constituye uno de los factores de aumento de la productividad y mejora de calidad, permitiendo así ahorrar tiempo y costos en la fabricación de un producto.

Los principales componentes de la automatización son los transductores y los captadores de información, los preaccionadores (relés, contactores etc.) y accionadores (motores, bandas transportadoras etc.), así como el tratamiento de la información. [27]

2.2.2.1 Modelo Estructural de un Sistema Automatizado

La importancia de un sistema automatizado y su estructura en el proyecto se fundamentan en el cumplimiento de unas funciones y la obtención de una productividad apropiada. Por lo tanto se hace necesario estudiar la calidad del producto según los requerimientos del operador, para así entender la relación entre la parte de mando y la parte operativa.

El modelo estructural de un sistema automatizado permite construir modelos de sistemas a partir de análisis de procesos y actividades que se ejecutan asociados al proceso. Este análisis depende de lo buscado por el operador o por el proceso a seguir o simular, para así obtener la comprensión completa y exacta del procedimiento.

La estructura de un sistema automatizado puede clasificarse en dos partes: Parte Operativa, está diseñada para la realización de determinadas funciones de fabricación; Parte de Control o Mando, es el dispositivo encargado de realizar la coordinación de las distintas operaciones encaminadas a mantener a la Parte Operativa bajo control. [27]

En la Parte Operativa se logra un intercambio de información con la Parte de Control o mando. Dicho intercambio se establece a través de los captadores, transductores y los dispositivos de preaccionamiento. A partir de los dos primeros se recoge información de los valores de las magnitudes físicas a controlar, así como sus cambios de estado, enviando dicha información a la Parte de Control para su tratamiento. Después del tratamiento de la información se envían acciones de mando a través de los actuadores. En la figura 34 se muestran el modelo estructural de un sistema automatizado para mayor entendimiento.

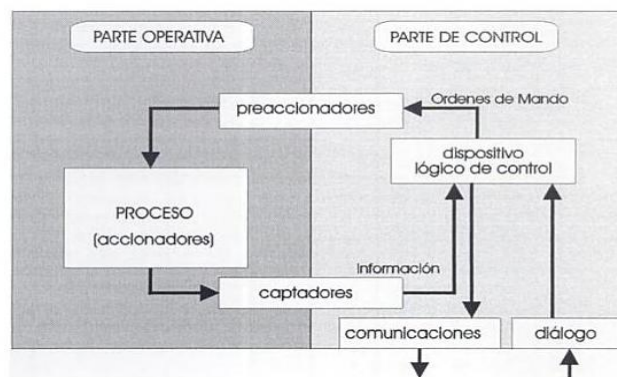


Figura 34: Modelo estructural de un sistema automatizado. [27]

La automatización de un proceso industrial, implica la incorporación de un conjunto de elementos y dispositivos electrónicos que aseguren el control, esto es

necesario en el proyecto para poder manejar la calidad del producto y poder tener así varios tipos de mezclas, pero esto se deja mejor explícito en el capítulo 4.

2.2.2.2 Modelo CIM (Manufactura Integrada por Computador)

Dentro del proyecto que se desarrolla se tomó los dos primeros niveles del modelo CIM, quedando así abierto para seguir los siguientes pasos de esta pirámide.

El concepto de manufacturación integrada por computador incluye en forma integrada la producción, la gestión empresarial, la planificación, la programación de la producción, etc. Se trata de una estrategia progresiva de automatización, que avanza según una serie de etapas o niveles, los cuales se observan en la figura 35.



Figura 35. Modelo CIM (Manufactura Integrada por Computador) [27]

Para entender un poco más cada nivel y los dispositivos involucrados en ellos de esta pirámide se explica brevemente en la tabla 7.

NIVEL	DESCRIPCIÓN	DISPOSITIVOS
Nivel 0	En él se encuentran un conjunto de dispositivos, procesos y equipos con los que se realizan las operaciones como la de producción y control en la planta de fabricación	se incluyen los dispositivos de campo como son los sensores, los accionadores, las pantallas, los paneles de operador, las alarmas, etc.
Nivel 1	Constituyen los elementos de mando y control de la maquinaria del nivel 0, del cual recibe información directa del proceso a través de las interfaces de entrada y salida de que disponen los equipos de control.	Se encuentran el conjunto de dispositivos lógicos de control, como son los autómatas programables, las tarjetas de control, los ordenadores industriales y cualquier equipo programable orientado al control y a la automatización de procesos.
Nivel 2	Se le asigna las tareas de supervisión y control, como son la adquisición y el tratamiento de datos generales de producción, la monitorización del proceso mediante programas SCADA.	Tiene la obligación de gestionar las alarmas y asistencias del mantenimiento correctivo y preventivo, la programación a corto plazo, el control de calidad, la sincronización de las diferentes células de trabajo en que está dividida la planta y todo el proceso de

		producción,
Nivel 3	Tiene como misión la programación de la producción, la gestión de compras, el análisis de los costos de fabricación, la gestión de calidad y la gestión del mantenimiento	El nivel 3 emite los programas hacia el nivel 2 y recibe de este las incidencias de la planta.
Nivel 4	Es el nivel corporativo, emite al nivel 3 información sobre la situación comercial, información de ingeniería de producto y de proceso, etc	Realizan las tareas de gestión comercial, marketing, planificación estratégica, planificación financiera y administrativa, gestión de recursos humanos. Ingeniería de producto, ingeniería de proceso, gestión de tecnología, gestión de sistemas de información (MIS), investigación y desarrollo.

Tabla 7. Niveles del modelo CIM [27]

Dentro de la necesidad de funcionamiento de este proyecto hay un aspecto importante que es el manejo de la información, el cual se desarrolla bajo el modelo CIM implementando para este caso solo los tres primeros niveles, los detalles de la utilización de cada nivel en el proceso se dejan explícitos en el capítulo 3. Es importante resaltar que los dos niveles superiores de la pirámide, no contemplados en este proyecto, pueden ser desarrollados en proyectos posteriores.

2.2.2.3 Controladores de Automatización Programables

Para que un proceso cumpla con las especificaciones y requerimientos de una operación se hace necesario que las variables se manejen y se lleven en forma controlada. Existen diferentes métodos para controlar según el grado de complejidad. Para este caso se utiliza un proceso de complejidad media teniendo un PAC de Allen Bradley.

Un PAC (Controladores de Automatización Programable) es una tecnología orientada al control automatizado, esta forma un conjunto entre un controlador normalmente un PLC, módulos de entradas, salidas y bases de datos que interconectan todo. Este controlador combina efectivamente la robustez y la confiabilidad del PLC adicionando la flexibilidad y capacidad del software de un PC. Un PAC se hace necesario para complementar un proceso ya que solo el PLC no posee la característica de un servidor web interactivo para control y monitoreo fácil ni posee puertos seriales para la comunicación con dispositivos externos.



Figura 36. PAC de Allen Bradley [28]

El PLC (controlador lógico Programable) es la parte más importante de un PAC ya que este es el que recibe el programa para el control de un proceso secuencial en un menor tiempo. Las funciones de un PLC son el mando y operaciones de detección enviando datos a los preaccionadores y accionadores cumpliendo los requerimientos del programa y permitiendo modificar, crear e introducir aplicaciones en el mismo mando.

El PLC tiene diferentes lenguajes de programación según el fabricante, la mayoría de estos siguen normar internacionales para suplir las necesidades y expectativas de los programadores. En la siguiente tabla 7 se presenta los diferentes lenguajes de uso común.

TIPO DE LENGUAJE	CARACTERÍSTICAS	APLICACIÓN
Listas	Se caracteriza por tener una lista de instrucciones.	ILL AWL STL IL/ST
Plano	Se caracteriza por tener un diagrama eléctrico.	LADDER LD KOP
Diagrama de bloques funcionales	Se caracteriza por ser un diagrama lógico.	FBD FBS FUD
Organigrama de bloques secuenciales	Se caracteriza por ser un diagrama algorítmico.	AS SFC PETRI GRAFSET
Otros	Son lenguajes utilizados en otros lenguajes compatibles con el PLC.	BASIC C

Tabla 8. Lenguajes de programación del PLC [29]

El tipo de lenguaje que se utiliza en el proyecto es el LADDER ya que por su fácil interpretación y sus diferentes tipos de operadores, se hace más ameno trabajar por las diferentes entradas y salidas dando paso siempre al peldaño siguiente requerido por el prototipo, obteniendo así un programa secuencial y repetitivo. La información de cada uno de elementos del PAC, se referencian en sus hojas de datos en la tabla 9.


ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Stratix 8000	Funciona como un conmutador industrial diseñado para ayudar a facilitar la convergencia de redes. Para más especificación referirse al anexo A. (ver figura 37)	 <p data-bbox="1243 447 1349 495">Figura 37 [30]</p>
Controllogix	Puede monitorear y controlar las entradas y salidas de los diferentes módulos asociados a él. Para más especificaciones referirse al anexo B. (ver figura 38)	 <p data-bbox="1243 678 1349 726">Figura 38 [31]</p>
Modulo Point 1734-AENT	Permite un vínculo de transferencia de datos en tiempo real entre un controlador y cualquier modulo que se encuentre en la ranura a la cual este direccionado. Para más especificaciones referirse al anexo C. (ver figura 39)	 <p data-bbox="1243 926 1349 974">Figura 39 [32]</p>
Fuente de alimentación 1606 XLS	Esta fuente es de 24VDC, se utilizó para acondicionar el modulo Point 1734- AENT y alimentar el chasis, en este se encuentran los módulos de entradas y salidas del gabinete. Para más especificaciones referirse al anexo D. (ver figura 40)	 <p data-bbox="1243 1203 1349 1251">Figura 40 [12]</p>
Módulos de entradas y salidas controllogix	Estos módulos son capaces de tomar valores de 0 o 1, las cuales se les denomina digitales, también existen las que son capaces de tomar un valor cualquiera entre determinado valor mínimo o máximo que son las denominadas. Para más especificaciones referirse al anexo E. (ver figura 41)	 <p data-bbox="1243 1444 1349 1493">Figura 41. [12]</p>

Tabla 9. Especificaciones elementos del PAC
Fuente autores

Para garantizar un adecuado diseño y un cableado minucioso, se recurre alPAC de Allen Bradley, el cual ofrece facilidades en la instrumentación del prototipo. Este proceso se describe en el capítulo 4.

3 METODOLOGÍA DEL DISEÑO

En el capítulo 2 la figura 1 muestra el proceso de diseño a seguir en este proyecto, se divide en ocho pasos:

- Definición de Necesidades
- Conceptualización.
- Análisis de viabilidad.
- Toma de Decisiones.
- Asignación de Responsabilidades.
- Diseño Preliminar.
- Diseño Detallado.
- Construcción y Pruebas.

Además se deben tener en cuenta las diferentes restricciones reales como son los factores económicos, seguridad, estéticos, éticos, impacto social e impacto ambiental. Se observa que el proceso de diseño comienza con la identificación de necesidades y finaliza con la aceptación del prototipo.

3.1. DEFINICIÓN DE NECESIDADES

Para las Facultades de Ingeniería Industrial, Ingeniería Mecánica, e Ingeniería Electrónica, existe la necesidad de un prototipo de pruebas de dosificación y mezcla de materiales a granel y líquidos, para el laboratorio de Procesos de Automatización, en el cual los estudiantes de estas facultades interactúen con el prototipo acercándose a un proceso real. Conociendo esta necesidad se sigue con la formulación de soluciones adecuadas para satisfacer dicha necesidad.

Es acá donde nace la idea de unir las facultades de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Electrónica interdisciplinariamente, para lograr una solución viable para la necesidad estipulada por el grupo de trabajo del laboratorio de Automatización de Procesos.

3.2. CONCEPTUALIZACIÓN.

Ya planteada la necesidad se proponen algunas posibles soluciones, concretando detalles relevantes:

- Conocer los objetivos y alcances que se desean lograr en el proyecto.
- Los recursos disponibles para lograr una solución (tiempo, dinero, recurso humano).
- Especificaciones de diseño.
- Criterios de diseño.
- Facilidades de Automatización.

- Espacio disponible.

Se empieza a dar respuesta cuando se da a conocer el objetivo principal del proyecto el cual es diseñar y construir un prototipo de pruebas para la dosificación y mezcla de materiales a granel y líquido. Los recursos estipulados para este proyecto inicialmente son \$ 5'230.000 pesos, y el tiempo para lograr desarrollar el proyecto es de aproximadamente un año. Para el caso del recurso personal se da la idea de hacer el trabajo en conjunto, unir las facultades de Ingeniería Mecánica y Electrónica, con el fin de lograr un prototipo bien diseñado, construido y automatizado para obtener una buena calidad de la mezcla.

Las especificaciones iniciales de este proyecto implican desarrollar un prototipo de dosificación y mezcla de 4 tipos de materiales, en un área no mayor de 2x2 metros y una capacidad de hasta 15 kg/h de mezcla por ciclo y un estimado máximo de 4 ciclos como capacidad de volumen de material.

3.3. ANÁLISIS DE VIABILIDAD.

Este análisis se hizo bajo las restricciones que se tenían del proyecto, como las tecnológicas, económicas y recurso humano, se definió que según las exigencias del laboratorio se han de utilizar Tecnologías existentes en el laboratorio tanto en Neumática como en Automática y así lograr un diseño apropiado. La viabilidad también se definió en que el laboratorio necesitaba estar dotado de prototipos robustos y didácticos, que sirvieran para la elaboración de prácticas, en las cuales los estudiantes de las carreras de Ingeniería Mecánica, Electrónica e Industrial tuviesen un acercamiento a un proceso real. Las consideraciones de presupuesto, disponibilidad de espacios y otros recursos, hace viable la realización de este proyecto.

3.4. TOMA DE DECISIONES.

En este proceso se decide Diseñar, Construir y Automatizar un prototipo de pruebas para la dosificación y mezcla de materiales, a partir de esto se describen las partes principales del proyecto las cuales son:

- Dosificación por gravedad en peso para materiales sólidos y en volumen para materiales líquidos, utilizando cuatro tolvas una para cada material. Controlando el peso por una celda de carga y el volumen por un sensor ultrasónico.
- Para el Transporte del material se establece que la banda transportadora es la más adecuada para este proceso ya que se toma en cuenta los materiales a transportar, por su consistencia y disposición granular.

- En el sistema de Mezcla se opta por la idea de diseñar y construir una mezcladora tipo tambor a mini-escala, según las especificaciones de esta, se usa para mezclar materiales ya sean granulares, en polvo y líquidos.
- La Tecnología que se utiliza en la automatización es la Allan Bradley, ya que se cuenta con esta tecnología disponible en el laboratorio de automatización de procesos.

3.5. ASIGNACIÓN DE RESPONSABILIDADES

Realizada la separación del proyecto completo en elementos básicos, se presentan subsistemas, por lo cual se definen objetivos secundarios para garantizar una correcta integración en las últimas etapas del proceso de diseño, según esto, se asigna el Diseño, Simulación y construcción del prototipo al estudiante de Ingeniería Mecánica y la Automatización de este al estudiante de ingeniería Electrónica.

3.6. DISEÑO PRELIMINAR

En este diseño se determina la forma en la cual distribuyen los sistemas de dosificación, transporte y mezcla de materiales en la estructura del prototipo. Se define que son cuatro dosificadores de materiales, se controla el peso del material por medio de una celda de carga tipo viga, una banda transportadora se encarga del transporte del material y una mezcladora de tambor a mini-escala finaliza con el proceso de mezcla. En la figura 42, se muestra la distribución con la cual se desarrollara el prototipo de pruebas.

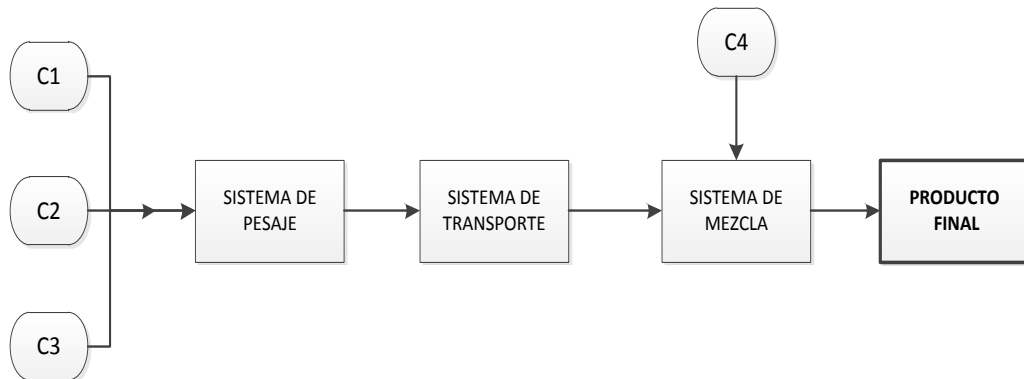


Figura 42. Distribución de los Sistemas y Componentes.
Fuente autores

En este proyecto se trabaja con 4 tipos de materiales los cuales son:

- C1= Componente en polvo
- C2= Componente granular grueso ($5\text{mm} < C2 < 30\text{mm}$) de diámetro.
- C3= Componente granular fino (menor a 5mm) de diámetro.
- C4= Componente líquido.

Se analizan diferentes alternativas de diseño, para lograr una estructura robusta y estética cumpliendo con los parámetros y especificaciones necesarias para el buen funcionamiento del prototipo. Los diseños difieren en la forma de distribución de dosificadores, formas de dosificadores y facilidades de construcción. En la figura 43 se muestran diferentes propuestas de distribución en el diseño.

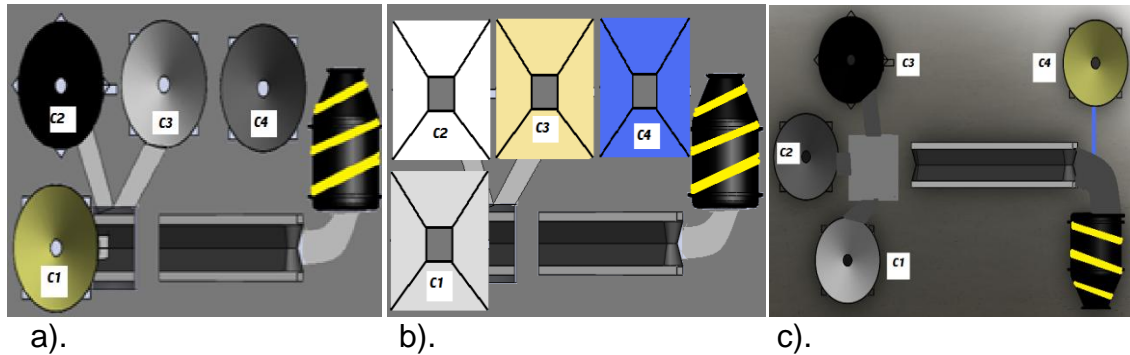


Figura 43. Alternativas de distribución.
Fuente autores

Se elige la opción a). Por motivos estéticos y por la mejor distribución en el área del prototipo, para la forma de las tolvas se tienen dos diseños como lo son los cuadrados y redondas.

Se diseñan tolvas redondas, ya que las tolvas cuadradas no permiten que el material fluya completamente hasta el punto de dosificación, debido a las zonas “muertas” creadas por los rincones.

3.7. DISEÑO DETALLADO.

El equipo dosificador y mezclador de materiales está proyectado para obtener diversos tipos y cantidades de mezclas, que cumplan con los parámetros preestablecidos por el operador. Para cumplir con los requerimientos se combinaron varios sistemas, que en conjunto, mediante una secuencia lógica, permita realizar las funciones de dosificación y mezclado en forma controlada. El prototipo consta con los siguientes sistemas:

- Sistema de almacenamiento y dosificación.
- Sistema de pesaje
- Sistema de transporte de material.
- Sistema de mezcla de materiales.

A continuación se describen detalladamente cada uno de estos sistemas.

3.7.1 Sistema de almacenamiento y dosificación

Este sistema tiene la función de almacenar y dosificar los materiales (sólidos y líquidos) para hasta 4 ciclos, lo que permite realizar un mezclado continuo, evitando interrupciones en el proceso debido a la ausencia de materiales una vez finalizado un ciclo.

El diseño de las tolvas se basa en las investigaciones de RAVANET [33]. Para poder efectuar el diseño de tolvas con la máxima garantía hay que tener en cuenta el factor fundamental que es el tipo de producto a dosificar.

Teniendo en cuenta lo dicho en el diseño preliminar se trabaja con cuatro tipos de materiales y restringiendo que los materiales sólidos estén secos.

Se da la idea de poder diseñar las 4 tolvas de la misma forma utilizando el área de una lámina de dimensiones 122x248 centímetros, bajo el concepto técnico de aprovechamiento de material es decir todos deben salir de la misma lamina. En la figura 44 se observa la distribución para el proceso de corte.

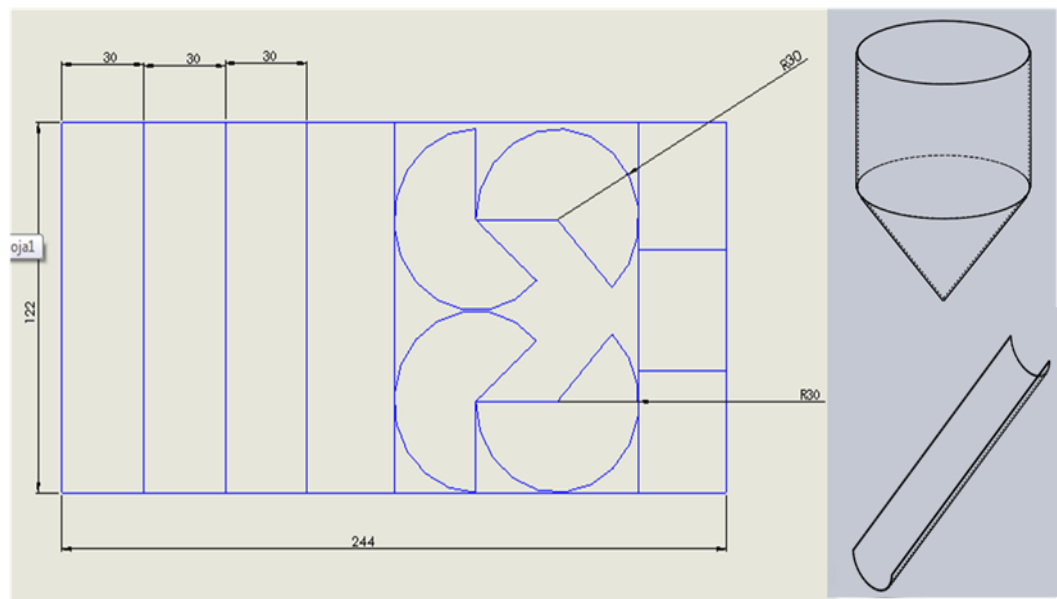


Figura 44. Distribución para el proceso de corte de las tolvas.
Fuente de Autores.

En la figura 43 se observa las cuatro áreas iguales para formar cilindros, las cuatro áreas iguales para formar los conos y las tres áreas iguales para los canales de dosificación con esta configuración el desperdicio del material de la lámina metálica es inferior al 5%.

3.7.1.1 Diseño de tolva para material en polvo.

Para el diseño de la tolva para materiales en polvo se siguió la metodología de diseño investigada por RAVANET [33], en este caso se opta por una tolva cilíndrica que termina en forma de cono centrado en su parte inferior, ya que las tolvas en forma cuadrada o excéntricas producen bóvedas de almacenamientos o tapones en el flujo, en la figura 45 se muestra la forma de la tolva con su estructura.

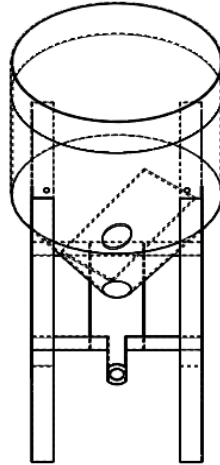


Figura 45. Estructura de la tolva de material en polvo.
Fuente de Autores.

Como se ve en la figura 45 se incorpora una lámina de espesor 2mm, inclinada a 45° con la horizontal con un agujero en el centro para evitar las sobrepresiones en el material evitando así las bóvedas o trancones de flujo.

Como se tiene la técnica de aprovechamiento de material se diseñan las tolvas de una lámina metálica de 122x248 centímetros, se hace una distribución de área para lograr esto.

Se desarrollan 5 pruebas para determinar la boca de salida de la tolva, arrancando con la boca de 4 cm de diámetro hasta 12 cm, para lograr el mejor flujo del material. En base a estas pruebas se deja la boca de la tolva de 10 cm, para que el flujo del material no sea interrumpido.

Las dimensiones obtenidas de la tolva según el aprovechamiento de material y las pruebas realizadas se muestran en la figura 46.

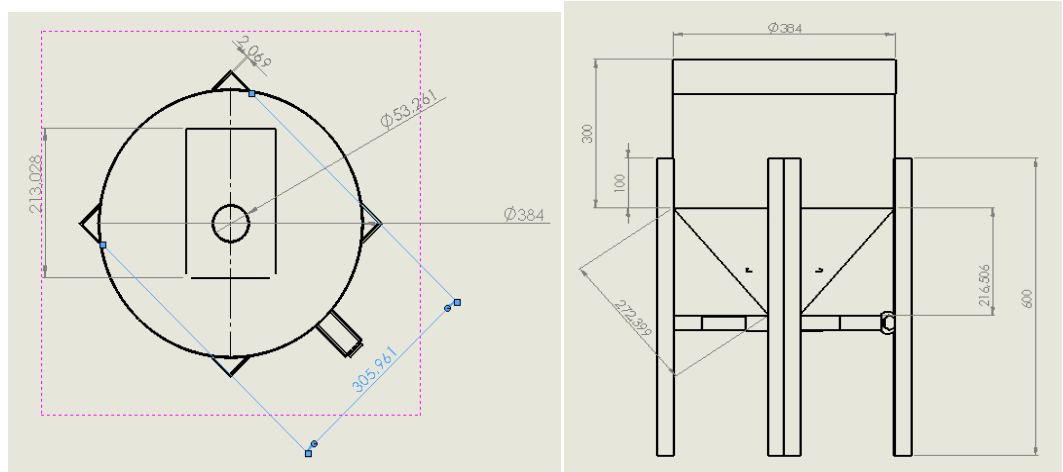


Figura 46. Dimensiones de tolva para material en polvo
Fuente de Autores.

Para el diseño del prototipo se trabaja con una altura de 80 cm para la mesa de trabajo, siendo esta medida casi estándar para todo tipo de mesa.

Para una buena dosificación se necesita tener una altura aproximadamente de 35 cm desde la boca de salida al nivel de la mesa, para que el material tenga suficiente caída y fluya por el canal que lo lleva al sistema de pesaje. Por esta razón la altura de la tolva incluyendo los soportes es de 87 cm. Esta dimensión implica que para la recarga de productos a la tolva, el operario debe subirse a un peldaño de 30 cm, el cual se considera como elemento auxiliar en el diseño de la mesa.

Las dimensiones después de utilizar esta metodología son:

- Cilindro de tolva de diámetro 38.4 cm y altura 30 cm.
- Cono truncado de 21,6 cm de altura; radio mayor de 19.2 cm y radio menor 5,34 cm.
- La altura de las bases es de 60 cm y están soldadas al cilindro por 10 cm, para lograr la altura de la boca de la tolva a 30 cm sobre el plano de la mesa y una altura en la tapa superior de la tolva de 80 cm.

El volumen total de la tolva para material en polvo es igual a:

$$V_{\text{total}} = V_{\text{cilindro}} + V_{\text{cono truncado}}$$

$$V_{\text{total}} = 0,02925\text{m}^3 + (0,008425\text{m}^3 - 0,0009895\text{m}^3)$$

$$V_{\text{total}} = 0,03668\text{m}^3$$

Si se toma la densidad del producto similar al cemento se obtendría una capacidad total de 55 kg. Llenando completamente la tolva.

Se utiliza un sistema de dosificación que se constituye por un sello metálico (estilo cuchilla) conectado a un cilindro neumático que lo desplaza horizontalmente sobre unas guías dando la apertura y cierre de la dosificación, por ser un mecanismo sencillo de construir y de controlar. En la figura 47 se observa la ubicación del mecanismo instalado en la tolva.

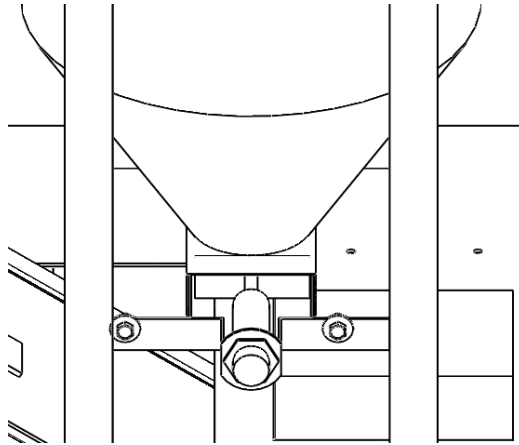


Figura 47. Sello Metálico Tolva para material en polvo
Fuente de Autores.

3.7.1.2 Diseño de tolva para material granular fino.

Para el diseño de la tolva para material granular fino se siguió la metodología de diseño investigada por RAVANET [33], en este caso se opta por una tolva cilíndrica que termina en forma de cono centrado en su parte inferior, ya que las tolvas en forma cuadrada o excéntricas producen bóvedas de almacenamientos o tapones en el flujo, en la figura 48 se muestra la forma de la tolva con su estructura.

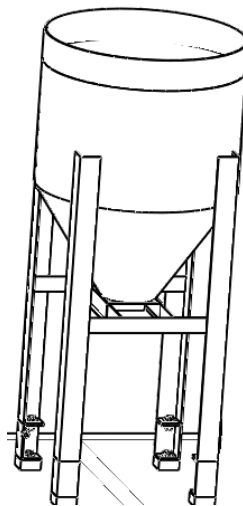


Figura 48. Estructura de la tolva de material granular fino.
Fuente de Autores.

Debido al proceso de aprovechamiento de material y considerando que las cuatro tolvas son iguales, las dimensiones de la tolva se muestran en la figura 49.

La boca de salida de la tolva, es de un diámetro de 10 cm, porque el material granular fino tiene mejor capacidad de fluidez [33] que el de polvo por esta razón se le puede adjudicar el mismo diámetro en la boca de la tolva, facilitando la construcción del sistema de sellado similar al dispositivo utilizado en el producto en polvo.

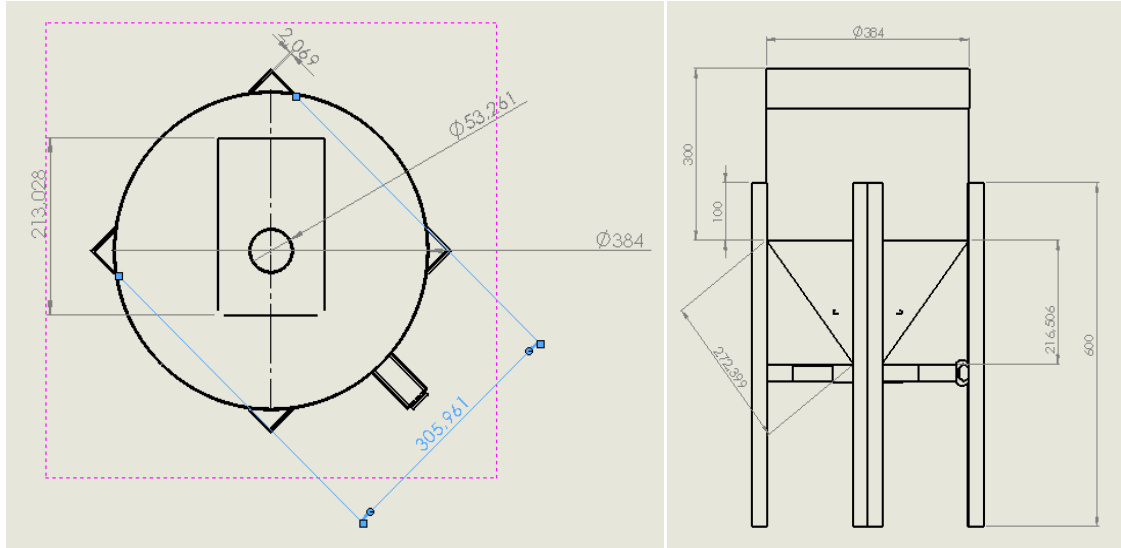


Figura 49. Dimensiones de tolva para material granular fino
Fuente de Autores.

Por las razones de dejar todas las tolvas a la misma altura y de la misma forma, se tienen las siguientes dimensiones para esta tolva:

- Cilindro de tolva de diámetro 38.4 cm y altura 30 cm.
- Cono truncado de 21,6 cm de altura; radio mayor de 19.2 cm y radio menor 5 cm.
- La altura de las patas es de 60 cm y están soldadas al cilindro por 10 cm, para lograr la altura de la boca de la tolva a 30 cm sobre el plano de la mesa.

El volumen total de la tolva para material granular fino es igual a:

$$V_{\text{total}} = V_{\text{cilindro}} + V_{\text{cono truncado}}$$

$$V_{\text{total}} = 0.02925\text{m}^3 + (0.008425\text{m}^3 - 0.0009895\text{m}^3)$$

$$V_{\text{total}} = 0,03668\text{m}^3$$

Tomando una densidad similar a la arena de 1600 kg/m^3 , el peso total de producto en tolva es de 58,6 kg. Llenando completamente la tolva.

El sistema de sellado (salida de producto) es similar al utilizado en la tolva de producto en polvo. En la figura 50 se observa el mecanismo instalado en la tolva.

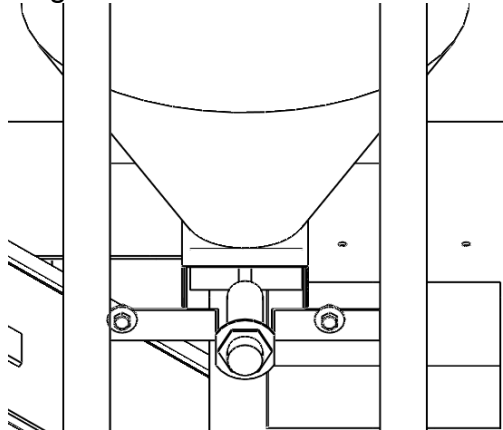


Figura 50. Sello Mecánico Tolva para material granular fino
Fuente de Autores.

3.7.1.3 Diseño de tolva para material granular grueso.

La dosificación de productos granulares gruesos es una de las más delicadas del proceso ya que su velocidad de flujo es muy lenta y por la forma del producto produce inconsistencias en la vaciado del material. Como se sabe la tolva de almacenamiento es de la misma forma de las tolvas anteriores, con la diferencia que el sistema de dosificación está ejecutado directamente con un cilindro neumático a la boca de la tolva, evitando así los trancones y atascamientos producidos por los materiales granulares gruesos. Este sistema se utiliza en los textos de investigación utilizados [33]. En la figura 51 se muestra la estructura de la tolva del producto 2 o material granular grueso.

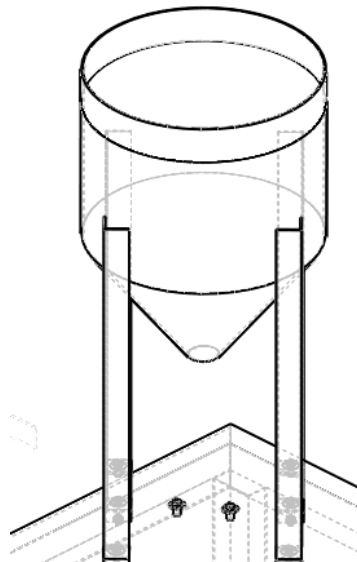


Figura 51. Estructura de la Tolva para producto granular grueso
Fuentes de autores.

Las dimensiones de la tolva por razones ya dichas son igual a las de las tolvas anteriores

- Cilindro de tolva de diámetro 38.4 cm y altura de 30 cm.
- Cono truncado de 24,5 cm de altura; radio mayor de 19.2 cm y radio menor 7 cm.
- La altura de las patas es de 60 cm y están soldadas al cilindro por 10 cm, para lograr la altura de la boca de la tolva a 30 cm sobre el plano de la mesa.

El volumen total de la tolva para material granular grueso es igual a:

$$V_{\text{total}} = V_{\text{cilindro}} + V_{\text{cono truncado}}$$

$$V_{\text{total}} = 0.02925\text{m}^3 + (0.008425\text{m}^3 - 0.0009895\text{m}^3)$$

$$V_{\text{total}} = 0,03668\text{m}^3$$

Tomando una densidad similar a la grava, el peso total del producto en tolva es de 62,3 kg. Las dimensiones de la tolva se muestran en la figura 52.

La boca de salida de la tolva, es de un diámetro de 8 cm. Aprovechando el atascamiento como cierre de dosificación. Se deja este diámetro ya que en diámetros menores el material no fluye o lo hace interrumpidamente.

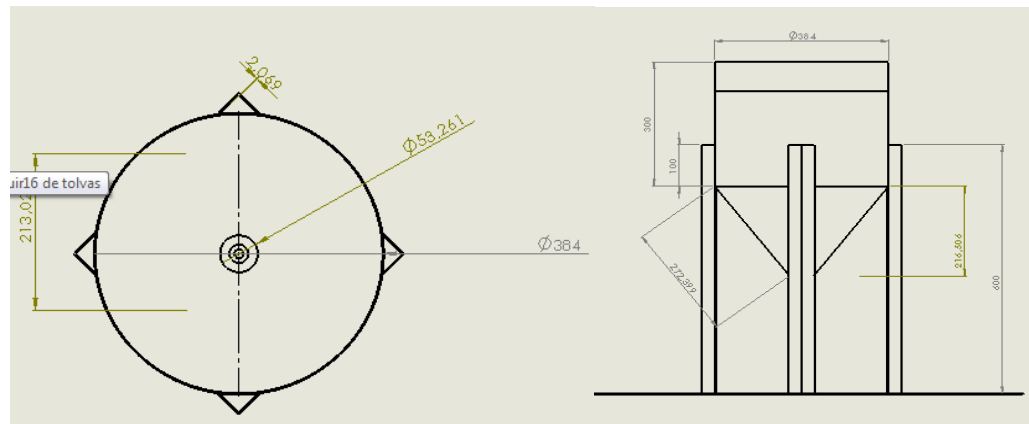


Figura 52. Dimensiones de tolva para material granular grueso
Fuente de Autores.

El sistema de dosificación está constituido por un cilindro neumático conectado a un varilla que ejerce la presión directamente al producto granular, produciendo así un des-atascamiento y permitiendo la fluidez del material por pulsos. El sello se hace aprovechando la poca fluidez del material o el atascamiento por la forma de este. En la figura 53 se observa el mecanismo instalado en la tolva.

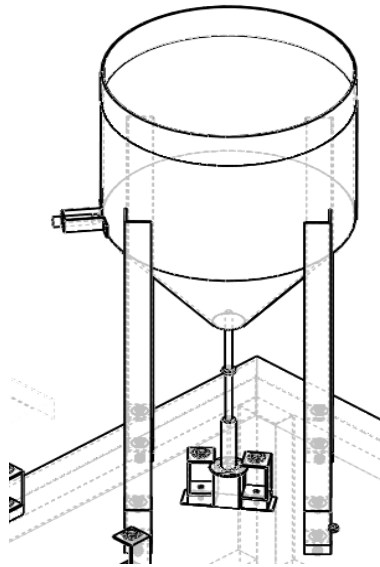


Figura 53. Sello Mecánico Producto granular grueso.
Fuente de Autores.

3.7.1.4 Diseño de tolva para material líquido.

En el diseño de la tolva para el material líquido se tiene como referencia, la facilidad de los materiales líquidos a fluir, por esto se diseña la tolva utilizando la forma de las anteriores tolvas con la diferencia en su sistema de dosificación, buscando así el mejor diseño estético. En la figura 54 se muestra el diseño.

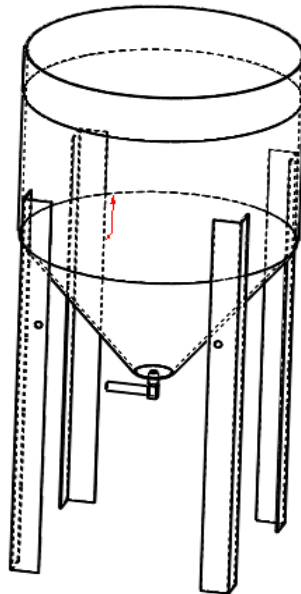


Figura 54. Dibujo de tolva para material líquido.
Fuentes de autores.

El sistema de dosificación se controla por medio de una electroválvula que permite el paso exacto del líquido, activada por un sensor ultrasónico, se instala una válvula manual antes de la válvula solenoide para permitir la purga y el lavado de la mezcladora sin necesidad de poner en marcha el prototipo.

Se utiliza tubería de 1/8 ya que es necesario que la descarga del líquido sea lenta.

En la figura 55 se muestran las dimensiones de la tolva.

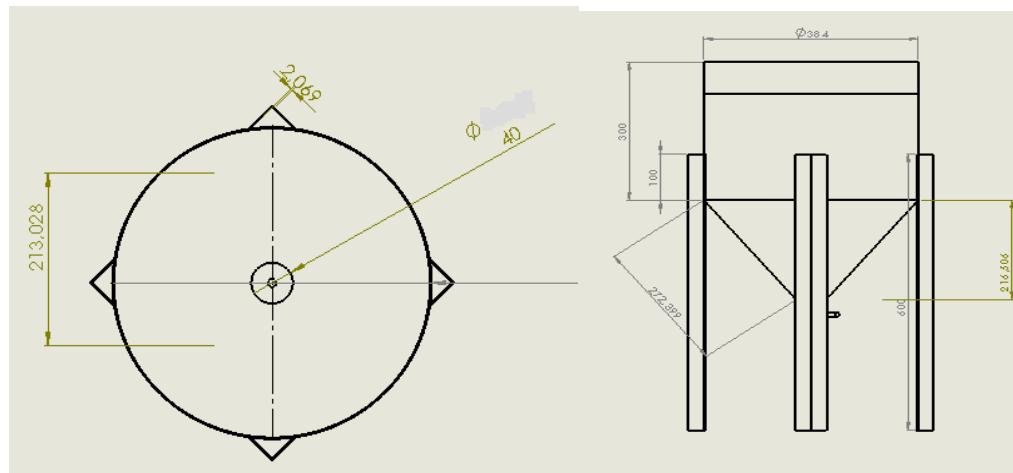


Figura 55. Dimensiones de tolva para material líquido
Fuente de Autores.

El volumen total de la tolva para material líquido es igual a:

$$V_{\text{total}} = V_{\text{cilindro}} + V_{\text{cono truncado}}$$

$$V_{\text{total}} = 0,02925\text{m}^3 + (0,008425\text{m}^3 - 0,0009895\text{m}^3)$$

$$V_{\text{total}} = 0,03668\text{m}^3$$

Si se utiliza el agua como material para esta tolva su capacidad en volumen será de:

$$V_{\text{total}} = 36 \text{ lt.}$$

3.7.2 SISTEMA DE PESAJE

Se encarga del pesaje de los materiales sólidos y de la descarga al sistema de transporte del material, se utiliza una bandeja de peso soportada por el dispositivo de peso. Este dispositivo de peso está soportado un ángulo metálico, el cual se uno a dos rieles, que le dan movilidad horizontalmente, después de que se logre el peso indicado se acciona un cilindro neumático conectado al soporte de

dispositivo de peso, el cual desliza el sistema y deja caer el material al sistema de transporte por medio de una pestaña que limpia la lámina horizontalmente.

Este sistema se diseña así ya que la dosificación de los materiales llega a un nivel inferior al de la mesa de trabajo, por esta razón se logró descargar los materiales directamente a la banda, En la figura 56 se observa las partes que componen este sistema y sus dimensiones.

- 1: Cilindro Neumático
- 2: Bandeja de Carga
- 3: Dispositivo de peso
- 4: Soporte del dispositivo
- 5: Rieles para el desplazamiento horizontal

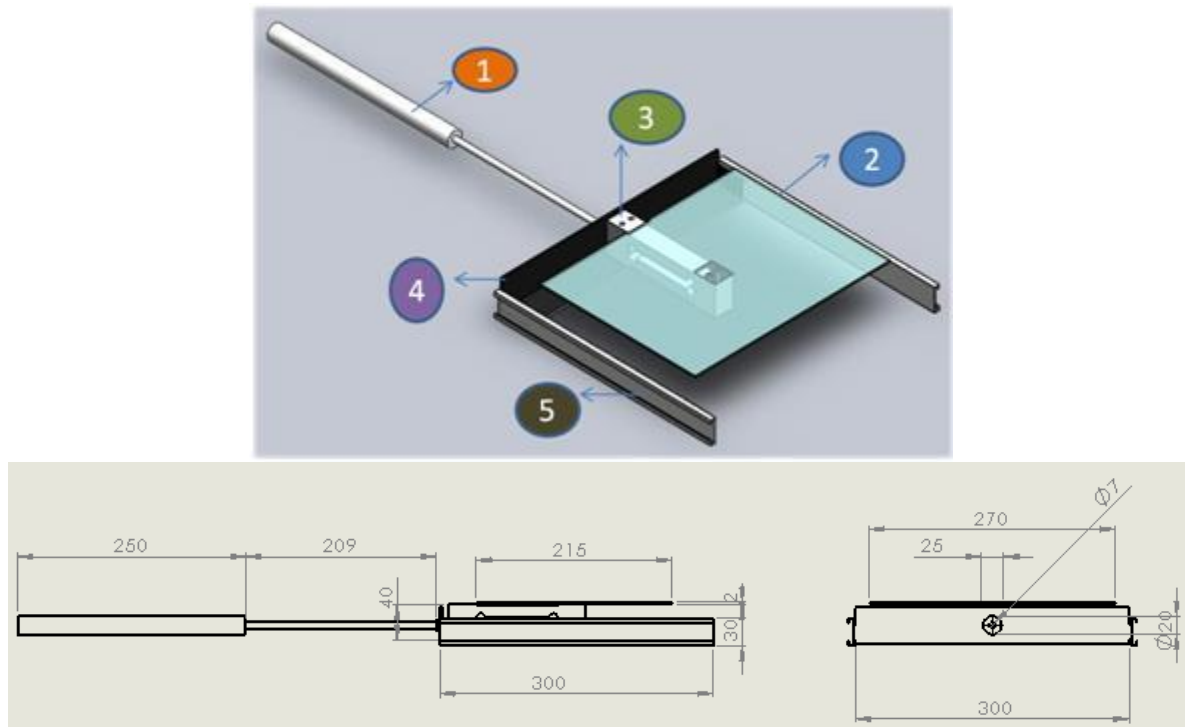


Figura 56. Dimensiones de Sistema de Pesaje.
Fuente de Autores

3.7.3 SISTEMA DE TRANSPORTE DE MATERIAL

Es la encargada de transportar el material desde la descarga de la bandeja de peso a la mezcladora, por medio de un elemento móvil, que se mueve por la fricción hecha por el rodillo impulsor. Como se trabaja con tres tipos de materiales y en forma inclinada se utiliza una cinta con salientes en la superficie de trabajo.

En la figura 57 se muestran las dimensiones de la estructura y banda transportadora.

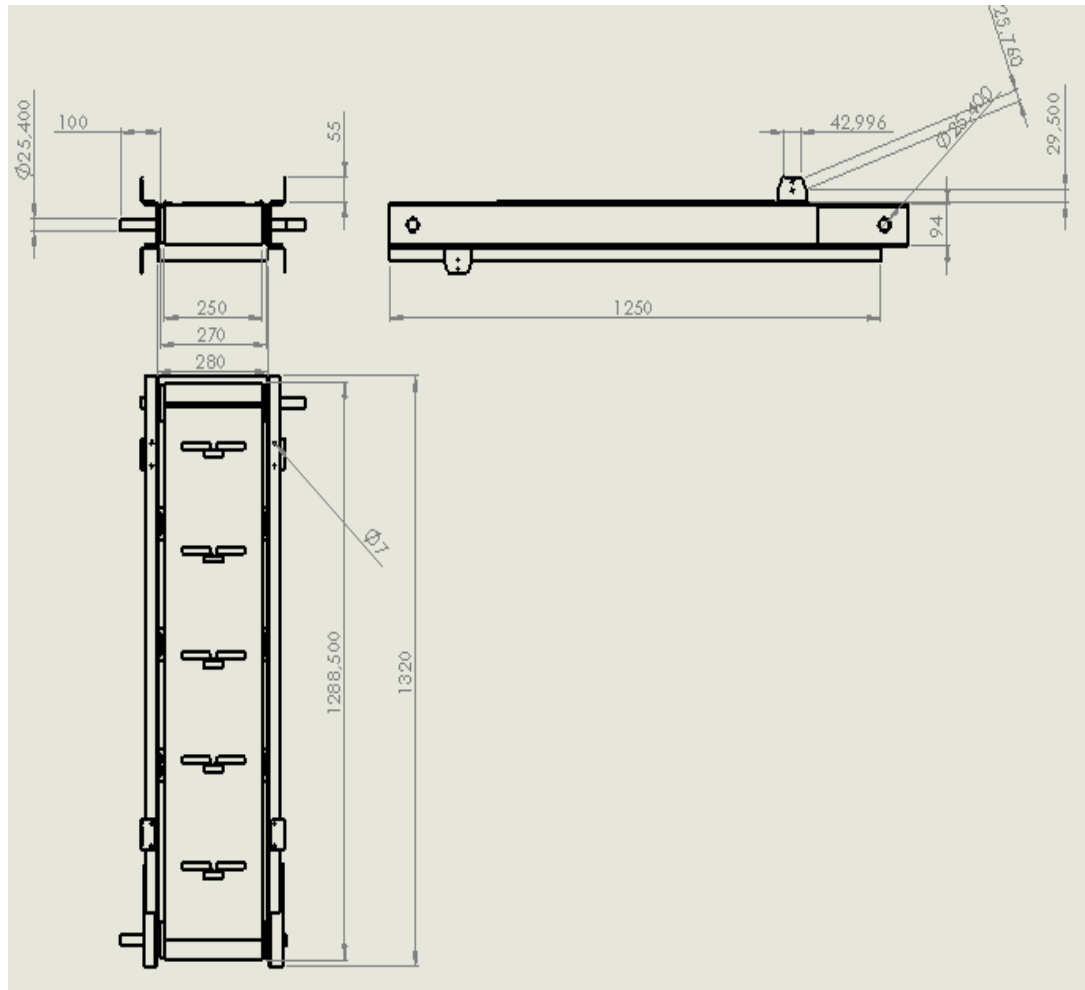


Figura 57. Dibujo de la banda transportadora.
Fuente de Autores.

En la figura 58 se muestra el diseño de la estructura de la banda transportadora.

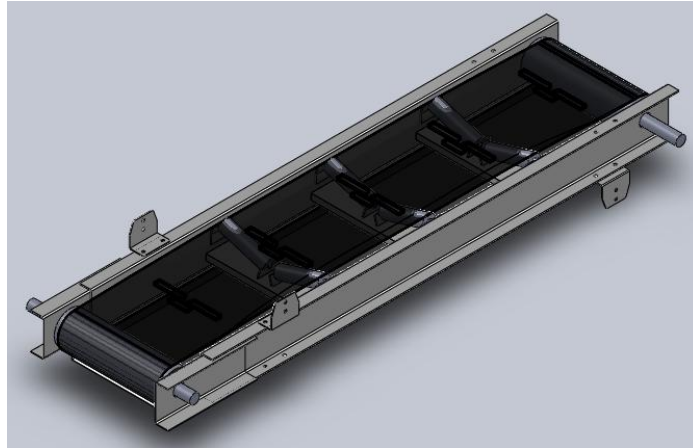


Figura 58. Estructura de la banda transportadora.
Fuente de Autores.

La banda está conformada por la estructura metálica, El elemento móvil o cinta transportadora y un motor que le entrega la potencia y movimiento a la cinta por medio de un rodillo impulsor.

El movimiento se genera por un motor-reductor de AC que se muestra en la figura 59, conectado al rodillo impulsor por medio de un sistema de poleas y correa, con una relación de 1:1.4, la relación del motor es de 57:1. Este sistema se emplea debido a la ubicación distante entre el motor-reductor y el rodillo impulsor, considerando la difícil conexión directa entre dichos elementos.

La velocidad la banda transportadora se determina con pruebas de campo, buscando facilitar el proceso, tal como se describe en el capítulo 5.

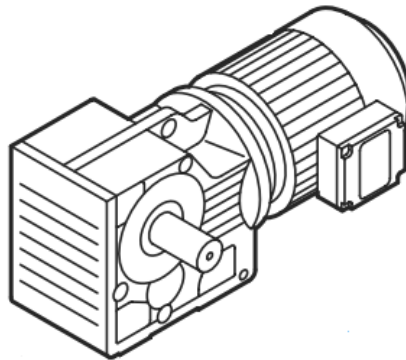


Figura 59. Moto-reductor [12]
Fuente de Autores

3.7.4 SISTEMA DE MEZCLA

Se diseña bajo las restricciones que se tienen de los productos a mezclar, se adopta la idea de diseñar una mezcladora de tambor a una mini-escala, ya que es

el tipo de mezclador que se adapta a la idea de mezcla de los productos utilizados. La figura 60 y 61 muestra la forma de diseño que se obtiene de la réplica a una escala menor de un mezclador que se utiliza para la elaboración de concreto.

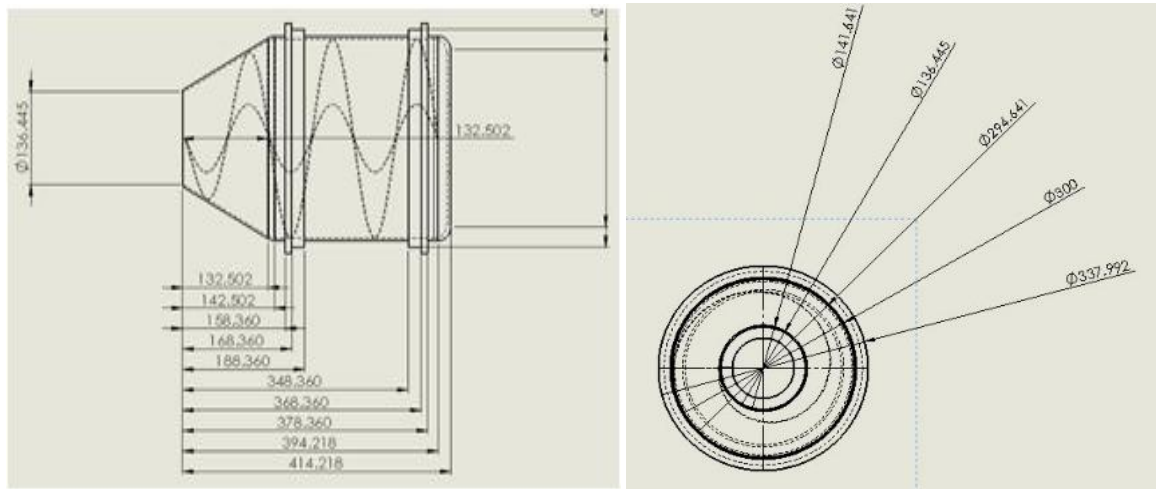


Figura 60. Dibujos y dimensiones del sistema mezclador.
Fuente de Autores.

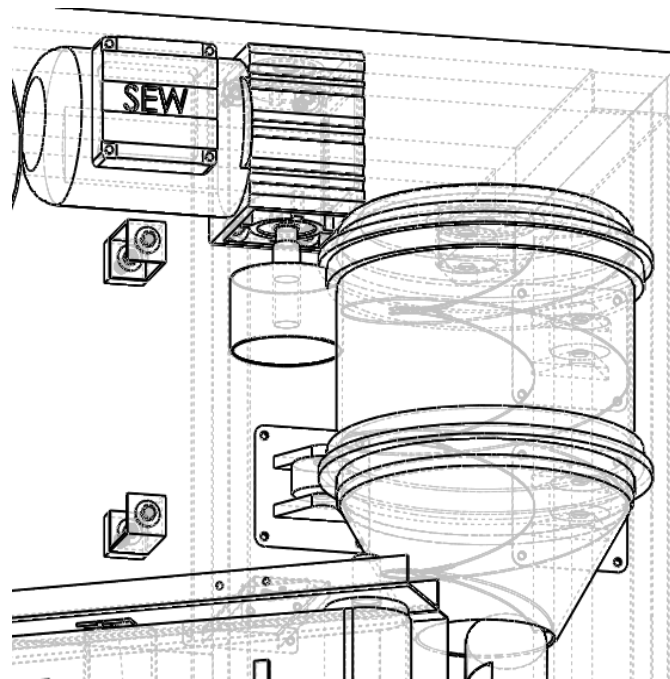


Figura 61. Diseño del mezclador.
Fuente de Autores.

El movimiento de mezcladora es generado por un motor-reductor de AC igual al que se utiliza en la banda transportadora pero con diferente velocidad de giro, la

relación del motor es de 40:1, la transmisión de movimiento se hace por fricción entre un elemento circular cubierto en caucho, conectado al motor y el cilindro central de la mezcladora como se muestra en la figura 61. La velocidad del motor es de 41 rpm, generando así una velocidad de giro en la mezcladora de 16.4 rpm.

3.7.5 SISTEMA NEUMÁTICO

El sistema neumático es el encargado del sistema de movimiento lineal (horizontal y vertical), realizado y controlado por instrumentación neumática en las diferentes etapas de dosificación.

Los cilindros neumáticos de 20mm de diámetro, tienen una fuerza máxima a 130 Psi (896,2 KPa) de 281,59 N de avance del embolo y 236,53N de retroceso del embolo en los cilindros doble efecto. Cada cilindro es capaz de cumplir con cada necesidad del proceso de dosificación.

La fuerza más crítica es la ejercida por el cilindro 3 encargado de dosificar el componente granular grueso.

En la figura 62 se muestra el plano neumático del prototipo:

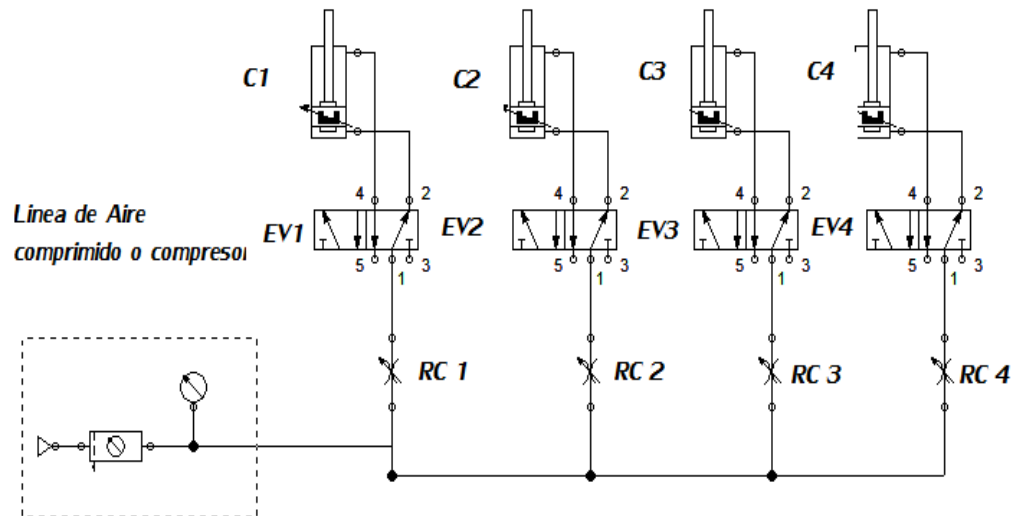


Figura 62. Plano Circuito Neumático.
Fuente de Autores

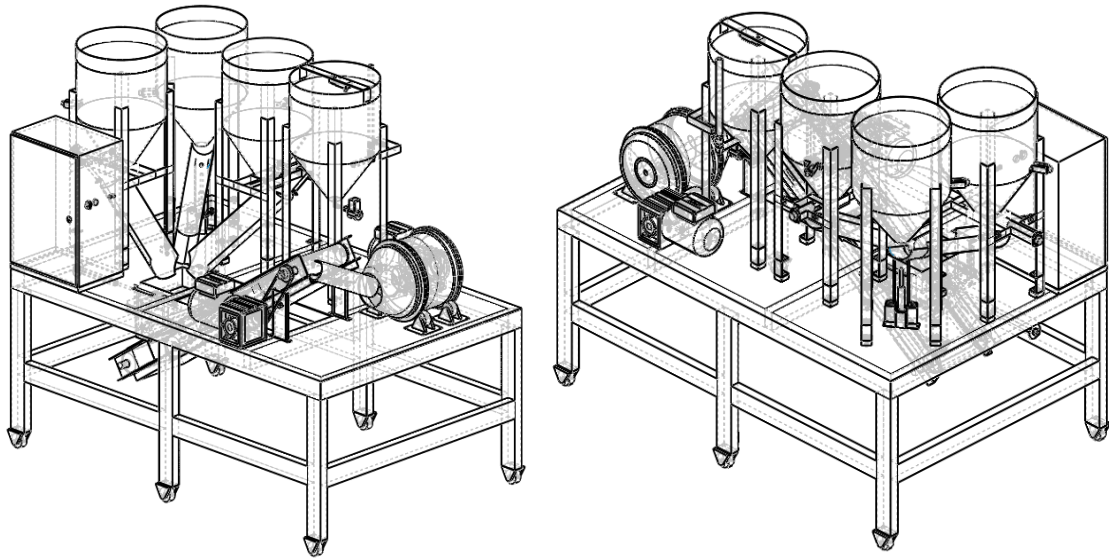
En la tabla 10 se muestra la información detallada, correspondiente a la nomenclatura y descripción del sistema neumático.

NOMENCLATURA	NOMBRE	FUNCIÓN	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES
C1	Cilindro doble efecto	Cilindro encargado de la apertura y cierre de la dosificación del componente 1.	Ø= 20 mm Carrera: 150 mm
C2	Cilindro doble efecto	Cilindro encargado de la descarga del material pesado a la banda transportadora.	Ø= 20 mm Carrera: 200 mm
C3	Cilindro doble efecto	Cilindro encargado de la apertura y cierre de la dosificación del componente 2.	Ø= 20 mm Carrera: 100 mm
C4	Cilindro doble efecto	Cilindro encargado de la dosificación del componente 3.	Ø= 20 mm Carrera: 100 mm
EV1	Electroválvula 5/2	Encargada del accionamiento del cilindro 1 (avance y retroceso).	Voltaje: 110 AC Vías: 5/2
EV2	Electroválvula 5/2	Encargada del accionamiento del cilindro 2 (avance y retroceso).	Voltaje: 110 AC Vías: 5/2
EV3	Electroválvula 5/2	Encargada del accionamiento del cilindro 3 (avance y retroceso).	Voltaje: 110 AC Vías: 5/2
EV4	Electroválvula 5/2	Encargada del accionamiento del cilindro 4 (avance y retroceso).	Voltaje: 110 AC Vías: 5/2
RC1	Regulador de caudal	Encargado de regular el caudal de aire del cilindro 1.	Presión de trabajo: 7-135 psi.
RC2	Regulador de caudal	Encargado de regular el caudal de aire del cilindro 2.	Presión de trabajo: 7-135psi.
RC3	Regulador de caudal	Encargado de regular el caudal de aire del cilindro 3.	Presión de trabajo: 7-135 psi.
RC4	Regulador de caudal	Encargado de regular el caudal de aire del cilindro 4.	Presión de trabajo: 7-135 psi.
RP	Regulador de presión	Encargado de regular la presión del sistema neumático.	Presión de trabajo: 7 – 128 psi.

Tabla 10. Nomenclatura del sistema Neumático
Fuente de Autores.

3.7.6 DISEÑO CAD DEL PROTOTIPO SOLIDWORKS

El diseño CAD del prototipo de dosificación y mezcla se realiza mediante el software de diseño asistido por computador, Solidworks. Este diseño ayuda a reducir y visualizar problemas de ensamblaje, evaluar la apariencia final del diseño del prototipo sin iniciar su construcción física. En la figura 63 se muestra el diseño virtual del prototipo.



Vista Frontal

Vista Posterior

Figura 63. Diseño CAD del Prototipo.
Fuente de autores

Posteriormente se efectúa la validación del diseño elaborado en SolidWorks por medio de software CAE (ANSYS). Para Ver detalladamente las dimensiones y especificaciones de las partes que componen el prototipo, dirigirse al anexo L.

3.7.7 ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA ESTRUCTURA POR MEDIO DE SOFTWARE CAE (ANSYS)

Por medio del software CAE (ANSYS), el diseño virtual del prototipo se valida para diagnosticar posibles fallas que afecten con el diseño y funcionamiento del mismo. En esta simulación se analizan las tolvas y la estructura de la mesa que soporta al prototipo. En la figura 64 y 65 se muestra la simulación hecha a la tolva, suponiendo que el material a dosificar sea el de mayor densidad, en este caso es de 1700 kg/m^3 densidad de la (Grava).

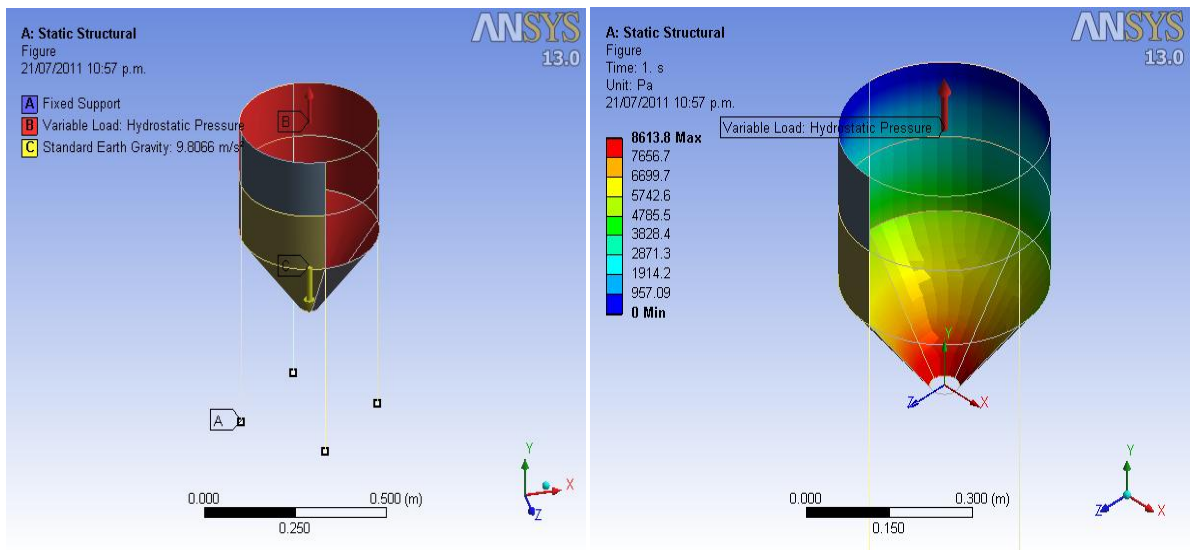


Figura 64. Estática estructural Tolva.
Fuente de autores.

En la figura anterior se muestra la simulación de la Estática de la estructura en la tolva, Donde:

A= Soportes Fijos **B**= Variable Presión Hidrostática **C**= Gravedad

Al analizar la simulación, se observa que la deformación máxima en la tolva y sus soportes es pequeña, con un equivalente a 0,04855 mm, en la figura 65 se muestra este análisis de la Deformación Total.

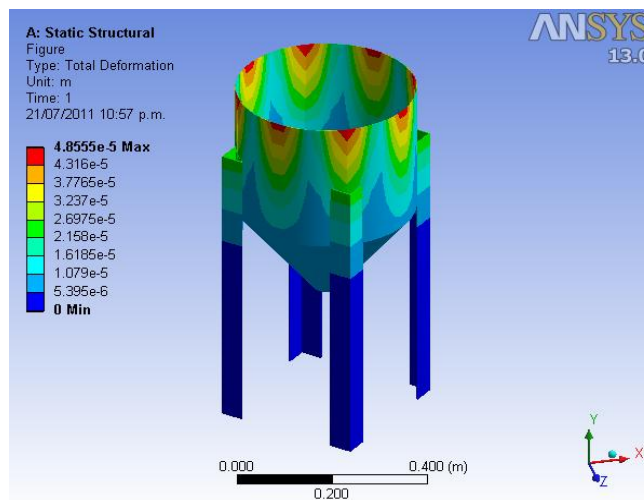


Figura 65. Deformación Total Estructura de Tolva.
Fuente de autores

Para ver más detalladamente el análisis estructural estático de la tolva, dirigirse al Anexo M.

En la simulación de la Mesa del prototipo se le aplican las cargas más relevantes que afectan a la estructura, en este caso las cargas son:

Carga D= 20 kg Carga E= 60 kg Carga F= 60 kg
Carga G= 60 kg Carga H= 60 kg Carga I = 40 kg

Asumiendo B como los soportes fijos, C soportes móviles y A como la gravedad (9.8066 m/s²). Las cargas de 60 kg son divididas en cuatro que son el número de patas de cada tolva, y la carga de 40 kg también se divide igualmente. En la figura 66 se observa la distribución de cargas en la mesa del prototipo.

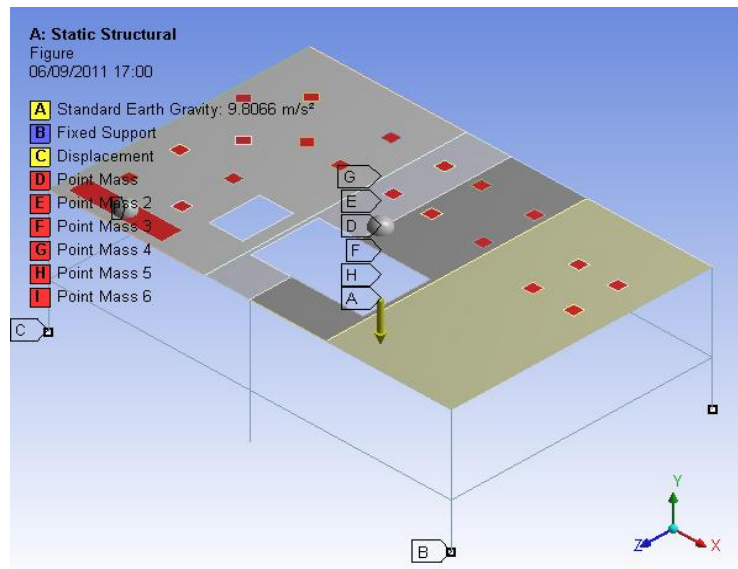


Figura 66. Estática Estructural Fuerzas Aplicadas en la Mesa.
Fuente de autores.

Se hace una simulación de momentos en la estructura, de donde se obtiene que el momento máximo es de 278.76 N.m y el mínimo es de 1.44×10^{-12} N.m, la sección que presenta mayor momento es la indicada en rojo en la figura 67. En el Anexo M se detallan los reportes del análisis estático de la mesa.

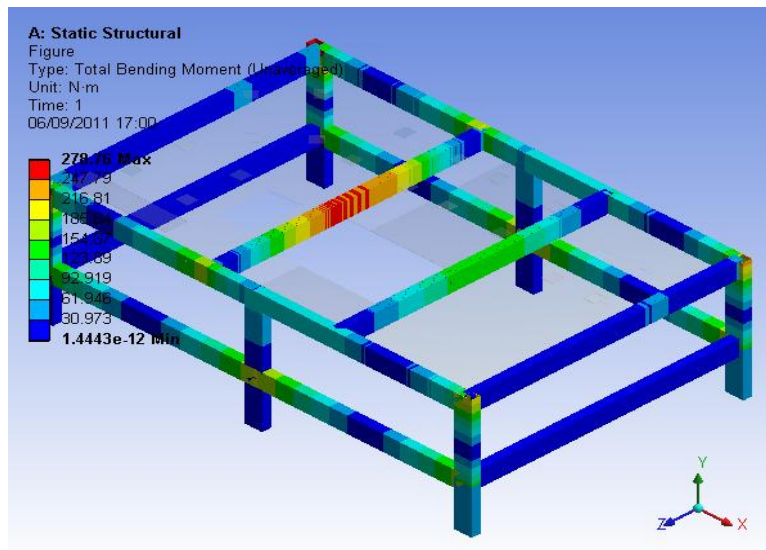


Figura 67. Estática Estructural Momento de Flexión Total Mesa.
Fuente de autores

3.8 CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE DEL PROTOTIPO

La construcción y ensamblaje del prototipo, está basado en las especificaciones previstas en el diseño y simulación del mismo. Se utilizan procesos de manufactura que requieren un sistema secuencial de etapas para lograr un adecuado proceso, empezando desde fabricación de estructuras, piezas pequeñas y móviles, llegando hasta el ensamblaje completo del prototipo.

Procesos de fabricación empleados:

En la construcción del prototipo de dosificación y mezcla, se emplean diversos procesos de fabricación necesarios para un buen funcionamiento y cumplimiento de las especificaciones de diseño del prototipo, en la figura 68 se muestran parte de los procesos que se utilizan para la construcción del prototipo.

- Proceso de soldadura: Se emplea un tipo de unión permanente de elementos de máquinas en el prototipo, la cual es soldadura con electrodo, 6013 de (3/32") que se utiliza en la unión de las diferentes partes que conforman la estructura del prototipo.
- Proceso de mecanizado: En el mecanizado de piezas del prototipo, se utiliza diferentes procesos entre los que se destacan:
 - Torneado: Se utiliza para la elaboración de piezas tales como ejes, acoples roscados de cilindros neumáticos y roscas externas.

- Cilindrado: Se emplea el cilindrado de lámina, presentes en la construcción de las tolvas, mezcladora, y canales de transporte de material.
- Taladrado: Se realiza en diferentes elementos constituyentes del prototipo en los cuales se hace necesario la perforación del material en diferentes diámetros para su posterior ensamblaje o acoplamiento.



Figura 68. Procesos de fabricación.
Fuente de autores

Para el ensamblaje del prototipo se utiliza unión no permanente de elementos, Este sistema suministra un montaje y desmontaje fácil, ya sea para mantenimiento o traslado de la máquina. La unión se realizó mediante diferentes clases de tornillos, dependiendo de su ubicación y de su facilidad de montaje. Los tamaños y tipos de cada tornillo dependen de su funcionalidad en la máquina. Se utiliza tornillería (5/16", 1/4" y 3/8"), en la figura 69 se observa un tipo de unión no permanente del prototipo.



Figura 69. Unión no permanente de Elementos.
Fuente de autores

El ensamble completo del prototipo se muestra en la figura 70, donde se utilizan los sistemas de unión explicados anteriormente.

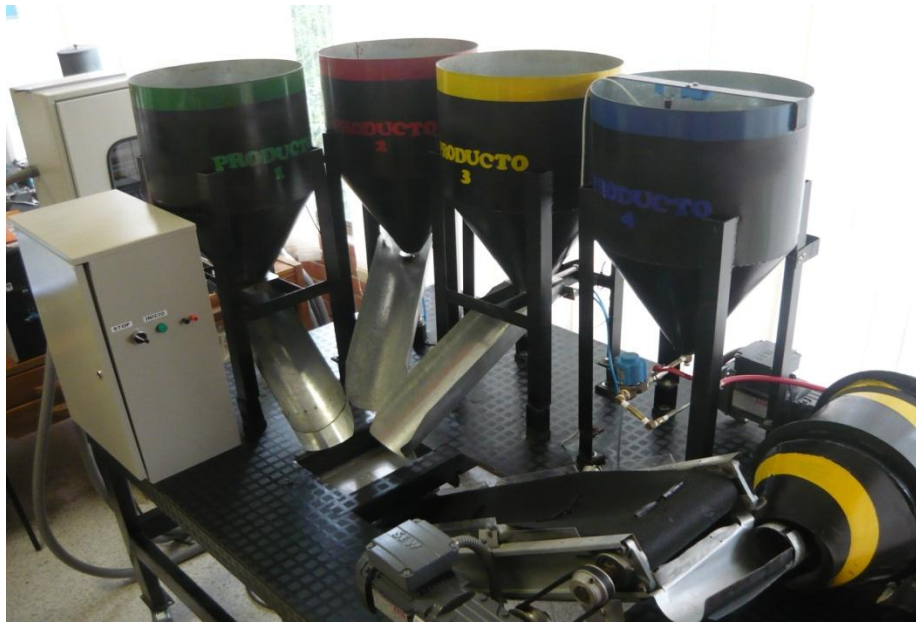


Figura 70. Prototipo Ensamblado Vista Frontal.
Fuente de autores

4 DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN

Este proyecto se basa en el diseño, construcción, instrumentación y automatización de una dosificadora y mezcladora de 4 componentes, tres de ellos a granel y uno líquido. Esta máquina está compuesta por un sistema de pesaje y un sistema de volumen el cual es llevado por medio de una banda transportadora y tubería respectivamente a la mezcladora obteniendo el producto deseado. El producto final será utilizado en una etapa de estudio de calidad del producto la cual debe ser realizada en proyectos posteriores.

Este proceso tiene unas variables en cada sistema del prototipo, las cuales deben ser evaluadas y controladas con el fin de obtener la eficiencia y las condiciones que determinan la calidad del producto. Esto se consigue por medio de un sistema de control, elementos finales, actuadores y accionadores. Los procesos se describen según los componentes tecnológicos que lo integran en cada etapa.

4.1 SISTEMAS DE CONTROL

Este sistema está constituido por módulos de entrada digital y analógica, los cuales reciben la información de las variables que se van a manipular en el proceso, obteniendo así señales para evaluar y procesar el buen funcionamiento que se espera del prototipo. El sistema de control utilizado por razones de disponibilidad en el laboratorio, fue el RS-LOGIX 5000 de Allen Bradley el cual permite un manejo de las estructuras de programas e instrucciones de una manera adecuada, que permite futuras adaptaciones y exigencias, debido a su condición de gama alta. Se realiza, además un monitoreo gráfico por medio de Factory talkview que permite tener una aplicación gráfica llamada HMI (Interfaz Hombre Máquina).

4.1.1 Distribución de las etapas de control

En el gabinete principal se tiene el hardware del sistema de control Allen Bradley en el que se encuentran la CPU, módulos de entradas y salidas digitales y análogas y de comunicación y los dispositivos de acondicionamiento de protección eléctrica. En el gabinete remoto se tiene unos módulos de ampliación del hardware para tener más entradas y salidas digitales y análogas. En el gabinete de paso se tiene en cuenta la distribución de las señales de control y las de potencias para no generar ninguna interferencia entre ellas. En las figuras 71, 72 y 73 se muestra la distribución de los gabinetes nombrados.

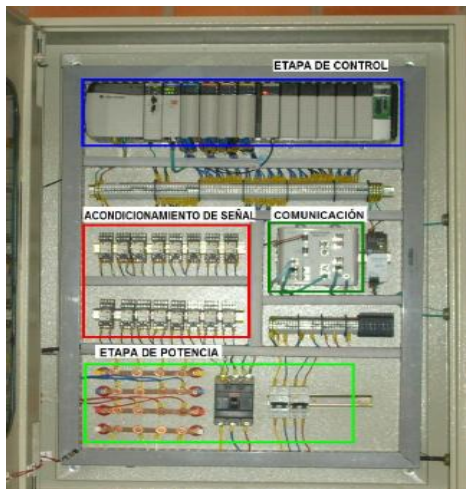


Figura 71. Gabinete principal [25]
Fuente autores

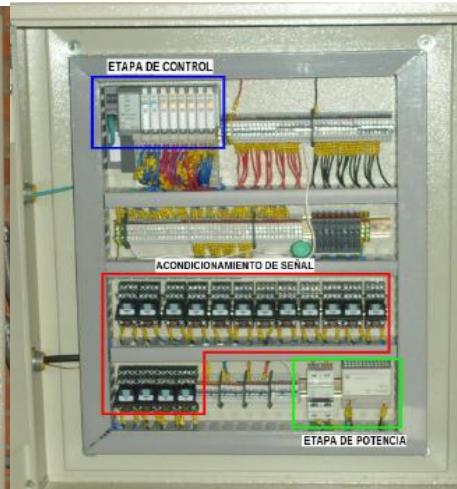


Figura 72. Gabinete remoto [25]
Fuente autores

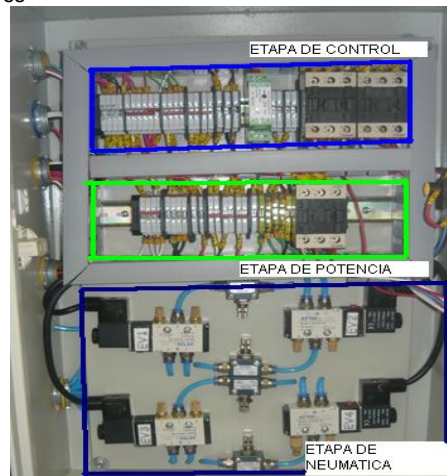


Figura 73. Gabinete de paso
Fuente autores

4.2 HERRAMIENTAS DE CONTROL

Una de las herramientas de control son los instrumentos que tienen la función de transmitir el estado de las variables del proceso, las cuales se utilizan para evaluar las condiciones de operación de la máquina. Según estas señales recibidas se establecen las labores con que la máquina se ejecutara. La selección de estos instrumentos se realiza de acuerdo con los requerimientos que presenta el prototipo, analizando las diferentes opciones que ofrece la industria, para lograr el objetivo en cada etapa en el proceso.

De acuerdo a estas características, se presenta en la Figura 74 el diagrama de bloques del proceso correspondientes a cada etapa y en la Tabla 11 la relación de los instrumentos del prototipo.

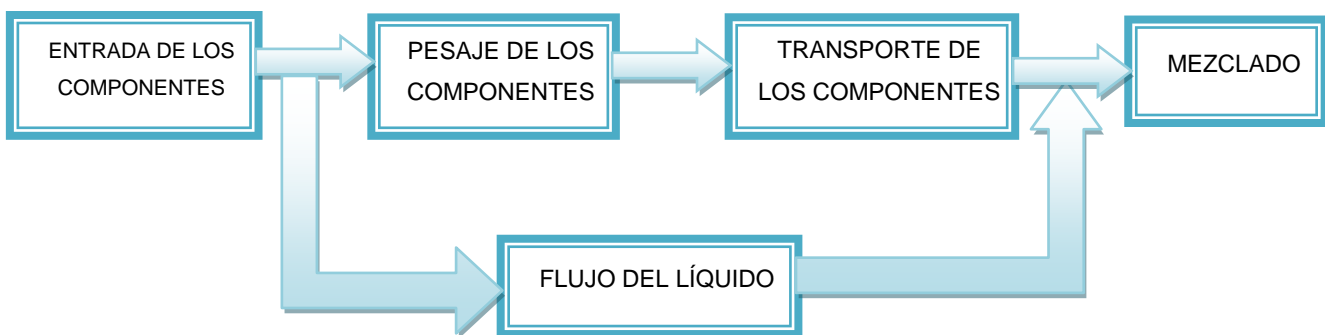


Figura 74. Diagrama de bloques del proceso
Fuente autores

VARIABLE	INSTRUMENTO
Peso	Celda de carga tipo flexión de viga una capacidad hasta 15 kg
Volumen	Sensor ultrasónico con capacidad hasta 40 cm de alcance.
Nivel	Sensores de proximidad capacitivos de tres hilos con capacidad de 2,5 cm de alcance

Tabla 11. Instrumentos de control
Fuente autores

La ubicación y distribución de los instrumentos de control y actuadores que se utilizan en la maquina dosificadora y mezcladora se muestran en la Figura 75según el proceso de diseño y ensamble del prototipo didáctico.

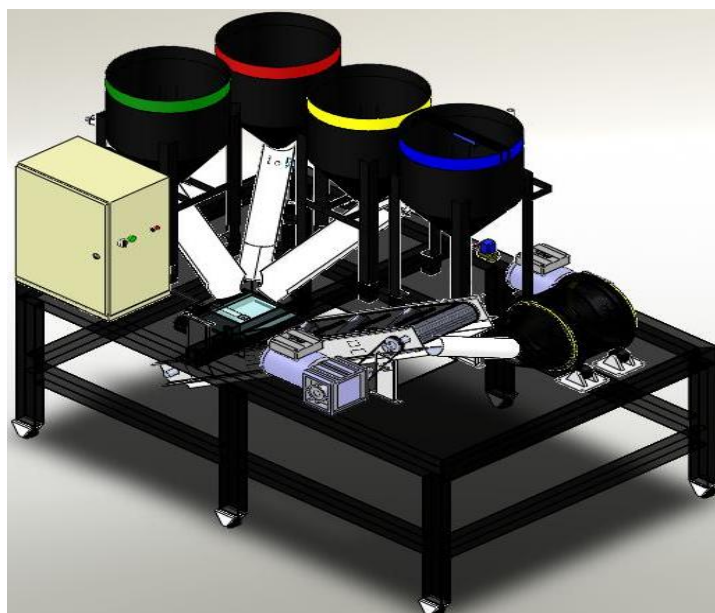


Figura 75. Dosificadora y mezcladora
Fuente autores

4.3 ELEMENTOS ACTUADORES

Los elementos actuadores tienen la función de ejecutar acciones para generar un efecto sobre el proceso automatizado cumpliendo así con las condiciones requeridas por el prototipo. La selección de estos instrumentos depende de las características del sistema. En la tabla 12 se nombran los elementos finales de control en el proceso.

SISTEMA	COMPONENTES	ACTUADOR
Neumático	Gobierna los cilindros, para la salida de los productos en las tolvas y el descargue del material a la banda transportadora. Los cilindros son de 20 mm de diámetro y recorridos entre 100 y 300 mm.	4 Electroválvula
Transmisión de potencia	Gobiernan la banda transportadora y la mezcladora con salidas de 41 y 28 rpm con capacidad de ½ HP cada uno	2 motoreductores

Tabla 12. Elementos finales de control
Fuente autores

Los elementos actuadores manejan señales de potencia de 110 VAC y 220 VAC, por este motivo se implementan dispositivos de resguardo que permitan la adecuada funcionalidad de los equipos que manejan las señales de control. La protección eléctrica para sobrecargas y cortocircuitos se instala en el gabinete principal, en el gabinete remoto y en el gabinete de paso ubicado en el prototipo como se muestra en la figura 76.

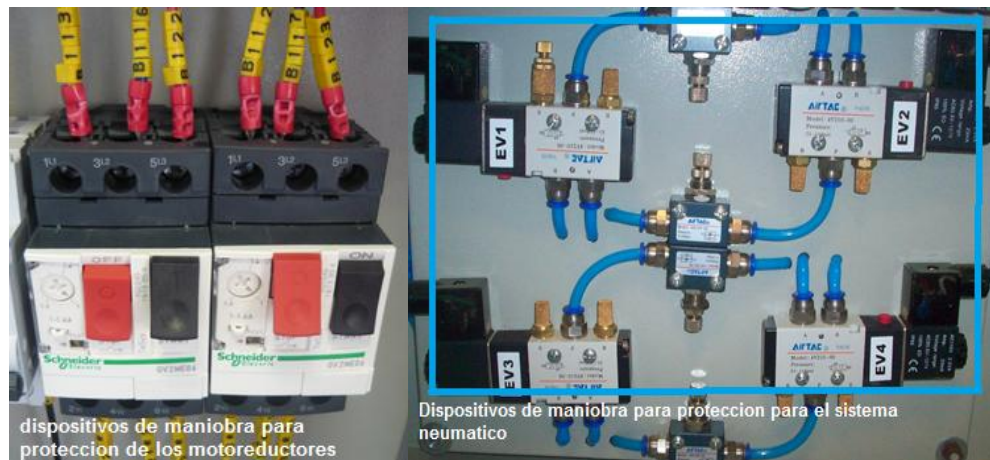


Figura 76. Dispositivos de maniobra para protección
Fuente de Autores

Según se menciona en el subcapítulo anterior se plantea la automatización del prototipo evaluando las señales eléctricas en cada etapa del proceso, con la instrumentación apropiada, según los requerimientos operativos que se planteen. Cabe resaltar que el prototipo didáctico diseñado está relacionado con

operaciones de dosificación y mezcla de productos a granel y líquidos. Diferenciar entre la parte operativa y la parte de mando es una de las bondades de este dispositivo, por cuanto el uso de un panel de control da al operador la posibilidad de manipulación manual o semiautomática del proceso.

Esta parte de mando se realiza por medio de una interfaz gráfica HMI, que permite manipular las variables, en este caso, el tiempo de mezcla, el peso de los componentes a granel y el volumen del líquido, obtenidas por las señales eléctricas de los instrumentos del sistema de pesaje, sistema de volumen, sistema de transporte y el sistema de mezcla. Para entender cada uno de los elementos se hace una descripción de los sistemas que intervienen.

4.3.1 Sistema de Pesaje

El sistema de pesaje es el encargado de determinar la adecuada dosificación de los componentes a granel, y está compuesto, además de los respectivos tanques de almacenamiento, por una celda de carga de flexión de viga, que recibe el producto que proviene de cada tanque.

La señal eléctrica de la celda es enviada al sistema de control por medio de un transmisor que acondiciona la señal a la entrada del PLC, el cual permite comandar la neumática dispuesta para el cierre de los tanques y la descarga del producto. El mando activa una electroválvula para gobernar el cilindro que acciona la compuerta de cierre del descargue de cada uno de los componentes, una vez alcanzado el peso deseado. Este sistema se encarga de pesar 3 componentes a granel dependiendo de la mezcla a utilizar, quedando así claro que se puede utilizar los 3 componentes o solo 1 o 2 de ellos dependiendo del tipo de mezcla.. En la Figura 77 se muestra este sistema.

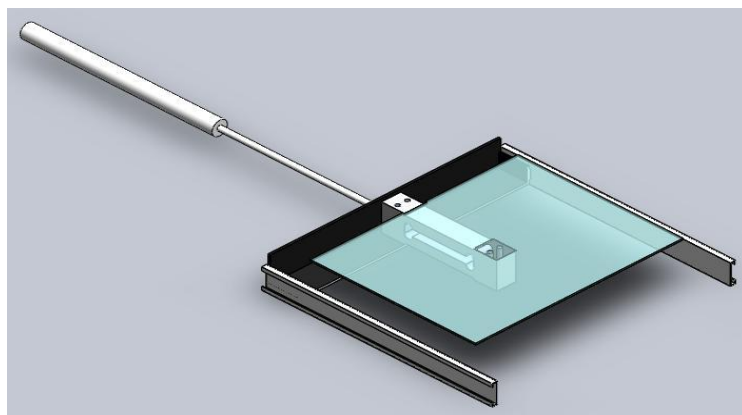


Figura 77. Sistema de Pesaje
Fuente autores

4.3.2 Sistema de Volumen

El sistema de volumen es el encargado de determinar la adecuada dosificación del componente líquido, el cual está compuesto por el tanque de almacenamiento, el sensor ultrasónico que permite tener el volumen del líquido mediante la ecuación del cilindro, una llave manual y por un solenoide que da la orden de salida del producto.

El sensor envía una señal análoga al sistema de control obteniendo el volumen requerido por el operador, esta señal no necesita un acondicionamiento debido a que la entrega estandarizada al PLC. Este tanque de almacenamiento a la salida posee una electroválvula solenoide para controlar el momento de la salida del líquido y el cierre del tanque. Antes de este se ubica una válvula manual debido a que el solenoide es normalmente abierto para evitar el flujo de agua en el momento que haya una falla en el sistema. A la salida se tiene un acople de tubería que llega al sistema de mezcla como se muestra en la figura 78.

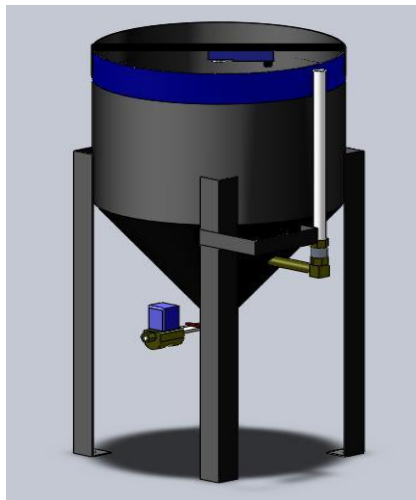


Figura 78. Sistema de Volumen
Fuente autores

4.3.3 Sistema de Transporte de Material

El sistema de transporte de material es el encargado de llevar los componentes a granel después de adquirir el peso solicitado por el operario, hasta el sistema de mezcla, está compuesto por una banda transportadora nervada sobre rodillos y un motoreductor.

La banda tiene acoplado un motor trifásico con solo un sentido de giro positivo, transmitiendo potencia por un sistema de polea-correa. Al final de la banda se tiene una canaleta, encargada de deslizar los productos al sistema de mezcla como se muestra en la figura 79.

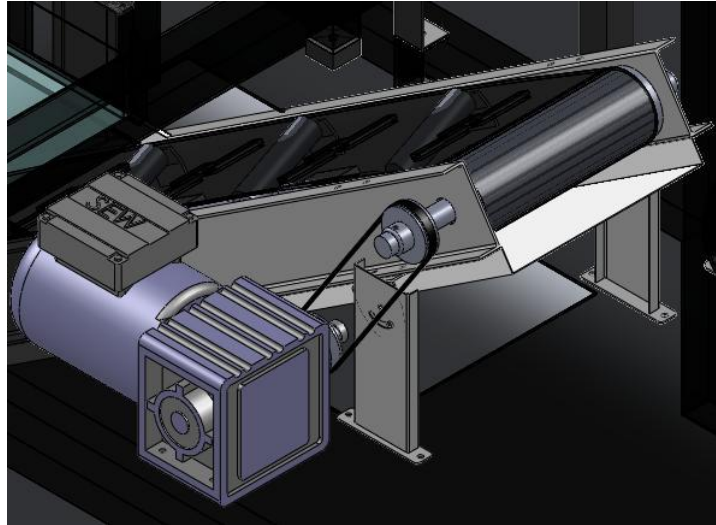


Figura 79. Sistema de Transporte
Fuente autores

4.3.4 Sistema de Mezcla

El sistema de mezcla es el encargado de realiza una buena mezcla entre los componentes a granel y el líquido por un tiempo determinado. Está compuesto por una mezcladora tipo tambor y un motoreductor, esta recibe el producto que proviene de la banda transportadora.

La mezcladora tiene acoplado un motor trifásico con doble sentido de giro, por el tornillo sin fin que tiene en su interior cumple que en el giro positivo mezcle los productos y en el giro negativo devuelva ya el material permitiendo la descarga. En la figura 80 se muestra este sistema con sus diferentes acoples.

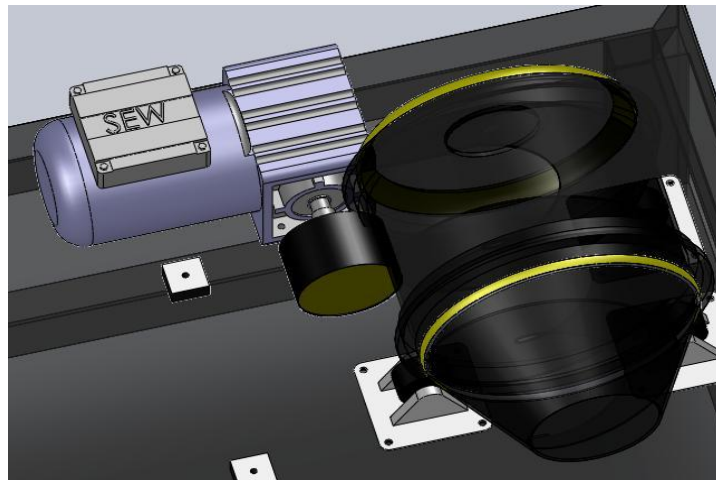


Figura 80. Sistema de mezcla
Fuente autores

En la figura 81 se muestra el acople de estos sistemas al prototipo involucrado en el proceso de automatización para una dosificadora y mezcladora de 4 componentes 3 de ellos a granel y 1 liquido.

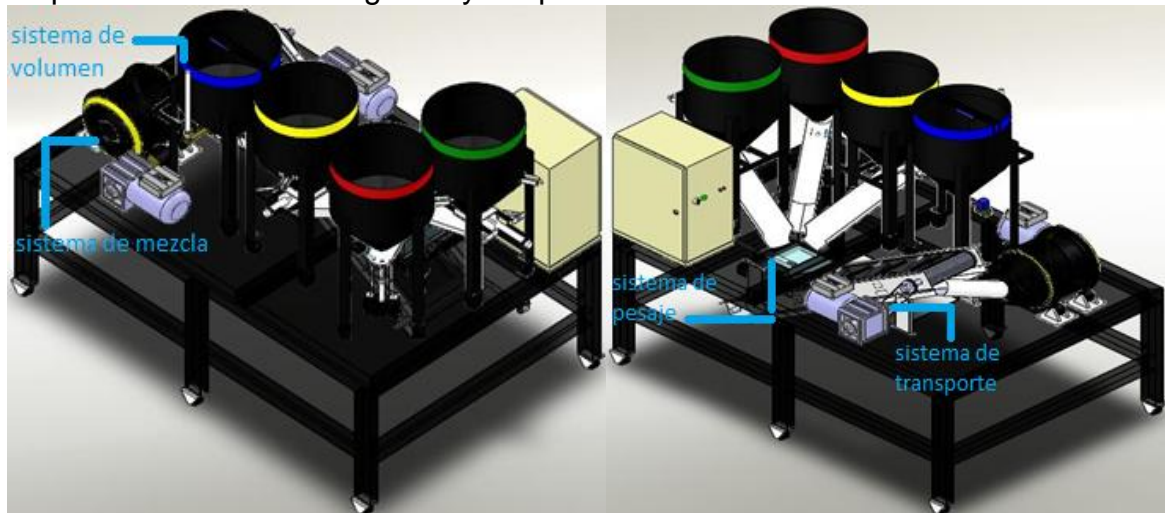


Figura 81. Acople de los sistemas a la maquina
Fuente autores

Los actuadores y sistemas de control tienen sus diferentes elementos para la automatización, en el siguiente subcapítulo se explicara brevemente las señales eléctricas que envían y la instrumentación utilizada en el proceso de la dosificación y mezcla de 4 componentes.

4.4 INSTRUMENTACIÓN

La instrumentación es un conjunto de elementos eléctricos, neumáticos e hidráulicos, en estos se encuentran los sensores y los actuadores que se encargan de automatizar la máquina dándole mejor rendimiento, obteniendo un menor costo y mayor tiempo de realización del producto en la industria.

Los sensores son los encargados de medir las variables físicas que en este caso son el peso y el volumen, algunos de estos necesitan de transmisores para convertir la medida en una señal estándar debido que los controladores lógicos programables tienen señales de estándares como son de -10VDC a 10VDC, 0 a 5 VDC, 0 a 24 VDC, 0 a 20mA y 4 a 20 mA. Los actuadores reciben la orden de los reguladores o controladores y dan la salida necesaria para generar el impulso solicitado, dentro del parámetro definido por el operario a través de la acción de control.

En la instrumentación que se realiza para el proceso de la dosificación y mezclado de 4 componentes, se toma en cuenta dos variables físicas las cuales son: peso y volumen, para tener un buen control y funcionamiento de la maquina

se realiza la supervisión de estas variables por medio de las señales eléctricas del proceso explicada en la tabla 13.

INVENTARIO DE SEÑALES DEL PROCESO		
ENTRADAS DIGITALES		
INSTRUMENTO	SEÑAL DE CONTROL	DESCRIPCIÓN
Sensor Capacitivo	0-24 VDC	Detector del nivel mínimo en cada tolva
Llave Selectora	0-24 VDC	Trabaja como el inicio o arranque y el stop o parada de emergencia del proceso.
Led indicador	0-24 VDC	Indica el inicio del proceso para mejor manejo del operador.
SALIDAS DIGITALES		
Electroválvula 1(cilindro 1)	0-110 VAC	Activa el descargue de los componentes a granel.
Electroválvula 2(cilindro 2)	0-110 VAC	Se encarga del sellado en la tolva de cemento para obtener el peso deseado por el operador.
Electroválvula 3(cilindro 3)	0-110 VAC	Se encarga de hacer fluir la piedra ya que esta queda atascada en la tolva. Para obtener el peso deseado por el operador.
Electroválvula 4(cilindro 4)	0-110 VAC	Se encarga del sellado en la tolva de la arena para obtener el peso deseado por el operador.
Motor 1	0-220 VAC	Gira en el sentido horario, es el encargado de mover la banda transportadora.
Motor 2	0-220 VAC	Gira en el sentido horario y antihorario, es el encargado de mezclar y en la descarga del material.
Electroválvula solenoide ON-OFF	0-110 VAC	Se encarga de hacer el control del flujo al cuenta litros.
ENTRADAS ANÁLOGAS		
Celda de carga con el transmisor 4 a 20mA	4 a 20mA	Es la encargada de dar el peso de cada componente a granel, tiene un transmisor para convertir la señal a una estándar para el PLC
Sensor ultrasónico	4 a 20mA	Es el encargado de dar el volumen en la tolva del líquido.

Tabla 13. Inventario de señales del proceso
Fuente autores

4.4.1 Sensor Capacitivo: Este sensor es un condensador variable, cuando el objeto esta frente a él se produce una especie de campo electrostático, variando así la señal de salida, si es NPN cambia de 1 a 0 y si PNP cambia de 0 a 1.

El sensor capacitivo instalado en el prototipo [figura 82] referencia CM12-3004NA, para ver más especificaciones ir al Anexo F; permite tener el valor mínimo en cada tolva tanto las de granel y la del líquido para así optimizar el proceso y garantizar tener más de un producto por proceso. Este sensor es NPN lo cual quiere decir que trabaja a +24 VDC, para llevarlo directo a la entrada digital del PLC se hace necesario adaptarle un circuito para que este se vuelva PNP y trabaje con referencia a la fuente. Lo único que cambia es que en el programa se niegan las instrucciones para este sensor. En la figura 83 se muestra el circuito implementado en la salida del sensor. Otro sensor que se pensó en el diseño preliminar fueron los finales de carreras, pero presenta inconvenientes con los componentes finos. Así que se replanteo el diseño obteniendo así el mejor uso del sensor capacitivo.



Figura 82. Sensor capacitivo
Fuente autores

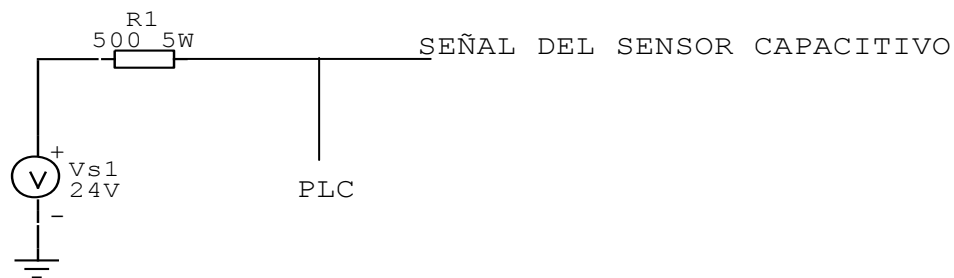


Figura 83. Circuito acondicionamiento de señal
Fuente autores

4.4.2 Llave Selectora: Esta llave tiene dos estados los cuales dejan pasar el flujo de corriente o lo interrumpen, en la industria existen llaves selectoras normalmente cerradas (NC) que sin cambiarla de posición esta no permite el flujo de corriente y las normalmente abiertas (NA) que sin cambiar su posición estas permiten el flujo

de corriente, cuando se cambia de posición estas llaves cambian su estado a NA y NC respectivamente.

En el proceso se tiene solo una llave selectora ubicado en el gabinete de paso, la cual es Normalmente Cerrada, referencial EC/EN 60847-5- como se muestra en la figura 84; la función de esta llave es:

- Cuando esta normalmente cerrado funciona como el stop o parada de emergencia en el proceso.
- Cuando esta normalmente abierto funciona como el inicio o arranque del proceso.



Figura 84. Llave selectora
Fuente autores

Esta llave se utiliza debido a que las entradas de los módulos digitales adaptadas al PAC ya se encuentran ocupadas en otros procesos localizados en el laboratorio de Automatización Industrial.

4.4.3 Led indicador: Es un dispositivo que emite luz cuando circula por él una corriente eléctrica, en este caso la corriente eléctrica se la va a proporcionar la llave selectora, debido a que el diodo emisor es el encargado de informar que el proceso está en funcionamiento. Se instala este led indicador para efectos de buen manejo del prototipo para el operador.

Este led indicador se encuentra en el gabinete de paso ubicado en la maquina en la figura 85 se muestra.



Figura 85. Led Indicador
Fuente autores

4.4.4 Electroválvula: Está diseñada para controlar el flujo a través de ella por medio de una corriente eléctrica dada por la bobina solenoide ubicada en su interior. Esta bobina se activa cuando se da la orden por medio de una señal de control.

En el proceso de pesaje y en el sellado se tiene 4 electroválvulas, la primera es nombrada EV1 la cual es 5/3 se encarga del descargue de la celda de carga a la banda transportadora, la segunda es nombrada EV2 la cual es 5/3 se encarga del sello en la tolva de cemento así mismo trabaja la cuarta llamada EV4 en la tolva de arena. La tercera es nombrada EV3 encargada de hacer fluir la piedra de la tolva a la canaleta instala en ella. En la figura 86 se muestran las 4 electroválvulas ubicadas en el gabinete de paso con sus respectivos reguladores de presión. Para encontrar más especificaciones sobre estas electroválvulas referirse al Anexo G.



Figura 86. Distribución de electroválvulas
Fuente autores

4.4.5 Motores: Los motores trifásicos tiene una carga la cual hace que se consuma lo mismo en la tres fases conectados a él, este transforma la energía eléctrica en energía mecánica creando así movimientos circulares en el rotor.

En el proceso de transporte y mezcla se encuentran dos motores trifásicos acoplados por un sistema de correa-polea y de fricción, estos hacen girar la banda transportadora y la mezcladora, uno con un solo sentido de giro y el otro con doble sentido de giro. En la figura 87 se muestran cada uno de estos motores con su respectivo sistema de acople.

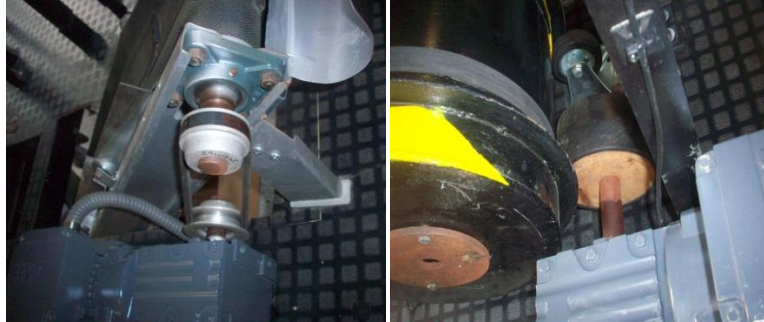


Figura 87. Motores trifásicos
Fuente autores

En la tabla 14 se muestran algunas especificaciones de los motores que se utilizan en la automatización del prototipo para mayores especificaciones referirse al anexo H, dejando claro que estas se encuentran en la placa que trae el mismo motor:

NOMBRE	FUNCIONAMIENTO	ALIMENTACIÓN	FRECUENCIA	POTENCIA	RPM
Motor 1	Mover la banda transportadora en un solo sentido de giro	220V	60 HZ	½ HP	41 rpm
Motor 2	Mover la mezcladora con doble sentido de giro.	220V	60 HZ	½ HP	28 rpm

Tabla 14. Especificaciones de los Motores Trifásicos
Fuente autores

4.4.6 Válvula solenoide ON-OFF: Es un dispositivo mecánico que utiliza una pieza móvil para regular el paso de cualquier fluido, estas válvulas son On-Off. Tiene un solenoide que es el encargado de hacer fluir el líquido al darle un pulso de señal eléctrica o de control.

La válvula se utiliza con el fin de controlar el sellado del tanque de almacenamiento y para el paso del líquido en el momento que se envía la orden por el mando de control, para que actúe por ciertos lapsos de tiempo según las especificaciones de la mezcla. Esta válvula es normalmente abierta (NA) modelo EV220B como se muestra en la figura 88 para más especificaciones referirse al Anexo N, esta válvula se cierra cuando se interrumpe la corriente por medio del solenoide instalado sobre ella.

Dejando claro que la válvula manual que se ve antes de la electroválvula solenoide se utiliza para el momento que se vaya la luz o resulte un inconveniente poder cerrar esta tolva para evitar el flujo del líquido y para el lavado de la mezcladora.



Figura 88. Válvula Solenoide
Fuente autores

4.4.7 Celda de carga: Es un sensor de peso que trabaja por medio de flexión en una de sus puntas, es marca LEXUS modelo: SP04-AL-UW-15Kg para más especificaciones ir al Anexo I.

Este sensor es el encargado de pesar los componentes a granel, la salida está dada en milivoltios, la cual no es una señal estándar para el PLC. Para solucionar esto a la salida de la celda de carga se tiene un transmisor de señal de 4 a 20mA, esta señal ya puede llegar al sistema de control utilizado en el proyecto. En la figura 89 se muestra la celda de carga con el transmisor acoplado.

Otra opción que se planteó en el diseño preliminar es la celda de carga tipo S ya que están son las más aptas para el pesaje de tolvas sin importar variaciones o tipos de componentes.



Figura 89. Celda de carga con transmisor
Fuente autores

4.4.8 Sensor Ultrasónico: Este es un sensor de flujo utilizado para manipular la cantidad de líquido necesario en la mezcla a realizar. Es marca Instrumatic serie ARK, su salida es análoga la cual está entre un rango de 4 a 20mA, Se alimente a 24VDC. Para mayor información referirse al anexo J. A la salida del tanque almacenador se instaló una electroválvula para controlar el flujo de agua necesario para la mezcla. En la figura 58 se muestra toda su conexión necesaria y la válvula manual junto al solenoide.

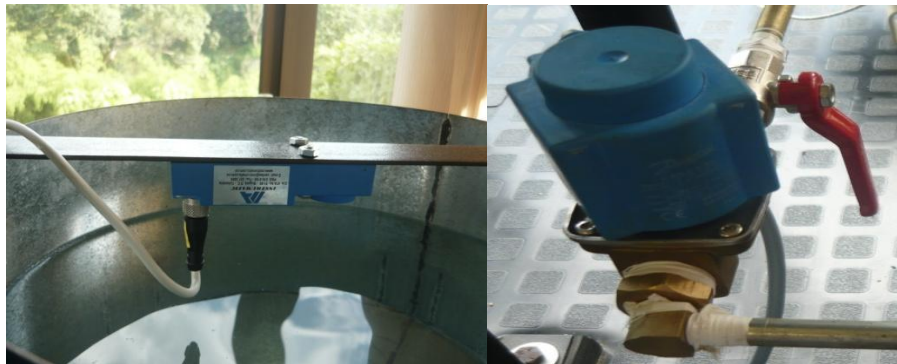


Figura 90. Sensor Ultrasónico
Fuente autores

4.4.9 Sistemas de Protección: Todos estos elementos de control tienen su respectivo sistema de protección para evitar cualquier daño al equipo, el cual impide el paso de corriente en cualquier falla del sistema.

- **Relés electromagnéticos:** Se energiza a través de una bobina para accionar los contactos eléctricos permitiendo el flujo de corriente, se utilizan para aislar la señal de potencia con la que se activa el elemento final de control.

Permitiendo manejar circuitos de potencia alta o baja, estos relés se encuentran en el gabinete remoto, en el proyecto los relés se utilizan para controlar los siguientes elementos, que se muestran en la tabla 15.


RELÉ No	ELEMENTO FINAL DE CONTROL	IMAGEN
28	Controla la electroválvula 1 (EV1) (ver figura 91)	 <p>FIGURA 91 [12]</p>
27	Controla la electroválvula 2 (EV2) (ver figura 91)	
26	Controla la electroválvula 3 (EV3) (ver figura 91)	
25	Controla la electroválvula 4 (EV4) (ver figura 91)	
24	Controla la electroválvula Solenoide. (ver figura 91)	
29	Controla el contactor del motor 1. (ver figura 91)	
30	Controla el contactor del motor 2 en el sentido de giro negativo. (Ver figura 91)	
31	Controla el contactor del motor 2 en el sentido de giro positivo. (ver figura 91)	

Tabla 15. Relés que controlan los diferentes elementos de control

Fuente autores

- Contactador:** Es un interruptor que a partir de una pequeña corriente puede manejar grandes corrientes, su función principal es el interrumpir o dejar fluir el paso de corriente. Esto lo consigue la bobina asociado la cual es energizada por un relé electromagnético, que se maneja desde el mando de control. Se utilizan contactores normalmente cerrados (NC) para manipular el arranque de los motores en el momento indicado. Estos contactores son para proteger el motor de la potencia nominal que tiene en el arranque y en el cambio de giro, están energizados a 220 VAC. En la figura 92 se muestran los diferentes contactores ubicados en el gabinete de paso.



Figura 92. Contactor
Fuente autores

- Guardamotor:** Está diseñado para proteger los motores eléctricos de la sobreintensidad que se produce en el arranque, a sobrecargas y alguna falla que pueda existir en el circuito, interrumpiendo el flujo de corriente. Se encuentran en el gabinete principal alimentado a 220 VAC, brindando este voltaje al contactor para el paso al motor vinculado a él. Estos guardamotores regulan de 1 a 1.6 A para la protección. Para mayor especificación referirse al anexo K. En la figura 93 se muestran los guardamotores.



Figura 93. Guardamotores
Fuente autores

4.5 CABLEADO ELÉCTRICO DEL PROTOTIPO DIDÁCTICO

El prototipo cuenta con 3 gabinetes, en el gabinete principal se encuentra una etapa de control, etapa de acondicionamiento de señal, etapa de potencia y etapa de comunicación.

En la etapa de control se encuentra el PLC Controllogix 5562 que es el encargado de ejecutar las ordenes enviadas por el operador, en la etapa de comunicación se

encuentra el Stratix 8000 que es el encargado de comunicar el gabinete principal con el gabinete remoto, en la etapa de acondicionamiento de señal se encuentra los dispositivos de protección y en la etapa de potencia se encuentra la alimentación para los módulos y elementos necesaria.

En el gabinete remoto se encuentra una etapa de control, etapa de acondicionamiento de señal y una etapa de potencia. En la etapa de control se encuentra los módulos de entradas y salidas digitales y análogas que se utilizan en el proceso con referencia 1734-AENT, en la etapa de potencia se encuentra la alimentación para los módulos y elementos, y en la etapa de acondicionamiento de señal se encuentra los dispositivos de protección.

En el gabinete de paso se encuentra una etapa de control y una etapa de neumática. El cableado desde los elementos de control hasta el gabinete de paso se realiza por medio de canaleta ubicada en la parte inferior de la mesa para dar mejor presentación al prototipo.

Se realiza la separación de señales de potencia, señales de control y la neumática, para evitar el ruido a la hora de toma de datos al PLC por medio de canaleta. Esta canaleta protege los instrumentos de cual falla con cables pelados o cualquier imperfectos y mugre que tenga el prototipo. En la figura 94 se muestra la canaleta hasta el gabinete de paso. Para efectos de mantenimiento en la maquina el cable de los motores, sensores capacitivos, válvula solenoide y celda de carga se dejan un poco más largos para facilitar el movimiento.



Figura 94. Canaleta del prototipo
Fuente autores

Las señales enviadas del gabinete de paso al gabinete remoto y gabinete principal se hacen por medio de cable de instrumentación teniendo en cuenta la norma AWG, este cable se envía por medio de tubería Flexiconduit con sus respectivos codos separando las señales de control de las señales de potencia y neumática como se muestra en la figura 95.



Figura 95. Conexión entre los gabinetes
Fuente autores

Para el cableado de los elementos a los gabinetes se realiza un estudio de las bornas necesarias, de los metros de cable y los colores de estos, de marcaciones y espacio de los elementos que se ubican en el interior. Se realiza un plano eléctrico que se muestra en la figura 96 para mejor visualización referirse al Anexo K, donde se muestra las respectivas marcaciones necesarias para diferenciar el punto donde llega y hacia dónde va la señal.

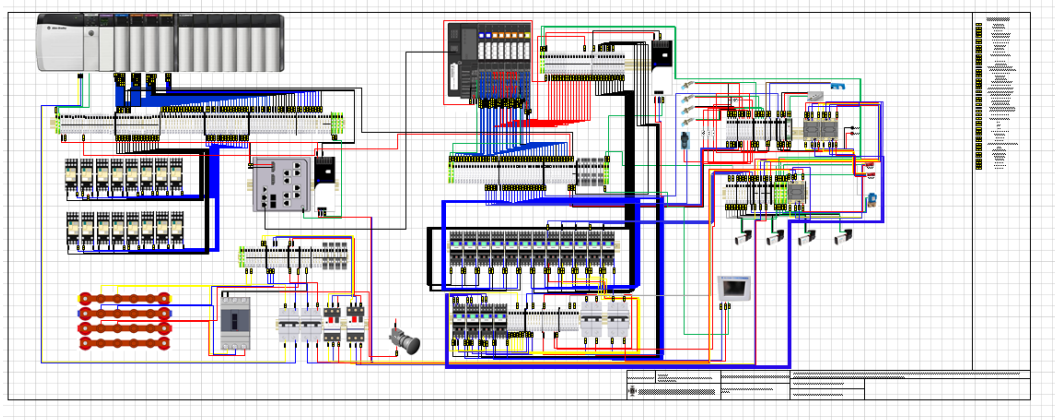


Figura 96. Plano eléctrico del Proceso
Fuente autores

4.6 PROGRAMACIÓN

Para controlar las variables de peso y volumen se desarrolla un control On- Off manipulado desde el PC y por medio de una interfaz gráfica, observando el cambio en los actuadores y elementos de control.

En la interfaz gráfica se realiza un control automático del proceso, como la acción de inicio del proceso o la parada debido a que estos botones se encuentran relacionados con la dirección de entrada que maneja el PLC. Si desea que el control sea manual solo es interactuar la llave selectora.

Todos los elementos de control tienen condiciones iniciales como se muestra en la tabla 16, se deben verificar antes de dar inicio al programa. Estas condiciones se muestran en la interfaz gráfica para que operador las tenga presente.

ELEMENTO	CONDICIÓN
Cilindros neumáticos 1,2,3 y 4 Sensores Capacitivos 1,2,3 y 4	Deben estar abiertos para que cierren las tolvas y el sistema de pesaje.
Sistema de Pesaje	Verificar si le está entregando señal al PLC. El sistema de pesaje debe estar limpio y proporcionando señal al PLC, esto se verifica al cargar el programa, seguido a esto se ve en la función del multiplicador la señal que le está entregando el transmisor al PLC, convertido en kilogramos.
Componentes	Necesariamente por el material de las tolvas deben estar secos, para un mejor funcionamiento y evitar el desperdicio de estos.
Producto 4	Se debe garantizar que el líquido sea agua para evitar cambiar la programación y las condiciones de la tolva.
Guardamotores	Los guardamotores deben estar encendidos para dar paso de corriente al contactor y así enviarla a los motores.

Tabla 16. Condiciones iniciales
Fuente Autores

La programación se realiza en el software de Rockwell Rslogix 5000, este software requiere de una configuración para los módulos de entradas y salidas tanto digitales como análogas, el programa para la interfaz gráfica es el Factory Talk View, este requiere de una configuración predeterminada las cuales tienen lugar en los trabajos de grados titulados Implementación del Sistema de control tecnología Rockwell Automation[34] y Diseño e implementación del sistema ScadaFactory Talk View de Allen Bradley a una máquina prototipo de embalaje en el laboratorio de Automatización de Procesos de la Universidad Pontificia Bolivariana[35] respectivamente.

4.6.1 Configuración del control de la dosificadora y mezcladora de 4 componentes.

Como todo controlador necesita una configuración de la comunicación para llevar a cabo el proceso deseado. Se solicita al iniciar el software RSLogix 5000 la configuración de cada módulo que se reconocen en el programa RSLinxClassic. Para llevar a cabo esto sin tener error en la revisión de cada uno de los módulos se debe seguir los pasos nombrados en el trabajo de grado titulado Implementación del Sistema de Control Tecnología Rockwell Automation en el laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana.

En la figura 97 se muestra la configuración adquirida al iniciar el programa RSLinxClassic Gateway, esta configuración es reconocida por el programa sin necesidad de hacerle ningún cambio solo hay que garantizar que todos los módulos del PAC estén encendidos. Si existe algún error en los módulos se verá en el RSLinx con una X roja sobre este, se debe proceder al manual para reparar el error que se presente.

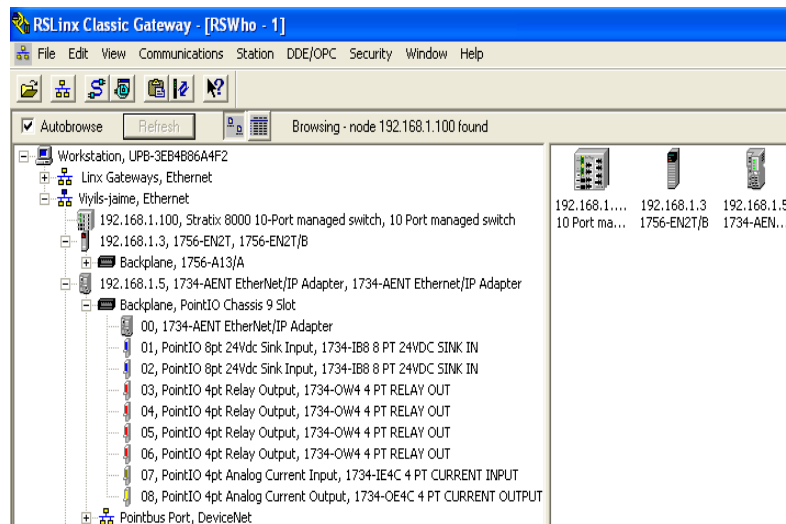


Figura 97. Configuración en el RSLinxClassic.
Fuente aurotes

Después de garantizar que la comunicación se establezca y que todos los módulos estén funcionando se procede a configurar los módulos de entrada y salidas tanto digitales como análogos en el programa RSLogix 5000 para seguir estos pasos de configuración referirse al trabajo de grado titulado Implementación del Sistema de Control Tecnología Rockwell Automation en el laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana [34]. En la figura 98 se muestra la configuración ya realizada lista para empezar a programar.

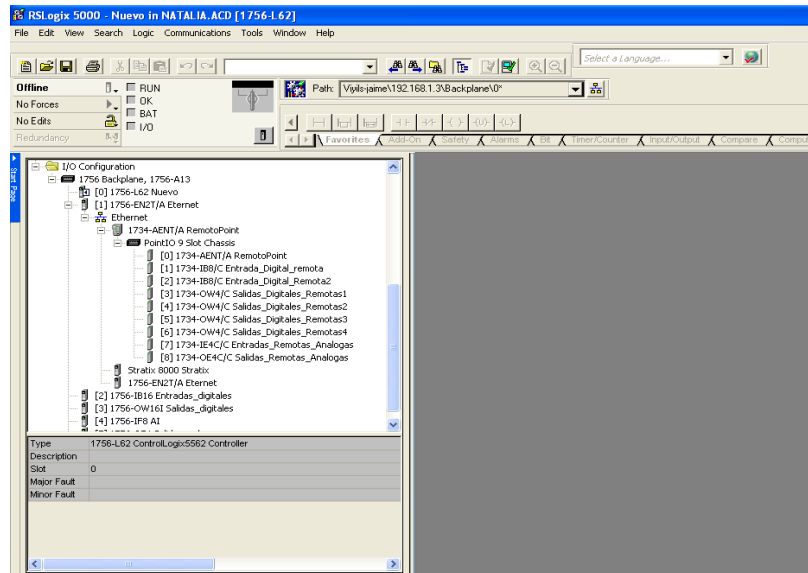


Figura 98. Comunicación entre los módulos y el RSLogix 5000.
Fuente autores

Después de haber realizado esta comunicación de los módulos se hace necesario configurar los puertos de entrada análogos para establecer qué tipo de señal va a recibir debido a que tiene varios rangos de entrada en este caso se tiene 2 entradas de corriente que se trabajan entre 4 a 20mA.

Para configurar estos puertos de entrada es necesario escoger el rango de entrada en CurrentRange, escoger el canal donde está conectado el elemento de control, el transmisor está en el canal 0 y el sensor ultrasónico en el canal 1. En highengineering se da el valor máximo para cuando marque 20mA que es 15Kg y 28 Litros. En Lowengineering se da el valor mínimo para cuando marque 4mA que es 0Kg y 0 Litros. En Real Time Sample se deja 100ms y en NotchFilter se deja 60Hz esto viene dado por el fabricante, como se muestra en la figura 99.

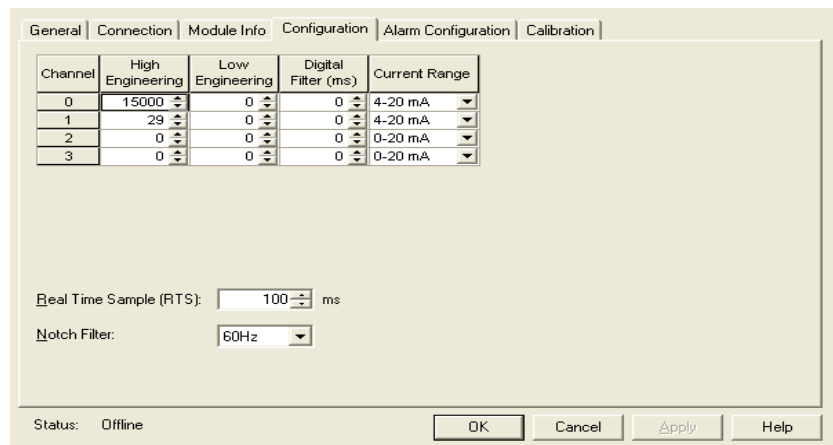


Figura 99. Configuración módulos análogos en corriente.
Fuente Autores

Finalizada la configuración de la comunicación entre gabinetes y puertos se procede a realizar el programa, en lenguaje de escalera o Ladder, para una mejor lectura, se muestra la lógica del programa en la figura 100 con el diagrama de bloques del proceso.

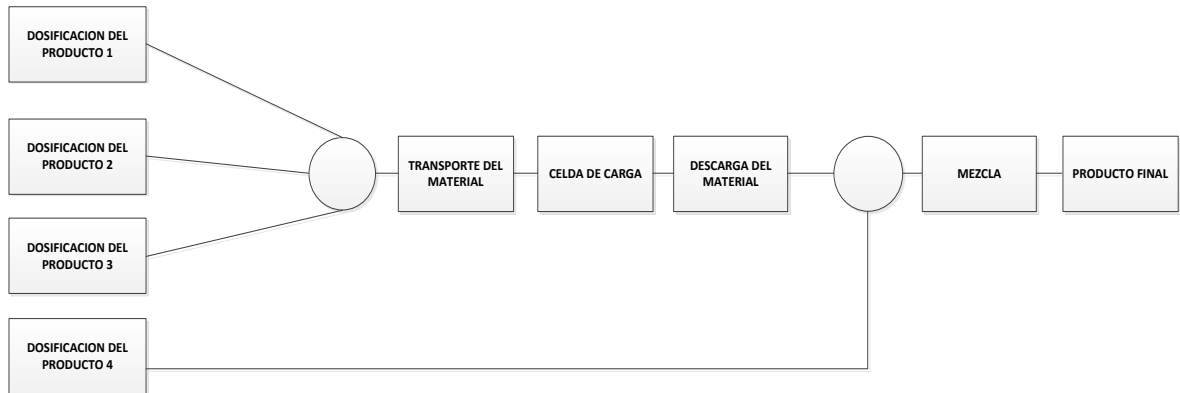


Figura 100. Diagrama de bloques de la lógica del proceso
Fuente autores

Ya obtenido el diagrama de bloques de la lógica del programa se procede hacer el cronograma de actividades de los elementos de control para tener el momento y el tiempo en el cual va hacer activado y desactivado cada uno de estos.

- C1: Cilindro de la celda de carga
- C2: Cilindro del sello del producto 3
- C3: Cilindro del sello del producto 2
- C4: Cilindro del sello del producto 1
- A: Peso en la celda
- B: Peso requerido por el operador

El timer 1 y el timer 2 son los tiempos que activan y desactivan el cilindro del producto 2, esto se hace necesario porque el granel grueso se compacta y la única forma de tener flujo es por medio de vibración o golpes en el tanque como fue explicado en el capítulo 3.

El timer 3, timer 5 y timer 7son los tiempos en la descarga de la celda de carga a la banda transportadora después de a ver adquirido el peso deseado por el operador.

El timer 4, timer 6 y timer 8 son los tiempos que se hace necesario para subir los productos mediante la banda trasportadora hasta el sistema de mezcla

En la tabla 17 se muestra el cronograma de actividades del proceso con sus respectivas abreviaciones y terminologías.

El multiplicador es debido a que la celda de carga no es la más adecuada para el proceso de dosificación por lo tanto tiene un error en la entrega de la señal, gracias a que la respuesta es lineal se calcula el error mediante pruebas y se llega a un error del 1.45% en la toma del peso.

La resta se realiza porque a la celda de carga se le adiciona una bandeja para facilitar la toma de datos pero esta logra un peso de 1.2Kg, y se debe quitar este peso de más al peso requerido por el operador.

Después de tener el cronograma se procede hacer la programación en RSLogix 5000 esta programación es tipo ladder y secuencial para facilitar el control de los actuadores y elementos del proceso.

		1PB	A>B	TIMER 1	TIMER 2	A>B	TIMER 3	TIMER 4	A>B	TIMER 5	TIMER 6	A>B	TIMMER 7	TIMER 8	TIMER 9
Multiplicador	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Resta 1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Resta 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Pulso	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Suma	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Resta 3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Banda	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Mezcla	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Válvula	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
C3-		X	X												
C3+				X											
C1-					X	X		X	X		X	X	X		
C1+							X			X				X	
C2-							X								
C2+								X							
C4-										X					
C4+											X				
Descarga															X

Tabla 17. Cronograma de Actividades
Fuente Autores

4.6.2 Programación Ladder

- Segmento 0:** Se encuentra el multiplicador, el cual se encarga de recibir la señal del puerto de la entrada análoga llamada RemotoPoint: 7:1:Ch0Data el cual se almacena en A, B es el error calculado del 1.45%, entre A y B se realiza esta operación. El resultado es enviado a la variable llamada peso deseado. También se encuentra la resta que se hace entre la variable del peso deseado y los 1200 del peso de la bandeja, el resultado es enviado a la variable llamada normal. Estas operaciones no tienen un contacto que las active, todo el tiempo están activas.

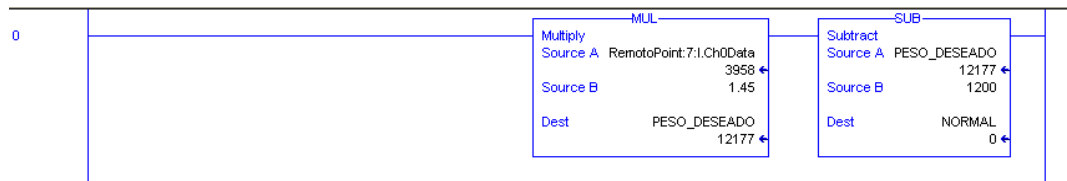


Figura 101. Segmento 0
Fuente Autores

- Segmento 1:** Se encuentra una resta entre los litros máximos que hay en la tolva puesto en A y la toma del dato del sensor ultrasónico puesto en B, esta resta se guarda en la variable nombrada resta_1.

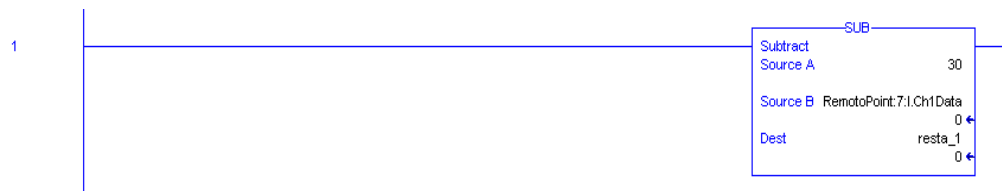


Figura 102. Segmento 1
Fuente Autores

- Segmento 2:** Se encuentra un contacto abierto llamado PB1, encargado de energizar el pulso que guarda el dato inicial del sensor ultrasónico, se utiliza este pulso debido a que no se garantiza que la tolva del líquido se encuentra llena todo el tiempo. El storage Bit es el nombre que se le da al pulso, este no afecta en nada. El Output Bit es la salida de este pulso que va a energizar el siguiente segmento.

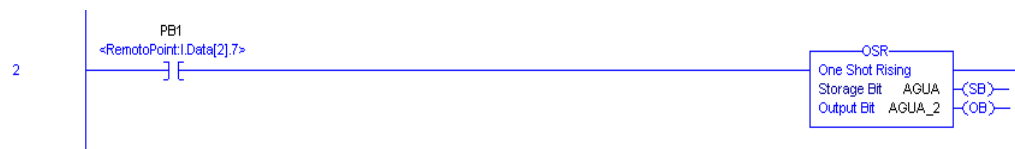


Figura 103. Segmento 2
Fuente Autores

- Segmento 7:** Se encuentra el contacto abierto que representa la entrada de la llave selectora nombrado como PB1 que corresponde al puerto RemotoPoint: 2: 1: 1. El cual da inicio al proceso, la entrada energiza la bobina llamada CR1, esta bobina tiene una memoria representada por el contacto en paralelo con el

PB1, este segmento lo desenergiza el contacto cerrado de CR3, CR6, CR7 y la parada de emergencia nombrada PB2

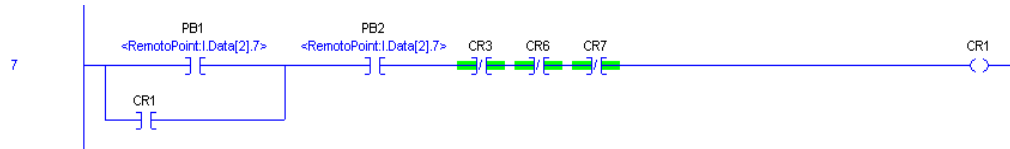


Figura 104. Segmento 7
Fuente Autores

- Segmento 8:** Se encuentra el comparador del Producto 2, este comparador lo energiza CR1, NORMAL es la variable obtenida en la resta puesta en A, en B se encuentra el valor requerido por el operador llamada PESO_REQUERIDO_1, este valor es el que se escribe en la Interfaz Gráfica del prototipo. El comparador energiza la bobina del CR2, posteriormente de haber adquirido el peso.

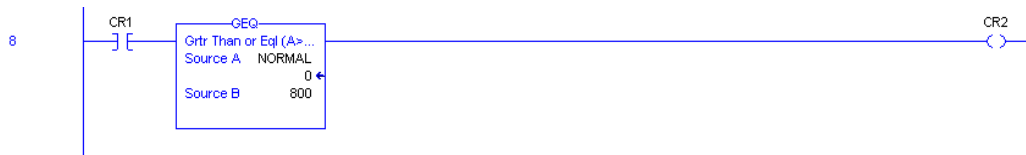


Figura 105. Segmento 8
Fuente Autores

- Segmento 9:** Se encuentra el Timer 1 de un conteo de 1s en el programa hay que introducir este dato en milisegundos, es energizado por el contacto abierto CR1 y desenergizado por el contacto cerrado del Timer 2 y el contacto de CR4. Este Timer es utilizado para la activación del cilindro del producto 2.

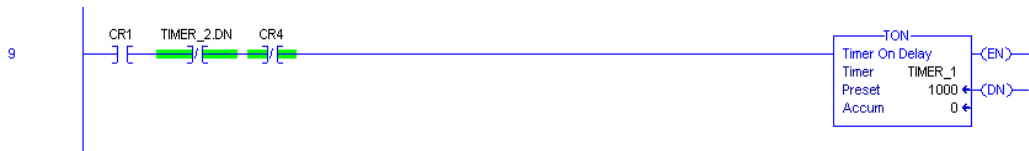


Figura 106. Segmento 9
Fuente Autores

- Segmento 10:** Se encuentra el Timer 2 de un conteo de 1s en el programa hay que introducir este dato en milisegundos, despues de que se cumpla el conteo del Timer 1, este es el encargado de energizar el Timer 2, representado por un contacto abierto. Es utilizado para la desactivación del cilindro del producto 2.

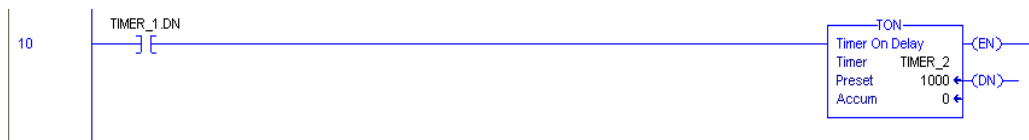


Figura 107. Segmento 10
Fuente Autores

- Segmento 11:** Se encuentra la salida del cilindro 1 representada por una bobina, llamada PISTÓN _PIEDRA, es una salida digital que corresponde al

puerto RemotoPoint: 5: O: 0, la bobina se energiza con el contacto abierto del Timer 1.

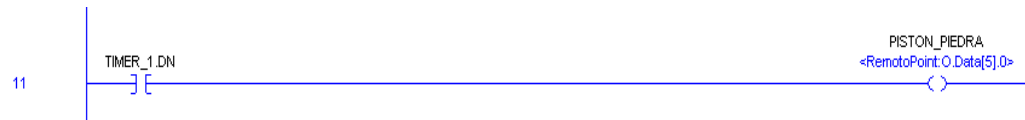


Figura 108. Segmento 11
Fuente Autores

- Segmento 12:** Se encuentran 2 contactores abiertos que representan las salidas del CR1 y el CR2, estos energizan la bobina llamada CR3, esto segmento se energiza hasta que ambos estén activos. Tiene una memoria en paralelo a los contactores de CR1 y CR2. Lo desenergiza los contactos cerrados de CR4, CR6 y la parada de emergencia llamada PB2. Se utiliza para la activación del cilindro encargado de la descarga del producto.

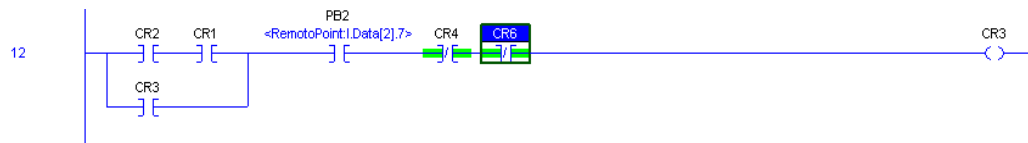


Figura 109. Segmento 12
Fuente Autores

Este segmento se repite igual para los productos 3 y 1, los contactos abiertos se llaman CR4, CR5 y CR7 y CR8. Las bobinas son las CR6 y CR9, son desenergizados por CR7, CR9 y CR10. Los segmentos en el programa son 19 y 25.

- Segmento 13:** Se encuentra la salida del cilindro encargado de la descarga del sistema de pesaje, llamado CELDA, es energizada por los contactos abiertos de CR3, CR6, CR9 cada uno en sus respectivos momentos. Lo desenergiza los contactos cerrados de los Timer 3, Timer 5 y Timer 7.

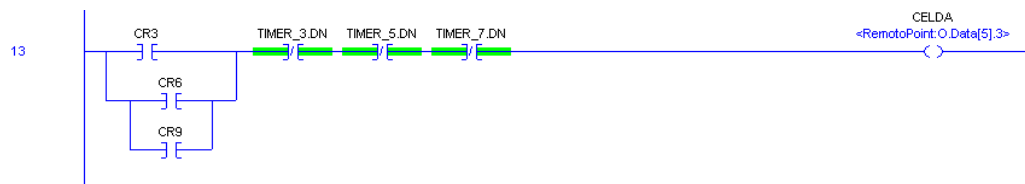


Figura 110. Segmento 13
Fuente Autores

- Segmento 18:** Se encuentra la salida del cilindro 3 representada por una bobina, llamada PISTÓN _ARENA, es una salida digital que corresponde al puerto RemotoPoint: 5: O: 1, la bobina se energiza con el contacto abierto del CR4.

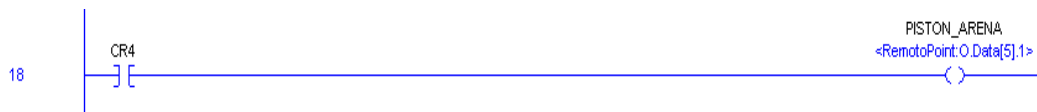


Figura 111. Segmento 18
Fuente Autores

- Segmento 23:** Se encuentra el comparador del Producto 1, este comparador lo energiza CR7, NORMAL es la variable obtenida en la resta puesta en A, en B se encuentra el valor requerido por el operador llamada PESO_REQUERIDO_3, este valor es el que se escribe en la Interfaz Gráfica del prototipo. El comparador energiza la bobina del CR8, posteriormente de haber adquirido el peso.

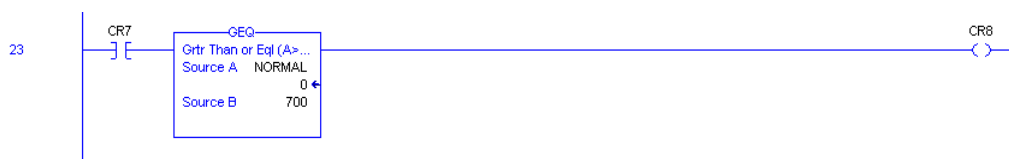


Figura 112. Segmento 23
Fuente Autores

- Segmento 24:** Se encuentra la salida del cilindro 2 representada por una bobina, llamada PISTÓN_CEMENTO, es una salida digital que corresponde al puerto RemotePoint: 5: O: 2, la bobina se energiza con el contacto abierto del CR7.

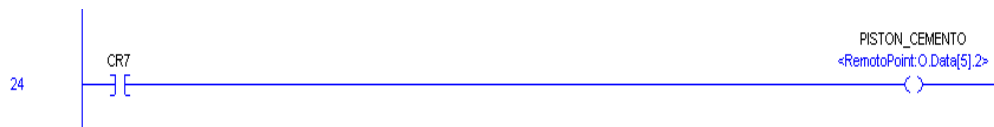


Figura 113. Segmento 24
Fuente Autores

- Segmento 29:** Se encuentra el contacto abierto de CR10 que energiza el TIMER_9, este es el encargado de desactivar el sistema de mezcla para que en el cambio de giro no presente problemas de corriente, también desactiva la banda transportadora y la válvula solenoide.

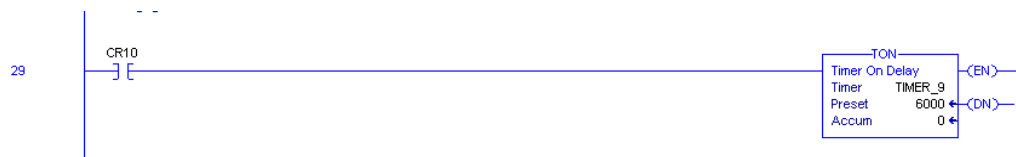


Figura 114. Segmento 29
Fuente Autores

- Segmento 30:** Se encuentra la salida del sistema de mezcla ya en el descargue llamado DESCARGA, que corresponde al puerto RemotePoint: O. Data [6]. 2. Lo activa el contacto abierto del TIMER_9, la descarga del material tiene un tiempo de 1 minuto representado en milisegundos.

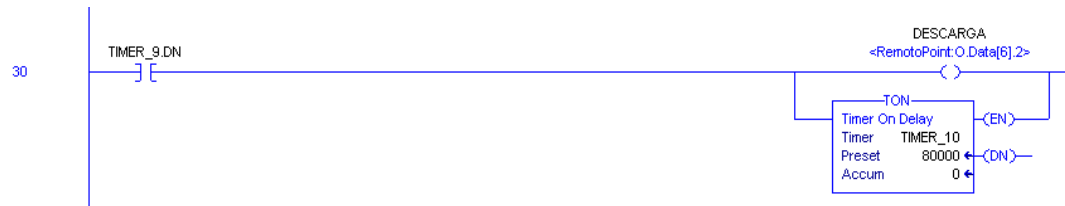


Figura 115. Segmento 30
Fuente Autores

4.6.3 Interfaz gráfica HMI (Human Machine Interfaz)

Se crea una interfaz gráfica con el fin de que el operador pueda controlar la mezcla según su criterio eligiendo el peso, volumen y tiempo de mezcla. Para esto él va acceder antes de dar inicio al programa a una pantalla como se muestran en la figura 116. Estas pantallas son creadas en el programa de Factory Talk View hay se enlazan las variables del programa explicado en el subcapítulo anterior.

En esta se encuentran 3 botones el INICIO DEL PROGRAMA, CONDICIONES INICIALES y el de salir llamado EXIT para poder volver a la pantalla de configuración del Factory Talk View.



Figura 116. Pantalla 1
Fuente autores

Debe primero asegurarse que las condiciones iniciales se cumplan estas se muestran en dos pantallas debido a la resolución que se tiene, en la primera pantalla se encuentran 2 botones el OVERVIEW que es el encargado de volver a la pantalla de presentación que se muestra en la figura 116 y el otro que envía a la segunda pantalla de condiciones iniciales llamado SIGUIENTE. Como se muestra en la figura 117.

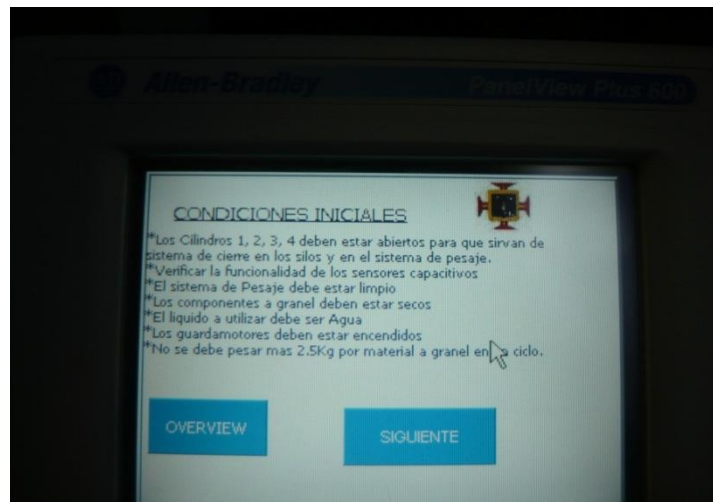


Figura 117. Pantalla 2
Fuente Autores

En la pantalla 3 siguen las condiciones iniciales esta tiene 2 botones uno de INICIO DE PROGRAMA que envía hacia la pantalla mostrada en la figura 118 y el otros llamado OVERVIEW que lleva a la pantalla de inicio del programa mostrada en la figura 116.

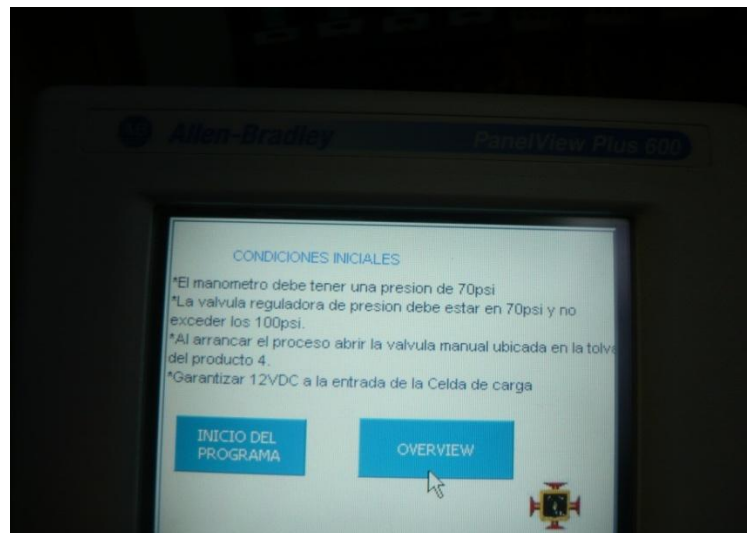


Figura 118. Pantalla 3
Fuente Autores

Se pasa a la pantalla de INICIO DEL PROGRAMA que se muestra en la figura 118, en esta pantalla el operador después de asegurarse que las condiciones iniciales se cumplan accede a dar el peso, volumen y tiempo de mezcla por medio del teclado mostrado en la figura. Estos botones están relacionados con las variables de PESO_REQUERIDO_1, PESO_REQUERIDO_2, PESO_REQUERIDO_3, LITROS Y TIEMPO DE MEZCLA.

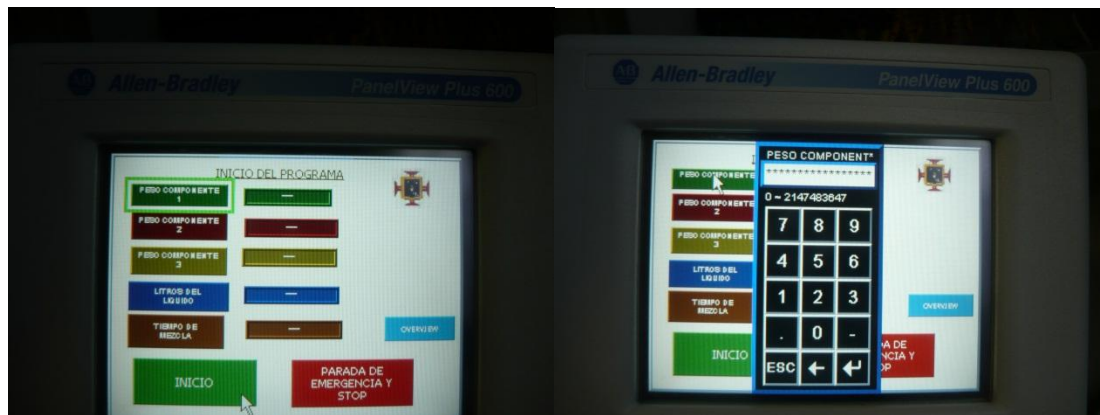


Figura 119. Pantalla 4
Fuente Autores

En esta pantalla se encuentran adicionales 3 botones que son el INICIO, PARADA DE EMERGENCIA Y OVERVIEW. El inicio lleva a empezar el programa sin necesidad de darle el pulso eléctrico en la llave selectora. La parada de emergencia que se utiliza en cualquier momento que se presente una falla en el sistema y el overview que se devuelve a la pantalla inicial mostrada en la figura 116.

Para garantizar que los tanques de almacenamiento estén plenos para en el momento que se quiera hacer una mezcla se instalan sensores capacitivos en la parte donde cambia de cilindro a cónico como se muestra en la figura 120. Cada vez que se activen estos sensores se activa una alarma en la pantalla diciendo que el tanque debe ser llenado según el producto. Como se muestra en la figura 121.



Figura 120. Instalación sensores en el prototipo
Fuente Autores

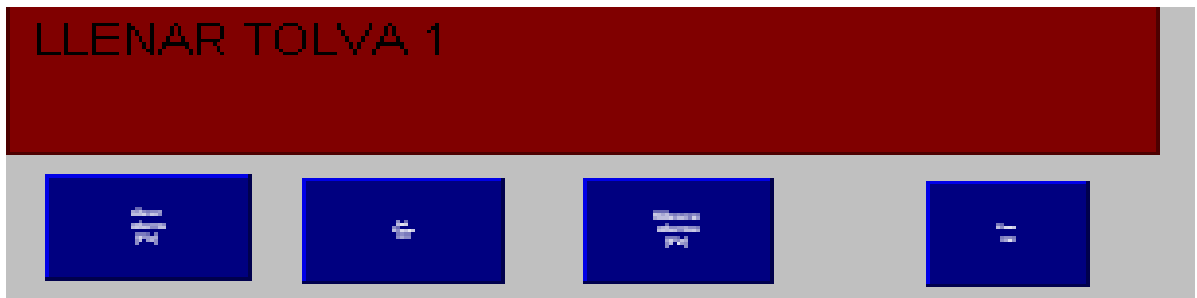


Figura 121. Alarma en la pantalla
Fuente Autores

5. PRUEBAS

Las pruebas de funcionamiento y del proceso se realizan para evaluar y corroborar el comportamiento mecánico e instrumental de las variables del proceso relacionado con los actuadores ubicados en el prototipo didáctico. Las variables que se obtienen son peso, volumen y tiempo de mezcla especificada por el operador.

5.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Las pruebas de funcionamiento se dividen según el tipo de variable o sistema a probar, para el prototipo didáctico se hacen pruebas neumáticas, de velocidades de giro, tiempo de mezcla y modificaciones para cambio de servicio.

- Pruebas neumáticas: Se revisa el circuito neumático, que no tenga ningún tipo de escape, se regulan los caudales de cada cilindro y se prueba el accionamiento manual de los cilindros por medio de las válvulas.
- Pruebas de velocidad: Para la velocidad de la banda transportadora es necesario probar diferentes tipos de velocidades de giro, en este caso se hacen pruebas con diferentes tipos de poleas que varían en diámetro.

Se utilizan velocidades de giro de 20 rpm, 40 rpm, 60 rpm. La velocidad con la que mejor se comporta el material transportado en la banda es de 40 rpm, en la figura 122 se observan los diferentes montajes para obtener estas velocidades.

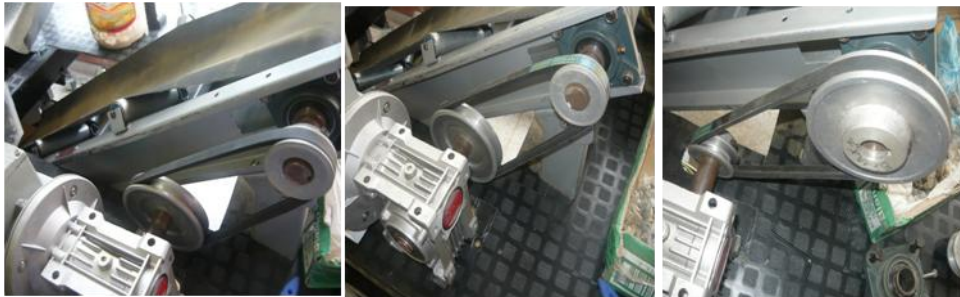


Figura122. Tipos de Velocidades en la banda Transportadora.
Fuente de autores.

- Pruebas de tiempo de mezcla: se determina el tiempo de mezcla dependiendo de los materiales que se utilizan en el proceso, en este caso se hacen pruebas con materiales que producen concreto y material de engorde para pollos, para los dos procesos se recurre a la revisión minuto a minuto de la mezcla y se observa que para el concreto el tiempo de mezcla es aproximadamente 10-12 min y para la mezcla del alimento para pollos es de 4-6 min, en la figura 123 se observan los resultados de las mezclas.



Figura123.Resultados de los tiempos de mezcla.
Fuente de autores

- Modificaciones para cambio de servicio: Al cambiar los materiales a dosificar se tiene en cuenta que existen cambios en sus propiedades de fluidez, por esta razón las bocas de las tolvas no se abren en su totalidad para las dos procesos de pruebas, se hacen cambios en las aberturas utilizando barreras en el desplazamiento de los cilindros neumáticos y así modificar las distancias de abertura en las cuchillas de las tolvas de material en polvo (1) y granular fino (3). En la figura 124 se muestra el acondicionamiento hecho en los cilindros.



Figura124.Barreras de desplazamiento en los pistones.
Fuente de autores

5.2 PRUEBAS DEL PROCESO

En las pruebas del proceso se realiza para evaluar el comportamiento de los instrumentos de medición de las variables del proceso y para verificar el estado de los dispositivos involucrados en el PAC de Allen Bradley, para detectar errores

en el sistema, funcionamiento del HMI y problemas en algún sensor del prototipo didáctico.

Mediante el software de programación RSLogix 5000 se realiza la obtención de los datos de las variables, observando la variación de las direcciones en las que se almacenan el estado de estas. Variando las condiciones de peso, volumen y el tiempo de la mezcla de manera controlada, con el fin de evaluar el funcionamiento gradualmente de la instrumentación.

La interfaz gráfica desarrollada en el software Factory Talkview se diseña con el fin que se puedan monitorear las variables relacionadas en el proceso según especificaciones del operador, en este se puede tener un control del nivel de los componentes mediante los sensores capacitivos los cuales accionan su alarma respectiva.

Las pruebas que se realizan son con materiales para la producción de concreto y para la producción de alimento de engorde para pollo, los materiales para el concreto son triturado, arena, agua y cemento. Los materiales para el alimento de engorde para pollo son maíz, trigo y purina triturada. Distribuidos en las tolvas así:

	CONCRETO	ALIMENTO DE ENGORDE PARA POLLO
COMPONENTE 1	CEMENTO	PURINA PULVERIZADA
COMPONENTE 2	TRITURADO	MAÍZ
COMPONENTE 3	ARENA	TRIGO
COMPONENTE 4	AGUA	

Tabla 18. Distribución de productos para mezcla
Fuente autores

En la figura 125 se muestra la distribución de los componentes para el concreto y el la figura 126 se muestra la distribución para el alimento de engorde para pollo.



Figura 125. Distribucion de concreto
Fuente Autores



Figura 126. Distribucion de alimento de engorde para pollo
Fuente Autores

Para la mezcla de concreto se realizan dos producciones una en seco y otra humedad y para el engorde se realiza en seco. Como se muestran en las figuras 127.



Figura 127. Mezclas asociadas al prototipo
Fuente autores

RECOMENDACIONES

- Para la dosificación de materiales es necesario saber si la fluidez del material es alta, considerando que el ángulo de descarga de los canales ubicados a la salida de las tolvas que almacenan los componentes sólidos es de aproximadamente 35° respecto a la horizontal, el cual no se puede aumentar para dar mayor inclinación.
- El sensor de peso tiene un error debido a que no es el más indicado en un proceso de dosificación, lo más recomendable es utilizar celdas de carga tipo S, estas no se implementaron debido al presupuesto del proyecto, ya que por cada tolva eran cuatro de estas celdas más un sumador para así tener una sola señal que le llegar al transmisor. Dejando claro que este sensor de flexión en un solo punto quedo funcional para el prototipo ya que por medio del programa se logra ajustar el error en la toma del dato.
- Lo cilindros pueden tener sensores magnéticos para variar la posición de los sellos de cada tolva cuando se hace el cambio de producto, debido a que los materiales tiene mayor fluidez en la descarga. Estos sensores no se implementaron debido a la disponibilidad de entradas digitales el laboratorio de automatización de procesos.
- A la salida de la tolva que almacena el componente 4 queda una válvula solenoide NA (normalmente abierta) que es la encargada de hacer fluir el líquido hacia el sistema de mezcla. Se recomienda cambiarla por una válvula normalmente cerrada NC para evitar activarla todo el proceso y así evitar problemas de recalentamiento.
- Se recomienda revisar periódicamente el estado de las conexiones de los elementos de control y la instrumentación para cerciorarse que no presenten ningún daño o corrosión por consecuencia del trabajo operacional del prototipo. Cada vez que se realicen pruebas mantener los gabinetes cerrados para evitar inconvenientes con las conexiones de los dispositivos ubicados en estos.
- No realizar ningún mantenimiento, conexión o evaluación de los dispositivos mientras se encuentre el sistema encendido, ya que implicaría riesgos para el operario.

CONCLUSIONES

- Con la construcción y automatización del prototipo didáctico se brindó una herramienta de aprendizaje en procesos industriales para los estudiantes de Ingeniería Electrónica, Ingeniería Mecánica e Ingeniería Industrial, que permite la visualización paso a paso de un proceso de dosificación y mezcla de materiales en las cantidades preestablecidas por los operarios (estudiantes).
- En el desarrollo del proyecto se implementaron criterios de trabajo interdisciplinar entre las facultades de Ingeniería Electrónica y Mecánica, relacionados mediante el concepto de automatización.
- El prototipo funciona de acuerdo a las especificaciones de diseño iniciales, pero adicionalmente queda abierto a modificaciones que permiten variar condiciones de operación y programación para futuros proyectos, con otros materiales y otras tecnologías.
- La realización e implementación de una interfaz gráfica, da una versatilidad al operar para manejar las variables que se tienen en la etapas del proceso y como propósito de expansión, mediante la programación establecida, queda disponible para el manejo a nivel supervisorio y así incorporar un horizonte más alto en la pirámide de CIM.
- Una de las desventajas que tiene el proyecto fue la limitación de las entradas digitales, debido a que en la arquitectura se encuentran asociados más de un proyecto de grado, Por esto es necesario adecuar los cilindros cada vez que se hace cambio de material, con diferente grado de fluidez.
- En el desarrollo de este proyecto se logró diseñar, construir y automatizar un prototipo didáctico que cumple con las funciones específicas del operador simulando un proceso real como el de dosificación y mezcla de materiales a granel y líquido para la producción de concreto, alimento de engorde para pollo, entre otros. Este prototipo puede ser utilizado en otro tipo de mezclas en seco o húmeda, con diferentes proporciones.

BIBLIOGRAFÍA

[1] GARCÍA MELO, José. Fundamentos del Diseño Mecánico. 1.^a ed. Colombia: Editorial Universidad Del Valle, 2004. 177 p.

[2] TIPOS DE DOSIFICACIÓN [página de internet]. En: <http://www.vescovoweb.com/tiposDosificadores.html> [consulta: 2011-07-02]

[3] MEZCLADOR DE FLUJO O CORRIENTES, MEZCLADOR DE HÉLICES O HELICOIDALES [página de internet]. En: http://www.amgcaldereria.com/index.php?ver=servicios_ver&pid=02&id_item=13 [consulta: 2011-07-02]

[4] MEZCLADOR DE PALETAS O BRAZO [página de internet]. En: http://www.google.com/imgres?q=mezclador+de+paletas+o+brazo&hl=en&tbm=isch&tbnid=8Q3FonVIYKkgYM:&imgrefurl=http://www.hevrepresentaciones.com/DO MAT_LTDA.html&docid=hMg1GkR8X-arSM&w=400&h=306&ei=MjcuTsKUBaLW0QHhotHcAQ&zoom=1&iact=hc&vpx=301&vpy=100&dur=580&hovh=196&hovw=256&tx=127&ty=92&page=1&tbnh=137&tbnw=179&start=0&ndsp=27&ved=1t:429,r:1,s:0&biw=1280&bih=685 [consulta: 2011-07-02]

[5] MEZCLADOR DE TURBINAS O IMPULSOS [página de internet]. En: http://www.google.com/imgres?q=mezclador+de+turbinas&hl=en&tbm=isch&tbnid=wK5F5ybs1KV2AM:&imgrefurl=http://www.solostocks.com.co/venta-productos/turbinas_b&docid=kWtNrOuKEQ8nQM&w=75&h=100&ei=JzguTvC4Jsr f0QG5i9mbAQ&zoom=1&iact=hc&vpx=557&vpy=161&dur=1638&hovh=89&hovw=66&tx=83&ty=57&page=1&tbnh=89&tbnw=66&start=0&ndsp=19&ved=1t:429,r:8,s:0&biw=1280&bih=649 [consulta 2011-07-02]

[6] MEZCLADOR DE TAMBOR [página de internet]. En: <http://www.google.com/imgres?q=mezclador+de+tambor&hl=en&tbm=isch&tbnid=CFgM2MzPWVWQGM:&imgrefurl=http://spanish.alibaba.com/products/portable-drum-mixer.html&docid=OtEkWNY-uCdxkM&w=79&h=100&ei=yDguTtWZBNCs0AG12MWvAQ&zoom=1&iact=rc&dur=382&page=3&tbnh=87&tbnw=69&start=45&ndsp=18&ved=1t:429,r:13,s:45&tx=68&ty=49&biw=1280&bih=685> [consulta 2011-07-02]

[7] DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CINTAS TRANSPORTADORAS [página de internet]. En: http://www.aloj.us.es/notas_tecnicas/Mantenimiento_de_Cintas_Transportadoras.pdf [consulta: 2011-07-05]

[8] MIRAVATE, Antonio y LARRODÉ, Emilio. Transportadores y Elevadores. 1.^a ed. Barcelona: Editorial Reverte, S.A.,1996.451 p.

- [9] PARTES ESENCIALES EN LAS CINTAS TRANSPORTADORAS [página de internet] En: http://www.google.com/imgres?q=banda+transportadora&hl=en&sa=X&tbnid=n_aeywHmJ1wmhM:&imgrefurl=http://www.espacioplastico.com/%253Fk%253DcnRxZndldnF1MXRncnF0dmc%253D%2526pr%253DODk%253D&docid=uAM4jAblyF1PGM&w=500&h=364&ei=MT8uTv_eD6XW0QGaqLyyAQ&zoom=1&biw=1280&bih=685 [consulta: 2011-07-03]
- [10] De Las HERAS JIMÉNEZ, Salvador. Instalaciones Neumáticas. 1.^a ed. Barcelona: Editorial UOC,2003. 119 p.
- [11] ELEMENTOS NEUMÁTICOS [página de internet] En: <http://www.festo.com/net/startpage/> [consulta: 2011-07-05]
- [12] ÁLVAREZ GÓMEZ, Roger Leonardo y CALDERÓN PICO, Natalia. Diseño, Construcción y pruebas de un prototipo automatizado para dosificación y mezclado de cuatro componentes, tres de ellos a granel y uno líquido obteniendo como mezcla hasta 15 kg/h para el laboratorio de Automatización Industrial implementado por la tecnología RocwellAutomation. 1.^a ed. Bucaramanga, 2011. 200 p. trabajo de grado (Ingeniero Mecánico, ingeniero electrónico). Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Electrónica.
- [13] ALGUNOS TIPOS DE SENSOR [página de internet] En: http://www.pillar.com.mx/sensores_de_proximidad_y_otros.htm [consulta: 2011-02-17]
- [14] SENSOR CAPACITIVO [página de internet] En: <http://www.ecfa.com.ar/capacitivos.pdf> [consulta: 2011-02-17]
- [15] SENSORES FOTOELÉCTRICOS [página en internet] En: <http://www.logismarket.es/sick/sensor-fotoelectrico-array/1656394339-234690044-nd.html> [consulta: 2011-02-17]
- [16] SENSORES INDUCTIVOS [página de internet] En: http://www.elindar.com/sensores_inductivos.html [consulta: 2011-02-17]
- [17] SENSOR ULTRASÓNICO [página de internet] En: <http://instrumatic.com.co/portal/images/PDFS/proximidad/sensor%20ultrasonico.pdf> [consulta: 2011-02-17]
- [18] SENSOR DE TEMPERATURA [página de internet] En: <http://www.logismarket.es/barcitronic/sensores-de-temperatura-de-platino/1146666199-641472531-p.html> [consulta: 2011-03-10]

- [19] SENSOR DE CONTACTO [página de internet] En: <http://www.solostocks.com.co/venta-productos/equipo-electrico-suministros/interruptores/interruptores-de-final-de-carrera-264713> [consulta: 2011-03-10]
- [20] SENSORES DE PESO [página de internet] En: <http://balanzas-pesatec-sac-295763/celdas-de-carga-sensores-de-peso-> [consulta: 2011-03-10]
- [21] SENSORES DE POSICIÓN [página de internet] En: <http://www.antirrobo.net/sensores/sensores-de-posicion.html> [consulta: 2011-08-23]
- [22] CELDAS DE CARGA DE COMPRESIÓN [página de internet] En: <http://www.directindustry.es/prod/tecsis/sensores-de-fuerza-y-de-par-9261-508084.html> [consulta: 2011-07-14]
- [23] CELDAS DE CARGA DE TENSIÓN Y COMPRESIÓN [página de internet] En: <http://www.directindustry.es/prod/msi-sensors/celdas-de-carga-de-tension-compresion-9250-219914.html> [consulta: 2011-07-14]
- [24] CELDAS DE CARGA EN VIGA TIPO S [página de internet] En: <http://balanzas-industriales.com/sba.aspx> [consulta: 2011-07-14]
- [25] CELDA DE CARGA DE FLEXIÓN DE VIGA [página de internet] En: <http://www.celdasdecargabym.com/productos/index.php?filtro=5> [consulta: 2011-07-14]
- [26] CELDA DE CARGA DE UN SOLO PUNTO [página de internet] En: http://www.nexem.com.ar/p_tension/controles_de_tension/transductores/transductores.html [consulta: 2011-07-14]
- [27] MORENO GRACIA, Emilio. Automatización de Procesos Industriales. Robótica y Automática, Centro de formación de postgrado-CFP, CERES-UPV. Valencia: Servicios de Publicaciones, 1999. Pag. 10-33.
- [28] PAC DE ALLAN BRADLEY [página de internet] En: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/ca/801-ca500_-es-p.pdf [consulta: 2011-07-20]
- [29] LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN EN PLC [página de internet] En: <http://www.buenmaster.com/?a=1395> [consulta: 2011-07-20]
- [30] STRATIX 8000 [página de internet] En: <http://www.ab.com/en/epub/catalogs/12762/2181376/214372/9142990/tab4.html> [consulta: 2011-07-20]

[31] CONTROLLOGIX[página de internet] En:
<http://www.automationsales.com.au/category.aspx?catID=66> [consulta: 2011-07-20]

[32] MODULO POINT 1734-AENT página de internet] En:
<http://www.ethernetip.de/products/products.htm> [consulta: 2011-07-20]

[33] RAVANET, Juan. Silos. Editores Técnicos Asociados, Barcelona, 1983. 335 p.

[34] RODRÍGUEZ DELGADO, Jaime Alonso y SOTO SANGREGORIO, Viyils. Implementación del Sistema de Control Tecnología Rockwell Automation en el Laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana. 1ª Ed. Bucaramanga, 2010. 151p. Trabajo de Grado (Ingenieros Electrónicos) Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Electrónica.

[35] OLARTE SILVA, Leidy Johanna y RODRÍGUEZ DELGADO, Jaime Alonso. Diseño e implementación del sistema Scada Factory Talk View de Allen Bradley a una maquina prototipo de embalaje en el Laboratorio de Automatización de Procesos de la Universidad Pontificia Bolivariana. 1ª Ed. Bucaramanga, 2011. 240p. Trabajo de Grado (Especialistas en Control e Instrumentación Industrial) Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Electrónica.

ANEXOS

**ANEXO A. Stratix 8000 Ethernet ManagedSwitches
(Remítase al anexo Digital)**

**ANEXO B. Especificacion- ControllogixController
(Remítase al anexo Digital)**

ANEXO C: MODULO POINT 1734-AENT
(Remítase al Anexo Digital)

ANEXO D: FUENTE DE ALIMENTACIÓN 1606 XLS
(Remítase al Anexo Digital)

ANEXO E: MÓDULOS DE ENTRADAS Y SALIDAS CONTROLLOGIX
(Remítase al anexo Digital)

ANEXO F: SENSOR CAPACITIVO
(Remítase al Anexo Digital)

ANEXO G: ELECTROVÁLVULA
(Remítase al Anexo Digital)

ANEXO H: MOTORES TRIFÁSICOS
(Remítase al Anexo Digital)

ANEXO I: CELDA DE CARGA
(Remítase al Anexo Digital)

ANEXO J: SENSOR ULTRASÓNICO
(Remítase al Anexo Digital)

ANEXO K: GUARDAMOTORES
(Remítase al Anexo Digital)

ANEXO L: PLANOS DEL PROTOTIPO
(Remítase al Anexo Digital)

**ANEXO M: REPORTE DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL
ESTÁTICO.
(Remítase al anexo digital)**

ANEXO N: VÁLVULAS SOLENOIDE
(Remítase al anexo digital)

ANEXO O: PROTOCOLO DE OPERACIÓN
(Remítase al anexo digital)

ANEXO P: PROGRAMACIÓN LADDER
(Remítase al anexo digital)