



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN, PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

“MODERNIZACIÓN DE UNA PRENSA ELECTROMECAÁNICA PARA FABRICAR DULCES DE MANÍ EN LA EMPRESA AGROINDUSTRIA LCM CIA. LTDA.”

RESPONSABLES:

SR. HUALPA VIVANCO, MARIO FERNANDO
SR. VALLEJO RODRÍGUEZ, JONATHAN DAVID

DIRECTOR:

ING. SEGURA SANGUCHO, LUIS JAVIER

SANGOLQUÍ – ECUADOR

26-07-2016



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**MODERNIZACIÓN DE UNA PRENSA ELECTROMECAÁNICA PARA FABRICAR DULCES DE MANÍ EN LA EMPRESA AGROINDUSTRIA LCM CIA. LTDA.**” Realizado por los señores **MARIO FERNANDO HUALPA VIVANCO** y **JONATHAN DAVID VALLEJO RODRÍGUEZ**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **MARIO FERNANDO HUALPA VIVANCO** y **JONATHAN DAVID VALLEJO RODRÍGUEZ** para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 26 de julio del 2016

Ing. Luis Javier Segura Sangucho

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros **MARIO FERNANDO HUALPA VIVANCO**, con cedula de identidad N° 1719998740 y **JONATHAN DAVID VALLEJO RODRÍGUEZ** con cedula de identidad N° 1718239419 declaramos que este trabajo de titulación “**MODERNIZACIÓN DE UNA PRENSA ELECTROMECAÁNICA PARA FABRICAR DULCES DE MANÍ EN LA EMPRESA AGROINDUSTRIA LCM CIA. LTDA.**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 26 de julio del 2016

**MARIO FERNANDO HUALPA
VIVANCO**

C.C. 1719998740

**JONATHAN DAVID VALLEJO,
RODRÍGUEZ**

C.C. 1718239419



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros **MARIO FERNANDO HUALPA VIVANCO** y **JONATHAN DAVID VALLEJO RODRÍGUEZ** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“MODERNIZACIÓN DE UNA PRENSA ELECTROMECAÁNICA PARA FABRICAR DULCES DE MANÍ EN LA EMPRESA AGROINDUSTRIA LCM CIA. LTDA.”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 26 de julio del 2016

MARIO FERNANDO HUALPA
VIVANCO

C.C. 1719998740

JONATHAN DAVID VALLEJO
RODRÍGUEZ

C.C. 1718239419

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado en especial a mis padres Gina y Mario quienes colocaron su total confianza en mi capacidad y con su infinito amor me apoyaron en el transcurso de mis actividades, haciendo suyas mi metas y sueños, a mis hermanos Ronnie y Marlon que a pesar de ser menores siempre han representado en mí la mayor admiración e inspiración, a Lady por su constante apoyo y por último a mi hijo que viene a mi vida para celebrar este gran logro profesional.

MARIO FERNANDO HUALPA VIVANCO

Dedico este trabajo principalmente a mi familia, quienes me han brindado su apoyo incondicional durante toda mi vida, a mi madre Margarita que con su ejemplo me ha demostrado la importancia de la perseverancia y el esfuerzo, a mi padre Luis quien desde muy temprana edad me enseñó valores y principios que me han permitido llegar a ser la persona que soy ahora, a mi hermano Jefferson que siempre ha estado a mi lado alentándome para crecer profesionalmente y como persona, a mis amigos los cuales me han apoyado en momentos críticos y a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por proveerme de las herramientas necesarias para mi formación profesional.

JONATHAN DAVID VALLEJO RODRÍGUEZ

AGRADECIMIENTOS

Principalmente agradezco a Dios por brindarme salud, capacidad y tenacidad en cada etapa de mi vida, a mis padres pues esta meta no habría sido posible sin su apoyo incondicional, sus consejos y valores transmitidos mediante el ejemplo. Agradezco a mi madre Gina, por mostrarme el camino de la superación continua, a mi padre Mario, por inculcarme el valor del trabajo, a mi hermano Ronnie por brindarme su apoyo, a mi hermanito Marlon por inspirarme todos los días a ser un buen ejemplo en su vida, a Lady por ser una pareja incondicional, a mi compañero y amigo Jonathan por su ahínco para el desarrollo de este proyecto, a mis compañeros y profesores de quienes he adquirido conocimientos y han dejado en mí, gratos recuerdos, al Ingeniero Luis Segura por brindar su colaboración fraternal como tutor en este proyecto y por último a mi Universidad y quienes la conforman por acogerme durante estos cinco años y brindarme la oportunidad de crecer en lo profesional y humano.

MARIO FERNANDO HUALPA VIVANCO

Agradezco a Dios por darme las fuerzas para enfrentar todas las adversidades que me han suscitado, a mis padres, hermano y toda mi familia por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera brindándome sus sabios consejos que me han permitido llegar a donde estoy ahora, a mi Universidad que me acogió durante todos estos años y la llevo en el corazón, al Ingeniero Luis Segura que más que un maestro lo considero un amigo, a mi compañero y amigo Fernando por su empeño y dedicación en la realización de este proyecto y por último a mis amigos con los cuales he compartido risas, anécdotas y demás momentos gratos durante los 5 años correspondientes a mi paso por la Universidad, les agradezco a todos por el apoyo y la confianza impuesta en mí, siempre estarán presentes en mi memoria.

JONATHAN DAVID VALLEJO RODRÍGUEZ

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	III
AUTORIZACIÓN.....	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ANEXOS	XVII
RESUMEN	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	2
1.2. MARCO INSTITUCIONAL.....	2
1.2.1. Misión	3
1.2.2. Visión.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	3
1.5. ÁREA DE INFLUENCIA	4
1.6. CONDICIONES INICIALES	5
1.7. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	8
CAPÍTULO II	9
2. CONCEPTOS GENERALES	9
2.1. CONCEPTOS BÁSICOS PARA UN DISEÑO MECÁNICO.....	9
2.1.1. Fases e interacciones del proceso de diseño	9
2.1.2. Consideraciones de Diseño.....	10
2.2. NORMA TÉCNICA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA PARA ALIMENTOS	11

2.3. MATERIALES GRADO ALIMENTICIO	13
2.3.1. <i>Materiales comunes en la industria alimenticia</i>	13
2.3.1.1. Acero inoxidable de aleación fina	13
2.3.1.2. Materiales de aluminio	14
2.3.1.3. Materiales sintéticos	14
2.4. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA PRENSA ELECTROMECAÁNICA.....	15
2.5. SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN	16
2.5.1. <i>Dosificación por Vibración</i>	16
2.5.2. <i>Dosificación por Tornillo</i>	17
2.5.2.1. Dosificador Volumétrico Vertical	18
2.5.2.1.1. Tipos de Dosificadores Volumétricos Verticales	18
2.5.2.2. Dosificador de Tornillo Horizontal.....	20
2.5.2.3. Diseño de Tornillos transportadores.....	21
2.5.2.3.1. Metodología de diseño para transportadores helicoidales	24
2.6. TOLVAS.....	28
2.6.1. <i>Selección de Tolvas</i>	28
2.6.2. <i>Diseño de Tolvas</i>	29
2.6.2.1.1. Cálculo de fuerza de avance y retroceso de un pistón.....	29
2.6.2.1.2. Consumo total de aire del cilindro	31
2.6.2.1.3. Pérdidas de carga en tuberías.....	32
2.6.2.1.4. Nivel de presión en la acometida del sistema neumático.....	33
CAPÍTULO III	34
3. DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO DE DOSIFICACIÓN.....	34
3.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE DOSIFICADOR VOLUMÉTRICO	34
3.2. DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN	36
3.2.1. <i>Diseño del tornillo transportador</i>	37
3.2.2. <i>Diseño de la tolva</i>	43
3.2.2.1. Diseño Mecánico de la tolva	47
3.2.3. <i>Diseño de la estructura mecánica de soporte del sistema de dosificación</i>	49
3.2.4. <i>Dimensionamiento de la potencia requerida</i>	52
3.2.4.1. Cálculo de la potencia necesaria para accionar el sistema raspador y agitador	52
3.2.4.1.1. Cálculo del volumen de referencia del Raspador y Agitador	53
3.2.4.1.2. Cálculo del peso de referencia para el Raspador y Agitador.....	54
3.2.4.1.3. Cálculo del momento torsor al cual está sometido el eje del tornillo.....	56
3.2.4.1.4. Cálculo de la potencia requerida	57
3.2.5. <i>Dimensionamiento del eje</i>	58
3.2.6. <i>Diseño del raspador y agitador</i>	60
3.2.6.1. Raspador	61

3.2.6.1.1. Cálculo del factor de seguridad para la placa seleccionada	64
3.2.6.2. Agitador.....	65
3.2.6.2.1. Cálculo del factor de seguridad para la placa seleccionada	66
3.2.7. <i>Diseño Final y Simulación</i>	67
3.2.8. <i>Resumen del diseño del sistema de dosificación</i>	67
CAPÍTULO IV	69
4. DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	69
4.1. SISTEMA MECÁNICO DE DISTRIBUCIÓN DE LA MEZCLA	69
4.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA MEZCLA	70
4.2.1. <i>Diseño y selección de los componentes neumáticos</i>	70
4.2.1.1. Dimensionamiento del Pistón	70
4.2.1.2. Dimensionamiento de la presión de trabajo requerida	72
4.2.1.3. Selección del regulador de presión	76
4.2.1.4. Selección de los demás componentes neumáticos	77
4.2.1.5. Cálculo del consumo de aire	81
4.2.1.6. Dimensionamiento de la presión apropiada en la entrada del regulador	83
4.3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA DE SOPORTE DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN NEUMÁTICA.....	84
4.4. DISEÑO FINAL Y SIMULACIÓN	84
4.5. RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	85
CAPÍTULO V	87
5. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA PRENSA ELECTROMECAÁNICA	87
5.1. DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA DE CONTROL.....	87
5.2. SELECCIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL PLC	88
5.2.1. <i>Diagrama GRAFCET</i>	89
5.2.1.1. Descripción de la automatización implementada	89
5.3. PROGRAMACIÓN HMI	94
5.3.1. <i>Ventanas de navegación</i>	94
5.3.1.1. Distribución de pantalla general de las ventanas.....	95
5.3.1.2. Barra de iconos gráficos	96
5.3.1.3. Ventana Home	97
5.3.1.3.1. Configuración de Parámetros.	98
5.3.1.3.2. Configuración de Hora y Fecha.	99
5.3.1.3.2.1. Pasos Para Configurar Fecha/Hora UTC.....	100
5.3.1.4. Proceso Manual.....	101
5.3.1.5. Proceso Automático	102
5.3.1.5.1. Factores que impiden iniciar proceso automático	103
5.3.1.6. Supervisión.....	103

5.3.1.6.1. Ventana Pausa/Detener	104
5.3.1.7. Ventana de Alarmas	104
5.3.1.8. Paro de Emergencia	105
5.3.1.9. Información General	107
5.4. ENLACE PLC Y PANTALLA	107
5.5. DISEÑO DEL CABLEADO E INSTALACIÓN ELÉCTRICA	108
5.5.1. Diagrama de control	108
5.5.2. Diagrama de potencia.....	109
5.5.3. Dimensionamiento y selección de los elementos eléctricos.....	110
5.5.3.1. Dimensionamiento de los fusibles	110
5.5.3.2. Dimensionamiento del Breaker.....	111
5.5.3.3. Dimensionamiento y selección de los relés.....	112
5.5.3.4. Contactores	113
5.5.3.5. Guarda motores	114
5.5.3.6. Cableado	116
CAPÍTULO VI	118
6. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	118
6.1. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN	118
6.1.1. Construcción del sistema de dosificación.....	118
6.1.2. Pruebas de Funcionamiento del Sistema	120
6.1.3. Limitaciones del sistema de dosificación	123
6.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	125
6.2.1. Modificaciones de la paleta de distribución de la máquina.....	125
6.2.2. Sensorización	125
6.2.3. Ensamble sistema de distribución	126
6.2.4. Pruebas de Funcionamiento.....	127
6.3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	129
6.3.1. Montaje y conexión del tablero de control	129
6.3.2. Montaje de la pantalla táctil y panel de operación	129
6.3.3. Pruebas de Funcionamiento.....	130
6.4. ENSAMBLE DE LOS SUBSISTEMAS EN LA MÁQUINA.....	131
6.5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA EN GENERAL	131
6.6. RENDIMIENTO DE LA MÁQUINA.....	133
CAPÍTULO VII	136
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	136
7.1. CONCLUSIONES	136

7.2. RECOMENDACIONES.....	137
BIBLIOGRAFÍA.....	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de dosificadores volumétricos	19
Tabla 2 Coeficiente disminución en función del ángulo inclinación.....	21
Tabla 3 Valores de λ en función del tipo de material	23
Tabla 4 Factores de capacidad según paso especial CF1	25
Tabla 5 Factores de capacidad para helicoidal especial CF2	25
Tabla 6 Capacidad de transportador con paletas mezcladoras CF3	25
Tabla 7 Tipos de helicoidales según aplicación	26
Tabla 8 Pruebas de distintos conceptos de dosificación.....	35
Tabla 9 Requerimientos y condiciones de operación.....	39
Tabla 10 Determinación de la densidad de la mezcla.....	39
Tabla 11 Resultados esperados con el helicoidal diseñado.....	42
Tabla 12 Parámetros dimensionales de la tolva	46
Tabla 13 Resumen de parámetros del sistema de dosificación	68
Tabla 14 Resumen de los factores de seguridad obtenidos	68
Tabla 15. Resumen de elementos-sistema distribución.....	86
Tabla 16. Comparación parámetros del sistema neumático	86
Tabla 17 Requerimiento de entradas.....	88
Tabla 18 Requerimiento de Salidas.....	88
Tabla 19 Resumen Especificaciones técnicas-motores.....	111
Tabla 20 Guarda motor de Schneider, serie GV2-ME	115
Tabla 21 Resultados de pruebas de dosificación.....	122
Tabla 22 Pruebas realizadas con densidad a $0,92 \text{ g/cm}^3$	124
Tabla 23 Pruebas de tiempo-sistema de distribución.....	128
Tabla 24 Parámetros y resultados del sistema en general.	132
Tabla 25 Error y tiempo optimizado en el sistema completo.....	133
Tabla 26. Rendimiento de la máquina.....	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la modernización planteada	1
Figura 2. Prensa electromecánica para fabricación de dulces de maní ...	5
Figura 3. Panel de control de la máquina.....	6
Figura 4. Tablero eléctrico de control.....	6
Figura 5. Distribución manual de la mezcla	7
Figura 6. Disposición de los sensores inductivos.....	7
Figura 7. Fases del proceso de diseño	9
Figura 8. Aceros de Aleación fina	13
Figura 9. Aleaciones de Aluminio.....	14
Figura 10. Materiales Sintéticos y Elastómeros	15
Figura 11. Partes Generales de una Prensa.....	15
Figura 12. Sistema de dosificación por Vibración	17
Figura 13. Dosificador Volumétrico de Tornillo horizontal	17
Figura 14. Dosificador Volumétrico de Tornillo Vertical.....	17
Figura 15. Partes de un dosificador Volumétrico de tornillo vertical.....	18
Figura 16. Dosificador A.....	19
Figura 17. Dosificador B.....	19
Figura 18. Dosificador C.	19
Figura 19. Transportador horizontal helicoidal	20
Figura 20. Fuerzas teóricas de avance y retroceso cilindros DE	30
Figura 21. Mezcla de maní y azúcar	34
Figura 22. Sub ensamble -tornillo, raspador y agitador.....	36
Figura 23. Ensamble completo-Sistema de dosificación.....	37
Figura 24. Prueba de peso 1.....	39
Figura 25. Prueba de peso 2.....	39
Figura 26. Área efectiva de dosificación de 40%	42
Figura 27. Helicoidal diseñado.....	43
Figura 28. Bosquejo de la geometría de la tolva	44
Figura 29. Tubos de acero inoxidable AISI 304	45
Figura 30. Tolva diseñada.....	47
Figura 31. Análisis Estático sobre la tolva.....	48

Figura 32. Malla Solida, tolva.....	48
Figura 33. Factor de seguridad Tolva.	49
Figura 34. Propiedades Físicas Sistema de Dosificación	50
Figura 35. Análisis estático de la estructura de soporte de la tolva	51
Figura 36. Mallado de estructura de soporte - sistema dosificación	51
Figura 37. Factor de seguridad de la estructura de soporte.....	52
Figura 38. Representación Volumétrica Raspador.	53
Figura 39. Representación Volumétrica Agitador.....	53
Figura 40. Acción de las fuerzas F1 y F2 sobre el eje	56
Figura 41. Motor de 0,5 HP y reductor de 1670 rpm a 120 rpm.....	58
Figura 42. Representación del sistema raspador y agitador.....	61
Figura 43. Aplicación de la Fuerza F1 en el raspador.....	62
Figura 44. Esquema Flexión en viga empotrada.....	62
Figura 45. Aplicación de la Fuerza F2 en el agitador	65
Figura 46. Ensamble final Sistema dosificación-Máquina	67
Figura 47. Ensamble Sistema de distribución.	69
Figura 48. Pistón DSBC-32-400 de FESTO.....	70
Figura 49. Características dimensionales DSBC-32-400-PPVA_N3.....	71
Figura 50. Presión marcada por manómetro en la línea de suministro. .	72
Figura 51. Operación y condiciones ambientales	72
Figura 52. Diagrama de cuerpo libre paleta-mezcla	73
Figura 53. Coeficiente de fricción para superficies en contacto	74
Figura 54. Presión mínima de desbloqueo.....	75
Figura 55. Regulador TPC serie PP2.....	77
Figura 56. Parámetros del sistema	78
Figura 57. Selección del cilindro	79
Figura 58. Sistema neumático	80
Figura 59. Simulación del sistema neumático.....	80
Figura 60. Lista de piezas	81
Figura 61. Consumo de cilindros de aire.....	83
Figura 62. Sub ensamble Estructura/Placa-máquina.....	84
Figura 63. Ensamble sistema dosificación y distribución	85

Figura 64. Ubicación del sistema de control y monitoreo.....	87
Figura 65. Placa superior (verde) en posición inicial.....	89
Figura 66. Matriz (marrón) y paleta (azul) posiciones iniciales	89
Figura 67. Motor (azul), sistema tornillo-raspador-agitador (verde).	90
Figura 68. Placa direccionadora de la mezcla (amarillo).....	90
Figura 69. Matriz (marrón) sube hasta su posición final.....	90
Figura 70. Posición final de la paleta (azul).	91
Figura 71. Ciclo de la paleta sobre la matriz.	91
Figura 72. Placa superior (verde) en su posición final.	92
Figura 73. Matriz sube y deja expuestos a los dulces de maní.....	92
Figura 74. Paleta avanza para desplazar dulces sobre la bandeja.....	93
Figura 75. Paro de emergencia en el panel de control.....	94
Figura 76. Esquema General de la arquitectura de las ventanas	95
Figura 77. Distribución de pantalla genérica de las ventanas.....	95
Figura 78. Ingresar a Modo Administrador.....	97
Figura 79. Ventana Home.....	97
Figura 80. Ventana de Administración.....	98
Figura 81. Ventana Establecer Fecha/Hora UTC.....	100
Figura 82. Confirmación de Cambio de Fecha/Hora.....	100
Figura 83. Ventana Proceso Manual.....	101
Figura 84. Ventana de Proceso Automático.....	102
Figura 85. Ventana de Supervisión.....	103
Figura 86. Menú Pausa\Detener.....	104
Figura 87. Ventana de Alarmas.....	105
Figura 88. Ubicación del Paro de Emergencia.....	105
Figura 89. Ventana Paro de Emergencia.....	106
Figura 90. Ventana de Información del Proyecto.....	107
Figura 91. Conexión gráfica Tia Portal V13_PLC-HMI.....	108
Figura 92. Diagrama de potencia.....	109
Figura 93. Breaker trifásico seleccionado	112
Figura 94. Relé TH-MY4N 8 pines, 3A y 110 V.....	112
Figura 95. Selección de contactores según la In y categoría.....	113

Figura 96. Contactor LC1D12 de Schneider Electric	114
Figura 97. Calibre AWG para conductores flexibles de cobre.....	117
Figura 98. Fabricación Tolva.....	118
Figura 99- Construcción Tornillo Transportador.....	119
Figura 100. Construcción Tornillo-raspador-agitador	119
Figura 101. Partes del Sistema de dosificación fabricado.....	119
Figura 102.Comparación Sistema dosificación fabricado vs Simulado.	120
Figura 103. Pruebas sistema dosificación.....	121
Figura 104. Pruebas de peso en el sistema de dosificación.	121
Figura 105. Tendencia peso promedio (g) vs tiempo (s).....	122
Figura 106. Paleta Original de la máquina.	125
Figura 107. Paleta modificada.	125
Figura 108. Sensores FESTO SME-8M- serie H313.....	126
Figura 109. Partes del ensamble del sistema de distribución.	126
Figura 110. Comparación entre sistema simulado vs construido.	127
Figura 111. Pruebas porcentaje de llenado de la matriz.	128
Figura 112. Tablero de control.	129
Figura 113. Antes y después del panel de Operación.	130
Figura 114. Pruebas del sistema de control.....	130
Figura 115. Antes y después de la prensa electromecánica.....	131
Figura 116. Producto final terminado (24 caramelos de maní).	133
Figura 117. Pérdidas sistema dosificación.....	135
Figura 118. Pérdidas sistema distribución	135
Figura 119. Pérdida por falta de producto.....	135

ANEXOS

Anexo A: Planos mecánicos.

Anexo B: Sistema Neumático.

Anexo C: Diagramas GRAFCET.

Anexo D: Diagramas Eléctricos.

RESUMEN

Agroindustrias LCM, es una empresa del sector alimenticio, donde los dulces de maní resultan ser uno de sus principales productos, por este motivo necesita mantener un nivel de producción de al menos dos toneladas de dulce al mes, para lo cual se modernizó una prensa electromecánica reemplazando todo el sistema de control manual por uno automático, mediante un PLC en conjunto con una HMI para controlar y monitorear el trabajo de la máquina. El presente proyecto muestra el proceso de modernización de una prensa electromecánica utilizada para la producción de dulces de maní. En el desarrollo de cada capítulo, se describen todas aquellas fases necesarias para alcanzar los objetivos planteados, partiendo desde la fundamentación teórica como base del diseño y finalizando con la implementación y pruebas de desempeño. Como resultado del presente proyecto de titulación, la prensa cuenta con un sistema de alimentación continuo mediante un dosificador volumétrico vertical, rutinas de trabajos precargadas, sistema de descarga y distribución automática y un panel de control implementado en una pantalla táctil. A esta interface (HMI) es posible acceder como usuario para únicamente iniciar o monitorear el proceso o como administrador, mediante claves de acceso para establecer los parámetros necesarios de producción. Los autores de este documento, realizaron el proyecto en su totalidad, por lo tanto se añadieron un conjunto de planos, programas y demás en anexos con la finalidad de facilitar la comprensión del lector.

Palabras claves:

- **ELECTROMECAÁNICA.**
- **HMI.**
- **CONTROL.**
- **MODERNIZACIÓN.**
- **DOSIFICADOR.**

ABSTRACT

Agroindustry LCM is a company in the food sector, where peanut candy turn out to be one of its main products, that means that the company needs to maintain a production level of at least two tons of candy per month, for this reason an electromechanical press was modernized, replacing all manual control system per an automatic, by a PLC in conjunction with one HMI to control and monitor the work of the machine. This project shows the process of modernization of an electromechanical press used for the production of peanut candy. In the development of each chapter, all necessary steps are described to achieve the objectives, starting from the theoretical foundation as the basis of design and ending with the implementation and performance tests. As a result of this titling project, the press has a continuous feed system by a vertical volumetric dispenser, preloaded work routines, discharge and distribution automatic systems and control panel implemented on a touch screen. At this interface (HMI) is possible the access as a user in order to only start or monitor the process or as an administrator using a password to establish the necessary production parameters. The authors of this document made the entire project, therefore a set of drawings, programs and others documents, were added in annexes in order to facilitate understanding of the reader.

Key words:

- **ELECTROMECHANICS**
- **HMI**
- **CONTROL**
- **MODERNIZATION**
- **DISPENSER**

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene la finalidad de modernizar una prensa electromecánica usada para producir dulces de maní, la misma que actualmente se encuentra inoperativa debido a la falta de mantenimiento y el deterioro propio del trabajo. Para la modernización se plantea reemplazar todo el sistema de control manual (basado únicamente en una lógica de relé) por un automático, gobernado por un PLC en conjunto con una HMI con el fin de controlar y monitorizar el proceso.

Se pretende implementar un sistema de alimentación continuo, rutinas de trabajos precargadas y un sistema de descarga automático, donde el monitoreo y control se realice mediante una HMI mostrada en una pantalla táctil situada en el tablero de la máquina. El esquema general se puede divisar en la Figura 1 a continuación:



Figura 1. Esquema de la modernización planteada

1.1. Antecedentes

La empresa patrocinadora del proyecto de mejora, es Agroindustrias LCM, la misma que tiene proyectado producir dos toneladas de dulce de maní al mes, lo cual plantea una necesidad latente de automatización para cumplir con las proyecciones de producción, en vista de que en las condiciones actuales, la empresa se encuentra imposibilitada de cumplir con dichas proyecciones por limitaciones físicas en su maquinaria.

Hoy en día la empresa ha sesgado su producción de dulce, dado que la prensa electromecánica con la que cuentan para compactar la mezcla de maní y azúcar no se encuentra operativa, por ello al modernizar esta máquina se asegura un funcionamiento eficiente de la misma, pues se optimizará el proceso de fabricación de dulces de maní en lo referente al conformado. Se pretende reducir tiempos muertos de producción para cumplir con toda la demanda proyectada en un menor tiempo de operación.

Con este proyecto la empresa incursionará en la automatización, donde se plantea a futuro implementar un sistema de alimentación continuo del dulce de maní desde la prensa electromecánica hacia la empaquetadora Flow pack, con el fin de mejorar aún más el proceso, reduciendo de esta forma tiempos muertos durante todo el proceso de conformado y empaquetado del dulce de maní, un trabajo semejante al presente en cuanto al sistema de dosificación por tornillo se presenta en la tesis titulada “Diseño y Construcción de una máquina dosificadora automática de encimas para balanceado de camarón para la empresa EMPAGRAN S.A. Donde para desplazar el balanceado utiliza un helicoidal horizontal” (Aguinsaca Durazno, 2008)

1.2. Marco institucional

Agroindustria LCM, comienza sus labores el 3 de marzo de 2015, para constituirse legalmente el 26 de marzo del mismo año. Los productos que actualmente fabrica la empresa son dulces de leche, cocadas y dulces de maní. El Ingeniero Vicente Chauvin desempeña el cargo de Gerente General desde la constitución de la empresa. Hasta el momento la compañía cuenta con dos operarios, y tres cargos administrativos.

1.2.1. Misión

Somos una empresa de alimentos dedicada a la elaboración de dulces y bocaditos tradicionales, que ofrece a nuestros consumidores, productos con los más altos estándares de calidad, con materias primas nacionales, tecnología amigable con el medio ambiente y personal de alto nivel profesional.

1.2.2. Visión

Nos proyectamos como una gran empresa, en la elaboración de dulces y bocaditos tradicionales en el Ecuador, basados en el constante desarrollo e innovación de productos aplicando tecnología de punta.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Modernizar una prensa electromecánica para fabricar dulces de maní en la empresa Agroindustria LCM.

1.3.2. Objetivos específicos

- Reparar y dar mantenimiento a la prensa electromecánica.
- Automatizar el proceso de prensado de la mezcla para obtener dulces de maní e implementar una interfaz Hombre-Máquina, para el monitoreo y control.
- Evaluar las modificaciones físicas que se deben realizar a la prensa, mediante software especializado, para evitar fallas en el proceso.
- Seleccionar los dispositivos electrónicos, elementos mecánicos y software necesarios para desarrollar la modernización de la prensa.

1.4. Justificación e importancia

Hoy en día muchas empresas se ven sesgadas por su capacidad de producción mas no por la demanda, el reto diario es llegar a producir más con los mismos o mejores estándares de calidad, de tal forma que la demanda

insatisfecha en el mercado sea abarcada en su totalidad. Para “Agroindustria LCM” es una realidad latente, pues la capacidad de producción de dulces de maní se ha visto limitada por la inoperatividad de su prensa electromecánica, la cual presenta gran deterioro y daños no corregidos debido al mantenimiento inadecuado, además no realiza un proceso idóneo debido a que el control es manual, lo cual implica excesivos tiempos muertos y costo de producción.

Debido a lo anterior, la compañía presenta una seria necesidad de no solo colocar operativa la máquina sino también de modernizarla de tal forma que sea capaz de cumplir con la producción que demanda el mercado de forma eficiente y eficaz, para esto será necesaria la reparación y automatización de la prensa, lo cual permitirá a la institución obtener un producto homogéneo así como también reducir tiempos muertos al incluir sistemas de alimentación y descarga continua, permitiendo que el personal no deba operar la máquina constantemente si no solo supervisarla.

Este proyecto a más de mejorar estándares de producción, también encamina a la empresa, la cual es nueva en el mercado, hacia las vías de la automatización y nuevas tecnologías de control utilizadas en la actualidad con el fin de obtener procesos controlados y mejores estándares de calidad, teniendo en cuenta siempre el impacto ambiental y la ergonomía necesaria para los trabajadores.

1.5. Área de influencia

Las acciones de reparación, diseño y automatización se ejecutarán para la empresa “Agroindustria LCM” específicamente para la prensa electromecánica de dulces de maní, donde se pretende incrementar la eficiencia de producción de dulces, mediante un sistema totalmente automatizado que incremente la producción. Con este proyecto se plantea dejar precedentes favorables de las capacidades de los ingenieros mecánicos de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, denotando el dominio de los procesos de automatización y sistemas que involucren conocimientos y destrezas tanto mecánicas como electrónicas.

1.6. Condiciones iniciales

El principal componente mecánico es la prensa electromecánica de control manual, para la fabricación de dulces de maní perteneciente a la empresa Agroindustria LCM. En la Figura 2 se observa el estado actual en el que se encuentra la prensa, donde se evidencia que la estructura mecánica no se encuentra en condiciones precarias, ni ha sido alterada.



Figura 2. Prensa electromecánica para fabricación de dulces de maní

La prensa cuenta con un panel de control conformado por cuatro botones para subir y bajar tanto la placa superior como la matriz (ver Figura 3).



Figura 3. Panel de control de la máquina

Mediante los pulsadores mostrados en la Figura 3 y el tablero de control eléctrico evidenciado en la Figura 4, el operador realiza el proceso de conformación de los dulces de maní.

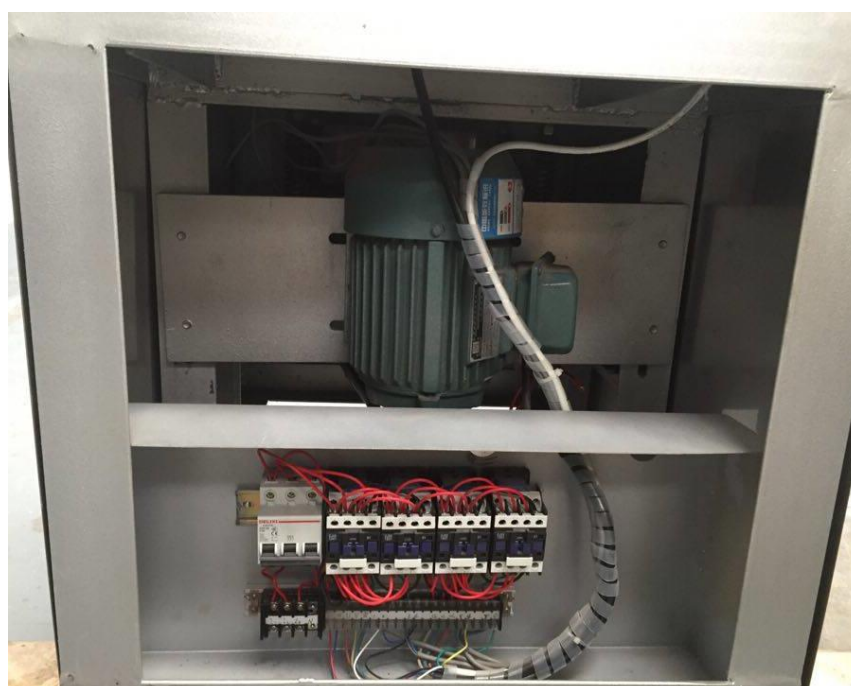


Figura 4. Tablero eléctrico de control

La distribución de la mezcla en la matriz se realiza manualmente mediante una paleta como se indica en la Figura 5.



Figura 5. Distribución manual de la mezcla

Para el control manual son necesarios cuatro sensores inductivos (dos por motor) para detectar las posiciones tanto finales como iniciales. Dichos sensores se encuentran dispuestos como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Disposición de los sensores inductivos

1.7. Estructura del Documento

El capítulo I del presente proyecto brinda una descripción del proceso de automatización implementado, enuncia objetivos y alcance del proyecto y proporciona información básica referente a la empresa auspiciante. El capítulo II trata los conceptos generales necesarios en cuanto a la fundamentación teórica requerida para el desarrollo del proyecto. El capítulo III muestra todo el diseño mecánico del sistema de dosificación implementado. El capítulo IV describe todo el diseño correspondiente al sistema de distribución, en este se detalla el dimensionamiento de componentes neumáticos. El capítulo V describe todo el diseño del sistema de control de la prensa, el cual incluye programación del controlador, pantalla y conexiones eléctricas. El capítulo VI da a conocer la implementación realizada y pruebas de funcionamiento del sistema, identificando limitaciones y parámetros de trabajo de la máquina. El capítulo VII presenta conclusiones y recomendación. A continuación del capítulo VII se tiene la sección ANEXOS, en la cual se adjuntan planos y diagramas correspondientes a la implementación.

CAPÍTULO II

2. CONCEPTOS GENERALES

2.1. Conceptos Básicos para un diseño Mecánico

La ingeniería mecánica está relacionada con la producción y el procesamiento de energía, así como con las técnicas de automatización. Contiene una diversidad de disciplinas entre las cuales se encuentran la mecánica de sólidos, de fluidos, la transferencia de masa y momento, selección de materiales, procesos de manufactura, entre otros, considerando en todo momento el impacto ambiental.

2.1.1. Fases e interacciones del proceso de diseño

El proceso para el diseño más común se observa en la Figura 7, comienza con la identificación de una necesidad y la disposición de satisfacer dicha necesidad. Después de iteraciones, concluye con la presentación del producto o servicio. De acuerdo con la naturaleza del diseño, algunas fases de éste pueden repetirse durante el desarrollo del producto.

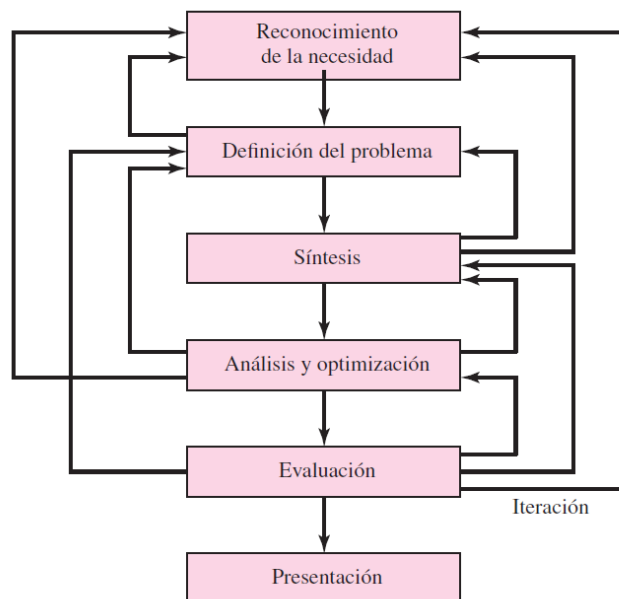


Figura 7. Fases del proceso de diseño

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008).

Como se observa en la Figura 7, el proceso comienza con el reconocimiento de la necesidad, seguido se define el problema, esta tarea es más específica pues se deben incluir todas las especificaciones que requiere el objeto a diseñar. Luego se estudian posibles conceptos que puedan solucionar el problema, una vez seleccionada la mejor opción se analiza la viabilidad y si es posible se la optimiza, a continuación la fase de evaluación, en la cual se realiza pruebas para asegurar el éxito del producto; finalmente se culmina con la presentación del mismo. Este proceso es iterativo.

2.1.2. Consideraciones de Diseño

Muchas veces la resistencia que requiere un elemento es un factor imprescindible para determinar la geometría y dimensiones del mismo. Por ello se determina que la resistencia es una consideración de diseño ya que esta influye directamente en el proyecto. Entre las consideraciones más importantes se puede mencionar:

- Funcionalidad
- Ruido
- Resistencia/esfuerzo
- Distorsión/deflexión/rigidez
- Forma
- Desgaste
- Tamaño
- Corrosión
- Control
- Seguridad
- Propiedades térmicas
- Confiabilidad
- Manufacturabilidad
- Lubricación
- Utilidad
- Comercialización
- Costo
- Mantenimiento
- Fricción
- Volumen
- Peso
- Vida
- Capacidad de reciclado/
recuperación de recursos

Algunas de las propiedades mencionadas anteriormente se relacionan de manera directa con las dimensiones, el material, el procesamiento y la unión de los elementos del sistema. Algunas características pueden estar interrelacionadas, lo que afecta la configuración del sistema total (Budynas & Nisbett, 2008).

2.2. Norma técnica de buenas prácticas de manufactura para alimentos

El capítulo I de la norma, denominado “De las instalaciones y requisitos de buenas prácticas de manufactura” en su artículo tres nos referencia las condiciones mínimas de operación tales como que el diseño y distribución de las áreas permita y facilite el mantenimiento, limpieza y desinfección con el fin de minimizar el riesgo de contaminación. Además indica que las superficies que se encuentren en contacto con los alimentos, no deben ser tóxicas. El diseño se debe realizar teniendo en cuenta que áreas cerradas facilitan el refugio de plagas.

El artículo cinco del capítulo I establece que el diseño y construcción debe realizarse teniendo de forma que ofrezca protección contra polvo, materias extrañas, insectos, roedores, aves y otros elementos del ambiente exterior y que mantenga las condiciones sanitarias apropiadas según el proceso. El artículo seis con respecto a las áreas, estructuras y accesorios establece que:

- a) Las escaleras, elevadores y estructuras complementarias se deben ubicar y construir de manera que no causen contaminación al alimento o dificulten el flujo regular del proceso y la limpieza de la planta;
- b) Deben estar en buen estado y permitir su fácil limpieza;
- c) En caso de que estructuras complementarias pasen sobre las líneas de producción, es necesario que las líneas de producción tengan elementos de protección y que las estructuras tengan barreras a cada lado para evitar la caída de objetos y materiales extraños. (ARCSA, 2015)

El capítulo II de la norma hace referencia a los equipos y utensilios, donde el artículo ocho indica que los equipos deben estar dispuestos acorde a las operaciones a realizar y al tipo de alimento a producir. Donde se entiende por equipo “las máquinas utilizadas para la fabricación, llenado o envasado, acondicionamiento, almacenamiento, control, emisión y transporte de materias primas y alimentos terminados” (ARCSA, 2015)

Con respecto a los materiales:

Las especificaciones técnicas dependerán de las necesidades de producción y cumplirán los siguientes requisitos:

1. Construidos con materiales tales que sus superficies de contacto no transmitan sustancias tóxicas, olores ni sabores, ni reaccionen con los ingredientes o materiales que intervengan en el proceso de fabricación;
2. En aquellos casos en los cuales el proceso de elaboración del alimento requiera la utilización de equipos o utensilios que generen algún grado de contaminación se deberá validar que el producto final se encuentre en los niveles aceptables;
3. Debe evitarse el uso de madera y otros materiales que no puedan limpiarse y desinfectarse adecuadamente, cuando no pueda ser eliminado el uso de la madera debe ser monitoreado para asegurarse que se encuentra en buenas condiciones, no será una fuente de contaminación indeseable y no representará un riesgo físico;
4. Sus características técnicas deben ofrecer facilidades para la limpieza, desinfección e inspección y deben contar con dispositivos para impedir la contaminación del producto por lubricantes, refrigerantes, sellantes u otras sustancias que se requieran para su funcionamiento;
5. Cuando se requiera la lubricación de algún equipo o instrumento que por razones tecnológicas esté ubicado sobre las líneas de producción, se debe utilizar sustancias permitidas (lubricantes de grado alimenticio) y establecer barreras y procedimientos para evitar la contaminación cruzada, inclusive por el mal uso de los equipos de lubricación;
6. Todas las superficies en contacto directo con el alimento no deben ser recubiertas con pinturas u otro tipo de material desprendible que represente un riesgo físico para la inocuidad del alimento;
7. Las superficies exteriores y el diseño general de los equipos deben ser construidos de tal manera que faciliten su limpieza;
8. Las tuberías empleadas para la conducción de materias primas y alimentos deben ser de materiales resistentes, inertes, no porosos, impermeables y fácilmente desmontables para su limpieza y lisos en la superficie que se encuentra en contacto con el alimento. Las tuberías fijas se limpiarán y desinfectarán por recirculación de sustancias previstas para este fin, de acuerdo a un procedimiento validado;
9. Los equipos se instalarán en forma tal que permitan el flujo continuo y racional del material y del personal, minimizando la posibilidad de confusión y contaminación;
10. Todo el equipo y utensilios que puedan entrar en contacto con los alimentos deben estar en buen estado y resistir las repetidas operaciones de limpieza y desinfección. En cualquier caso el estado de los equipos y utensilios no representará una fuente de contaminación del alimento. (ARCSA, 2015)

2.3. Materiales grado alimenticio

En el ámbito industrial para el procesamiento de alimentos, los componentes de los cuales están conformados las máquinas no deben desprender ni absorber sustancias nocivas que alteren negativamente el sabor ni el olor de los alimentos, tanto por el contacto directo así como indirecto. Esto garantiza la inocuidad de los mismos, así dichos materiales no deben reaccionar al producto de limpieza ni a productos químicos antimicrobianos (desinfectantes). Por lo tanto los materiales deben ser resistentes a la corrosión, estables mecánicamente y diseñados de tal forma que la superficie del material no sufra cambios (FESTO, 2013).

2.3.1. Materiales comunes en la industria alimenticia

2.3.1.1. Acero inoxidable de aleación fina

Suele ser la opción más idónea para la construcción de máquinas y equipos en la industria alimenticia. Estos materiales se indican en la Figura 8.

AISI	EN10088-1	DIN	Internacional	Apto para el contacto con productos alimentarios según	Clase de resistencia a la corrosión CRC
AISI 304	X5CrNi18-10	1.4301	0Cr18Ni9 (China) SUS 304 (Japón) STS 304 (Corea) 08Ch18N10 (CEI)	ANSI/NSF 51	3 (4 con superficie lisa, p. ej., mediante pulido electrolítico)
AISI 316	X5CrNiMo17-12-2	1.4401	STS 316 (Corea) 08Ch16N11M3 (CEI) 0Cr17Ni12Mo2 (China) SUS 316 (Japón)	ANSI/NSF 51	3 (4 con superficie lisa, p. ej., mediante pulido electrolítico)
AISI 316L	X2CrNiMo17-12-2	1.4404	00Cr17Ni14Mo2 (China) STS 316L (Corea) SUS 316L (Japón)	ANSI/NSF 51	3 (4 con superficie lisa, p. ej., mediante pulido electrolítico)
AISI 316L	X2CrNiMo18-14-3	1.4435	00Cr17Ni14Mo2 (China) SUS 316L (Japón)	ANSI/NSF 51	3 (4 con superficie lisa, p. ej., mediante pulido electrolítico)
AISI 329	X3CrNiMoN27-5-2	1.4460	0Cr26Ni5Mo2 (China) 10Ch26N5M (CEI) SUS 329J1 (Japón)	ANSI/NSF 51	3 (4 con superficie lisa, p. ej., mediante pulido electrolítico)
AISI 316Ti	X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	0Cr18Ni12MoTi (China) 10Ch17N13M2T (CEI) STS 316Ti (Corea) SUS 316Ti (Japón)	ANSI/NSF 51	El titanio incrementa la CRC a 4

Figura 8. Aceros de Aleación fina

Fuente: (FESTO, 2013)

2.3.1.2. Materiales de aluminio

Suelen utilizarse con frecuencia para las estructuras. Son económicos y fáciles de procesar y mecanizar, este tipo de materiales se los observa en la Figura 9.

Denominación	Código de material según EN	Apto para el contacto con productos alimentarios según	Clase de resistencia a la corrosión CRC sin tratar	Clase de resistencia a la corrosión CRC anodizado
AlCuMg1, AlCuMg2	EN AW-2017A, EN AW-2024	–	0	1
Al99,5	EN-AW-1050A	ANSI/NSF 51	0 ... 1	2
AlMgSi0,5	EN-AW-6060	ANSI/NSF 51	1 ... 2	3
AlMgSi0,7	EN-AW-6005A	ANSI/NSF 51	1 ... 2	3
AlMgSi1	EN-AW-6082	ANSI/NSF 51	1 ... 2	3
AlMg1, AlMg3, AlMg5	EN-AW-5005, EN-AW-5774, EN-AW-5019	ANSI/NSF 51	1 ... 2	3

Figura 9. Aleaciones de Aluminio

Fuente: (FESTO, 2013)

2.3.1.3. Materiales sintéticos

Los materiales sintéticos y elastómeros que puedan tener un contacto directo con el alimento deben cumplir la disposición 1935/2004/CE o la disposición sobre materiales sintéticos 10/2011 o las directivas de la FDA. Se deben tener en cuenta varias consideraciones para elegir un material sintético, las mismas se enlistan a continuación:

- Resistencia al riesgo de corrosión.
- Capacidad de limpieza (los materiales no deben reaccionar al producto de limpieza ni a productos químicos antimicrobianos).
- Las piezas no deben desprender ni absorber olores ni sustancias nocivas puesto que están en contacto directo con el alimento (FESTO, 2013).

Los materiales sintéticos y elastómeros utilizados en la industria alimenticia se los observa en la Figura 10.

Denominación	Abreviatura	Conformidad dentro de un grupo posible según:	Resistencia a ácidos diluidos	Resistencia a lejías diluidas
Polipropileno	PP	FDA y / o 10/2011	±	+
Poliamida	PA	FDA y / o 10/2011	-	o
Cloruro de polivinilo	PVC	-	±	±
Polifluoruro de vinilideno	PVDF	FDA y / o 10/2011	±	±
Polioximetileno	POM	FDA y / o 10/2011	-	o
Polimetilmetacrilato	PMMA	FDA y / o 10/2011	±	±
Policarbonato	PC	FDA y / o 10/2011	±	-
Poliétileno HD	PE-HD	FDA y / o 10/2011	±	±
Tereftalato de polietileno	PET	FDA y / o 10/2011	o	-
Polieteretercetona	PEEK	FDA y / o 10/2011	±	±
Politetrafluoroetileno	PTFE	FDA y / o 10/2011	±	±
Caucho etileno-propileno-dieno	EPDM	FDA	±	±
Caucho fluorado	FKM/caucho fluorado	FDA	±	-

Figura 10. Materiales Sintéticos y Elastómeros

Fuente: (FESTO, 2013)

2.4. Principio de funcionamiento de una prensa electromecánica

Una prensa (ver Figura 11) es una máquina utilizada en operaciones de trabajo frío o caliente. Compuesta de un bastidor que sostiene una bancada y un ariete, cuenta además con una fuente de potencia que dependiendo de los requerimientos puede ser eléctrica, mecánica, neumática o hidráulica.

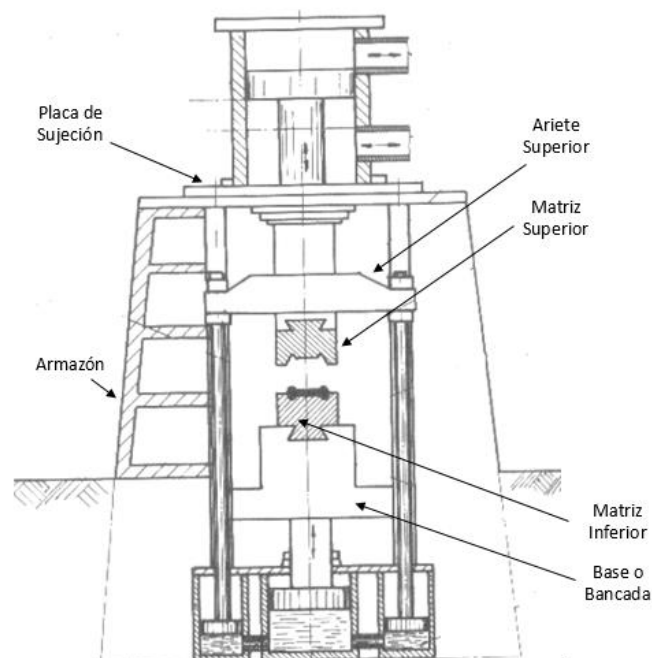


Figura 11. Partes Generales de una Prensa

Fuente: (Reyes Ibarra & Medina M., 2000).

El principio de funcionamiento es un mecanismo que se ocupa de desplazar el ariete linealmente y en ángulos rectos con relación a la bancada de forma que se realice una presión regulable o fija sobre la misma. Generalmente se ubica una matriz sobre la bancada para que mediante la presión ejercida por el ariete se conforme algún material según parámetros y requerimientos de diseño.

Una prensa electromecánica está compuesta por un sistema mecánico, motores y sistemas de transmisión de potencia, además para el accionamiento de dichos motores cuentan con un sistema de control eléctrico compuesto por contactores, relés, pulsadores, entre otros elementos eléctricos, los que permiten operar la prensa siempre y cuando se cuente con un suministro eléctrico estable y apto para los requerimientos de potencia.

2.5. Sistemas de dosificación

En la Industria Alimenticia existen diferentes sistemas y métodos de dosificación según el tipo de producto manejado. Los más utilizados en cuando se refiere a la dosificación de productos secos e higroscópicos se los cita a continuación.

2.5.1. Dosificación por Vibración

Este tipo de sistema de dosificación se utiliza para productos secos de estructura rígida, dado que es necesario que el producto no tienda a pegarse por efecto del movimiento vibratorio que se produce al realizar la dosificación. Este sistema está compuesto por un elemento que produce la vibración y un soporte elástico el cual permite el movimiento generado en la vibración del sistema.

Como ejemplo podemos citar los alimentadores electromecánicos, los cuales se utilizan fundamentalmente para extraer o dosificar con un caudal fijo el producto a manipular. No obstante, mediante la conexión de los vibradores de accionamiento a través de un variador de frecuencia, se puede llevar a cabo un control de caudal, un ejemplo se puede observar en la Figura 12 (URBAR, 2003).



Figura 12. Sistema de dosificación por Vibración

Fuente: (EXAKTAPACK, 2016)

2.5.2. Dosificación por Tornillo

En un Dosificador de tornillo como se observa en la Figura 13 y Figura 14, el elemento principal es un tornillo o transportador situado en la parte inferior o perpendicular a la boca de la tolva de alimentación que tiene como fin dosificar un volumen determinado de producto en cada vuelta del tornillo. La velocidad de giro del helicoidal está dada por un sistema de reducción de velocidad agregado a un motor eléctrico, mediante este control es posible determinar el flujo másico a dosificar, es decir la cantidad de producto en un tiempo establecido. (Gracia Torres, 2012).

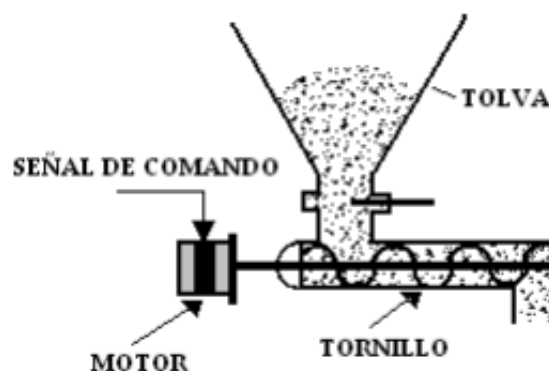


Figura 13. Dosificador Volumétrico de Tornillo horizontal

Fuente: (Gracia Torres, 2012).



Figura 14. Dosificador Volumétrico de Tornillo Vertical

Fuente: (COLLINGWOOD, 2015)

2.5.2.1. Dosificador Volumétrico Vertical

Es importante tener en cuenta que en la industria alimenticia los productos a dosificar muchas veces no son productos secos por lo cual es recomendable en algunas ocasiones utilizar un dosificador volumétrico vertical para evitar apelmazamientos de la mezcla en la boca de la tolva manteniendo a todo el producto en movimiento mediante raspadores y agitadores, el esquema básico con sus partes en este sistema de dosificación se observa en la Figura 15.

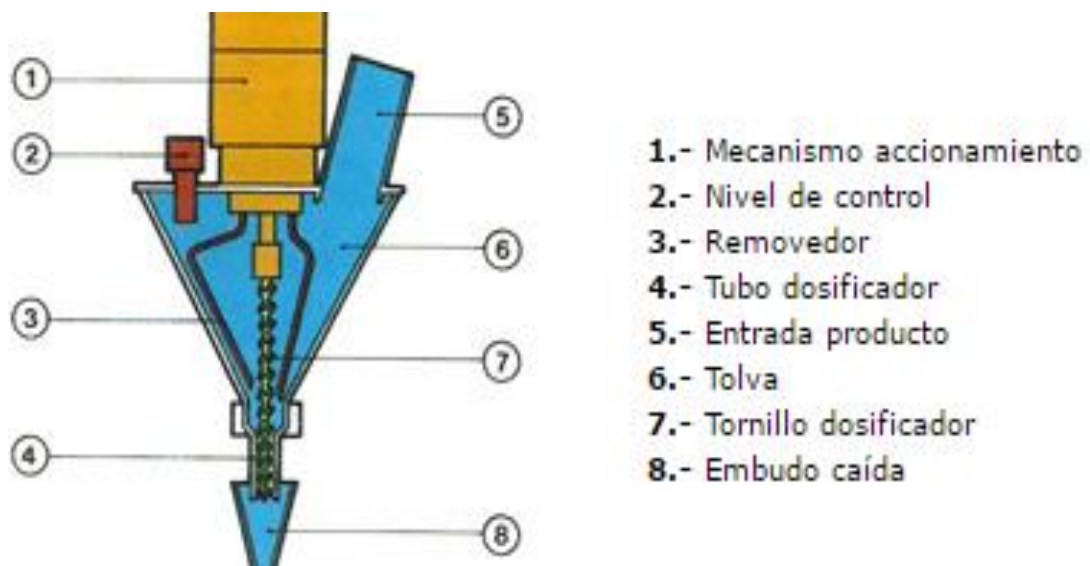


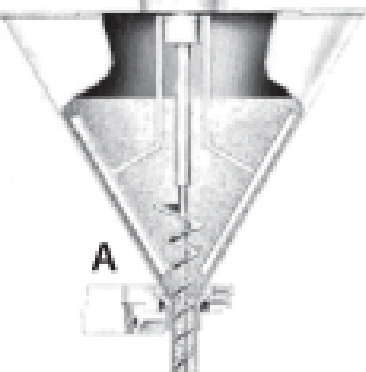
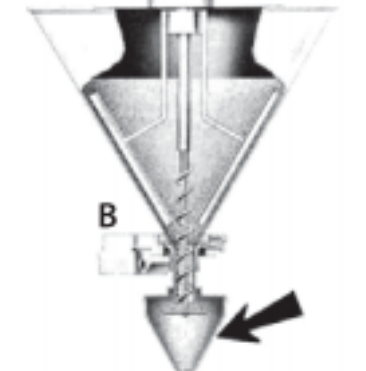
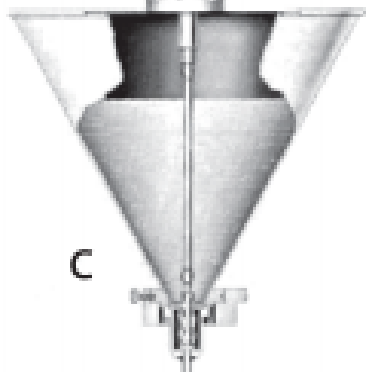
Figura 15. Partes de un dosificador Volumétrico de tornillo vertical

Fuente: (POSTPACKS, 2009).

2.5.2.1.1. Tipos de Dosificadores Volumétricos Verticales

MEXIMAQ en su catálogo, "Llenadora con Tornillo Helicoidal – TH1900", hace referencia a tres tipos de dosificador volumétrico vertical, indicados en la Tabla 4, donde se muestran los diferentes tipos de sistemas de dosificación volumétrica, así como también las características que presenta cada sistema y el tipo de material con el cual es recomendable usar dicho sistema.

Tabla 1
Tipos de dosificadores volumétricos

Tipo de material	Tipo de dosificador	Características	Figura
Polvos, flujo no libre.	Agitador de baja velocidad y gusano.	Realiza llenados precisos sin que el producto se adhiera dentro de la tolva. Todo fabricado en acero inoxidable. Ver Figura 16.	
Polvos, flujo libre.	Gusano dosificador con cono colector.	El cono colector sirve para dar un control de llenado, evitando el escurrimiento del producto a través del gusano. Ver Figura 17.	
Líquidos, pastas y crema.	Gusano dosificador con bomba de desplazamiento positivo.	Bomba de desplazamiento positivo de acero inoxidable dosifica líquidos viscosos, pastas y cremas. Ver Figura 18.	

Fuente: (MEXIMAQ, 2012)

2.5.2.2. Dosificador de Tornillo Horizontal

Se llaman transportadores de tornillo sin fin a los aparatos que efectúan el desplazamiento del material por un canalón, valiéndose de un tornillo giratorio. Este sistema consta de varios elementos que se observan en la Figura 19, los mismos que al trabajar en conjunto trasladan o desplazan el material en función del número de giros del helicoidal:

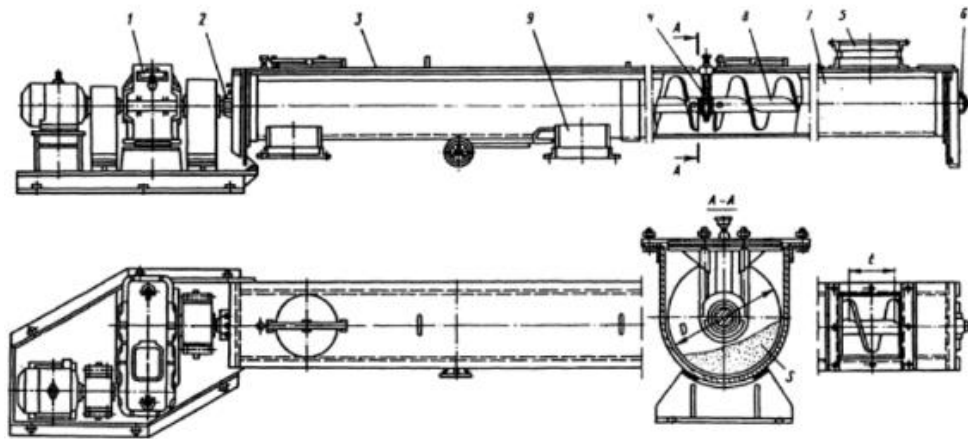


Figura 19. Transportador horizontal helicoidal

Fuente: (Miravete & Larrodé, 2004)

1. Accionamiento.
2. Apoyo extremo.
3. Tapa.
4. Apoyo intermedio.
5. Dispositivo cargador.
6. Apoyo extremo.
7. Canalón inmóvil, cuya parte inferior tiene la forma de un semicilindro.
8. Árbol impulsor.
9. Dispositivo descargador.

La descarga del transportador horizontal puede realizarse en cualquier punto a través de los agujeros descargadores de chapa de fondo. Las espiras del tornillo se fabrican estampadas de chapa de acero de 4 a 8 mm de espesor y luego se sueldan al árbol. Los transportadores de tornillo sin fin se emplean

ampliamente para desplazar cargas a alta temperatura y/o polvorizadas, que emanen evaporaciones nocivas, debido a la facilidad de hermetizar el conducto. Los transportadores en cuestión pueden ser ubicados en canalones horizontales, inclinados y verticales, dependiendo del tipo de material y aplicación. Su uso es conveniente cuando se necesita movilizar materiales en forma de polvo, de grano fino y fibroso, por el contrario no es conveniente emplear estos transportadores para desplazar cargas de grandes dimensiones, abrasivas o pegajosas. (Miravete & Larrodé, 2004)

2.5.2.3. Diseño de Tornillos transportadores

El canalón del transportador de tornillo sin fin se suele fabricar de chapa de acero de 2 a 8 mm de espesor. Para determinar el flujo de material del transportador de tornillo sin fin se debe relacionar el área efectiva de relleno del canalón, la velocidad de desplazamiento, la densidad del material y el coeficiente de disminución, como se observa en la ecuación [2. 1]:

$$Q = 3600 \times S \times v \times \rho \times k \quad [2. 1]$$

Donde:

- Q : Flujo másico del transportador. $[T/h]$
- S : Área de relleno del canalón. $[m^2]$
- v : Velocidad de desplazamiento por el transportador. $[m/s]$
- ρ : Densidad del material. $[T/m^3]$
- k : Coeficiente de disminución del flujo de material.

El coeficiente de disminución del flujo de material k , depende del ángulo de inclinación β del canalón con respecto a la horizontal (ver Tabla 2):

Tabla 2
Coeficiente disminución en función del ángulo inclinación

β en grados	0	5	10	15	20
k	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Fuente: (Miravete & Larrodé, 2004)

La velocidad de desplazamiento por el transportador de tornillo sin fin se obtiene a partir de la ecuación [2. 2]:

$$v = \frac{t \times n}{60} \quad [2. 2]$$

Teniendo en cuenta que para un tornillo de hélice simple se cumple la ecuación [2. 3] y remplazando en [2. 2] se deduce [2. 4]:

$$t = a \quad [2. 3]$$

$$v = \frac{a \times n}{60} \quad [2. 4]$$

Donde:

- t : Paso del tornillo transportador. [m]
- a : Avance tornillo transportador. [m/rev]
- n : Velocidad de rotación del tornillo. [rpm]

El paso del tornillo t , se obtiene a partir de la ecuación [2. 5]:

$$t = a = c \times D \quad [2. 5]$$

La constante c , depende del material, ya que cuanto más ligero sea el material a transportar, mayor será c , como lo indica la expresión [2. 6]. Por lo tanto dicho paso es mayor cuanto más ligera sea la carga.

$$0,5 \leq c \leq 1 \rightarrow \begin{cases} 0,5 & \text{carga poco ligera} \\ 1 & \text{carga muy ligera} \end{cases} \quad [2. 6]$$

El diámetro del tonillo D , depende del tamaño de los pedazos de la carga a desplazar, teniendo en cuenta lo siguiente:

- $D \geq 12$ veces el tamaño de los pedazos a transportar para material homogéneo, debido al grosor de las partículas.
- $D \geq 4$ veces mayor que el grosor máximo de los trozos para material no clasificado (ordinario u heterogéneo).

La velocidad de rotación del tornillo n , depende de la naturaleza de la carga a transportar y del diámetro del tornillo, es decir dicha velocidad es inversamente proporcional a:

- El peso a granel
- La abrasividad de las cargas
- El diámetro del tornillo

“Para los materiales pesados, la velocidad de rotación suele ser cerca de 50 rpm y para los ligeros de hasta 150 rpm.” (Miravete & Larrodé, 2004)

El área de relleno del canalón del transportador S , se obtiene a partir de la ecuación [2. 7]:

$$S = \lambda \frac{\pi \times D^2}{4} \quad [2. 7]$$

Donde:

- S : Área de relleno del canalón. [m^2]
- D : Diámetro del tornillo. [m]
- λ : Coeficiente de relleno de la sección del canalón, menor que la unidad.

Para evitar el amontonamiento de material cerca de los cojinetes intermedios, se toma los valores de λ mostrados en la Tabla 3, en función del tipo de carga:

Tabla 3
Valores de λ en función del tipo de material

Tipo de carga	λ
Pesadas y abrasivas	0,125
Pesadas poco abrasivas	0,25
Ligeras poco abrasivas	0,32
Ligeras no abrasivas	0,4

Fuente: (Miravete & Larrodé, 2004)

2.5.2.3.1. Metodología de diseño para transportadores helicoidales

El catálogo de CEMA® SCREW CONVEYORS del 2002, propone un conjunto de pasos para el diseño de transportadores helicoidales, con el fin de establecer orden en el diseño y así asegurar el éxito del mismo. Los pasos propuestos CEMA se encuentran resumidos a continuación:

Paso 1: Establecer los factores conocidos. Con respecto al material a transportar y volúmenes necesarios de producción.

1. Material a transportar.
2. Tamaño máximo de partícula.
3. Volumen en porcentaje de tamaños de partícula.
4. Capacidad requerida.
5. Distancia a la que se debe transportar el material.
6. Cualquier otro factor adicional que pueda afectar el transportador o su operación.

Paso 2: Clasificación de material. Clasificar el material estableciendo sus principales características.

Paso 3: Determinar la capacidad de diseño. Determine la capacidad equivalente, a partir del producto entre la capacidad requerida y los factores CF_1 , CF_2 y CF_3 mostrados en la Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6, según la [2. 8].

$$C_E = C_R \times CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \quad [2. 8]$$

Donde:

- C_E : Capacidad Equivalente. [g/s]
- C_R : Capacidad Requerida. [g/s]
- CF_1 : Capacidad para Transportador con Paso Especial.
- CF_2 : Capacidad para Transportador con Helicoidal Especial.
- CF_3 : Capacidad para Transportador con Paletas Mezcladoras.

Tabla 4
Factores de capacidad según paso especial CF_1

Factores de Capacidad para Transportador con Paso Especial CF_1		
Paso	Descripción	CF_1
Estándar	Paso = Diámetro del Helicoidal	1,00
Corto	Paso = $\frac{2}{3}$ Diámetro del Helicoidal	1,50
Medio	Paso = $\frac{1}{2}$ Diámetro del Helicoidal	2,00
Largo	Paso = $1\frac{2}{3}$ Diámetro del Helicoidal	0,67

Fuente: (Martin Sprocket & Gear, 2016)

Tabla 5
Factores de capacidad para helicoidal especial CF_2

Tipo de Helicoidal	Carga del Transportador		
	15 %	30 %	45 %
Helicoidal con Corte (ver Tabla 7)	1,95	1,57	1,43
Helicoidal con Corte y Dobleza (ver Tabla 7)	N.R.*	3,75	2,54
Helicoidal de Listón (ver Tabla 7)	1,04	1,37	1,62

* No se recomienda.
* Si se utiliza ninguno de los tipos anteriores de helicoidal $CF_2 = 1,0$

Fuente: (Martin Sprocket & Gear, 2016)

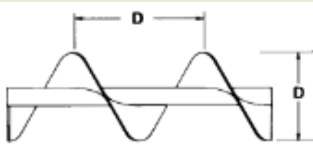
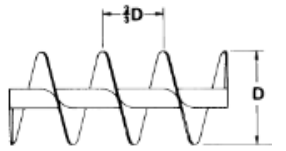
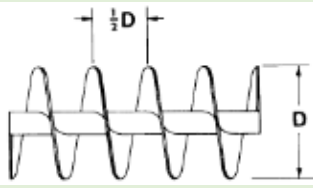
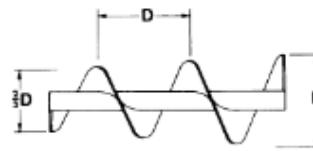
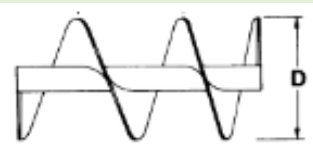
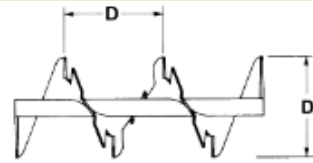
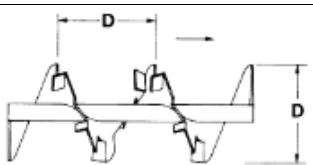

Tabla 6
Capacidad de transportador con paletas mezcladoras CF_3

Capacidad para Transportador con Paletas Mezcladoras CF_3					
Paletas estándar de paso invertido a 45°	Paletas por paso				
	Ninguna	1	2	3	4
Factor CF_3	1,00	1,08	1,16	1,24	1,32

Fuente: (Martin Sprocket & Gear, 2016)

El tipo de helicoidal se define a partir del material a transportar y la función que va a realizar, según la Tabla 7.

Tabla 7
Tipos de helicoidales según aplicación

Tipo de Helicoidal según la aplicación		
Tipo Paso	Descripción	Ilustración
Helicoidal Sencillo		
Estándar	Los helicoidales con paso igual al diámetro son consideraciones estándares. Son adecuados para manejar una gran variedad de materiales en la mayoría de las aplicaciones convencionales.	
Corto	El paso del helicoidal se reduce a 2/3 del diámetro. Se recomienda para aplicaciones inclinadas o verticales. Se utilizan en alimentadores helicoidales. El paso corto reduce el flujo de los materiales que tienden a fluidizarse.	
Medio	Es similar al paso corto excepto que el paso se reduce a la mitad del paso estándar. Es muy útil para aplicaciones inclinadas o verticales, en alimentadores helicoidales y para manejar materiales extremadamente fluidos.	
Cónico, Estándar	Los alabes del helicoidal se incrementan de 2/3 hasta el diámetro total. La principal aplicación es en alimentadores helicoidales para permitir el manejo uniforme de materiales con partículas de gran tamaño. Son equivalentes en su operación pero más económicos que los de paso variable.	
Variable	Los helicoidales tienen un paso que se incrementa. Se utilizan en alimentadores helicoidales para manejar uniformemente materiales finos que fluyen libremente, a todo lo largo de la abertura de alimentación.	
Helicoidal con Corte		
Estándar	Los helicoidales se recortan a intervalos regulares en el extremo exterior. Favorece el efecto de mezclado y agitación del material en tránsito. Es muy útil para mover materiales que tienden a compactarse.	
Helicoidal con Corte y Doblez		
Estándar	Los segmentos doblados en el helicoidal, levantan y derraman el material. El flujo retardado parcialmente favorece un minucioso mezclado. Es excelente para calentar, enfriar o airear sustancias ligeras.	
Continúa		

Disco en el Extremo del Helicoidal	
El disco es del mismo diámetro del helicoidal y soldado al tubo del helicoidal en el extremo de descarga. Desde luego gira con el helicoidal y ayuda a mantener el material de descarga lejos del sello.	
Helicoidal de Listón	
Son excelentes para transportar materiales pegajosos. El espacio abierto entre el helicoidal y el tubo evita que el material se acumule y se incruste.	
Con paletas	
Estándar Las paletas ajustables se colocan en el helicoidal en posición opuesta al flujo para tener un mezclado suave pero minucioso del material transportado.	
Doble Helicoidal	
Estándar Los helicoidales dobles de paso estándar permiten que ciertos tipos de materiales fluyan suave y uniformemente.	
Paletas	
Las paletas ajustables proporcionan una acción de mezclado total y de flujo controlado del material.	

Fuente: (Martin Sprocket & Gear, 2016)

Paso 4: Determine el diámetro. Use la ecuación de flujo másico [2. 9]:

$$Q = 3600 \times S \times v \times \rho \times k \quad [2. 9]$$

Paso 5: Revise el diámetro mínimo del Helicoidal por Limitaciones en el tamaño de Partículas. Tener en cuenta que debido al área efectiva de relleno del canalón, se presenta la relación indicada en la ecuación [2. 10]:

$$d = (1 - \lambda) \times D \quad [2. 10]$$

Paso 6: Determine el tipo de Buje adecuado para el material a transportar.

Paso 7: Determine la potencia a partir de las cargas presentes en el sistema de dosificación.

Paso 8: Revise la capacidad torsional y/o de potencia de los componentes de los transportadores.

Paso 9: Seleccione los componentes en la sección de componentes del catálogo de CEMA® SCREW CONVEYORS del 2002.

Paso 10: Arreglo de los transportadores: Consulte la Tabla 7 para ver los arreglos típicos de los transportadores.

2.6. Tolvas

Las tolvas son elementos destinados al almacenamiento temporal y canalización de materiales granulares o pulverizados, entre otros. Se presenta en distintas geometrías y son de gran utilidad en la agricultura, minería, farmacéutica y sector alimenticio. Se fabrican de hormigón o chapa de acero y tienen un fondo plano o inclinado. Están conformadas en general por una carcasa cuadrada, cilíndrica o cónica, sistema de descarga por tiempo y una tapa.

2.6.1. Selección de Tolvas

La selección de la tolva se encuentra estrechamente relacionada con el tipo de dosificador y el material a ser distribuido. Para la industria alimenticia se presenta la siguiente clasificación:

Tolva con dosificador volumétrico perfecta para alimentos como el grano o el polvo.

Tolva con dosificador de tornillo sin fin permite una dosificación eficiente del alimento pues la cantidad a dispensar es regulada a través de la activación del helicoidal. Este sistema es aprovechado para productos líquidos, semilíquidos y viscosos.

Tolva con dosificador por gravedad se emplea exclusivamente para líquidos.

La tolva con dosificador de tornillo y balanza este sistema presenta gran precisión pues la cantidad de producto dosificado es controlado a través de un sistema de pesaje. (Grupo AEX, 2011)

2.6.2. Diseño de Tolvas

Para el diseño de la tolva es necesario tener en cuenta sobre todo los siguientes parámetros:

- Propósito y aplicación de la tolva.
- Capacidad de almacenamiento.
- Densidad del material a almacenar.
- Localización y topografía del terreno.
- Material de construcción.
- Angulo de inclinación.
- Volumen inútil: de 15 a 30 % del volumen total.

Con respecto al ángulo de inclinación de las paredes de la tolva, para productos pegajosos se recomienda inclinaciones de hasta 70° y como material de fabricación acero inoxidable, con el fin de evitar amontonamientos sobre las paredes. (Gomez, 1995)

2.6.2.1.1. Cálculo de fuerza de avance y retroceso de un pistón

La fuerza desarrollada por un cilindro de doble efecto al avanzar el vástago depende de la presión del aire, de la sección del embolo y del rendimiento o pérdidas por rozamiento en las juntas dinámicas, es decir las partes en contacto durante el movimiento. En el retroceso será preciso considerar también el diámetro del vástago. (Serrano, 2009)

En el pistón se presenta una fuerza efectiva de avance denominada F_a y una fuerza en el retroceso F_r , las cuales se obtienen a partir de las expresiones [2. 11] y [2. 12]:

$$F_a = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times P \times R \quad [2. 11]$$

Donde:

- F_a : Fuerza efectiva de avance [N]
- D : Diámetro [m]
- P : Presión [Pa]
- R : Rendimiento

$$F_r = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) \times P \times R \quad [2. 12]$$

Donde:

- F_r : Fuerza en el retroceso [N]
- d : Diámetro del vástago [m]

En la Figura 10, se muestran fuerzas teóricas es daN de avance y retroceso del vástago para cilindros de doble efecto para presiones comprendidas entre 2 y 8 *bar*.

D mm	d mm	Sección cm ²		Esfuerzos en daN para presión en bar							
				2		4		6		8	
		Sa	Sr	Fa	Fr	Fa	Fr	Fa	Fr	Fa	Fr
10	4	0,8	0,6	1,6	1,2	3,2	2,4	4,8	3,6	6,4	4,8
12	6	1,1	0,8	2,2	1,6	4,4	3,2	6,6	4,8	8,8	6,4
16	6	2,0	1,7	4,0	3,4	8,0	6,8	12,0	10,2	16,0	13,6
20	10	3,1	2,3	6,2	4,3	12,4	8,6	18,6	13,8	24,8	17,2
25	12	4,9	3,8	9,8	7,6	19,6	15,2	29,4	22,8	39,2	30,4
32	12	8,0	6,9	16,0	13,8	32,0	17,6	48,0	41,4	64,0	55,2
40	18	12,6	10,0	25,2	20,0	50,4	40,0	75,6	60,0	100,8	80,0
50	18	19,6	17,0	39,2	34,0	78,4	68,0	117,6	102,0	156,8	136,0
63	22	31,2	27,4	62,4	54,8	124,8	109,6	187,2	164,4	249,6	219,2
80	22	50,3	46,5	100,6	93,0	201,2	186,0	301,8	279,0	402,4	372,0
100	30	78,5	71,5	157,0	143,0	314,0	286,0	471,0	429,0	628,0	572,0
125	30	123,	115,7	246,0	213,4	492,0	462,8	738,0	694,2	984,0	925,6
160	40	201,0	188,0	402,0	376,0	804,0	752,0	1206,0	1128,0	1608,0	1504,0
200	40	314,0	301,0	628,0	602,0	1256,0	1204,0	1884,0	1806,0	2512,0	2408,0
250	50	491,0	471,0	982,0	942,0	1964,0	1884,0	2946,0	2826,0	3928,0	3768,0

Figura 20. Fuerzas teóricas de avance y retroceso cilindros DE

Fuente: (Serrano, 2009)

2.6.2.1.2. Consumo total de aire del cilindro

Los circuitos neumáticos a diferencia de los hidráulicos, (en donde el aceite circula a través de un circuito cerrado) el aire es expulsado al exterior luego de ser utilizado. Por esta razón el cálculo del consumo de aire es sumamente relevante para el dimensionamiento de las instalaciones neumáticas. (Águeda Casado, Navarro, & Gómez Morales, 2012)

Para el cilindro de doble efecto, el volumen de aire necesario en un ciclo (ida y vuelta) de trabajo se obtiene a partir de la [2. 13], la cual relaciona la diferencia entre el diámetro del vástago y del cilindro, además de la carrera del embolo:

$$V = \frac{\pi}{4} (2 \times D^2 - d^2) \times L \quad [2. 13]$$

Donde:

- V : Volumen de aire (cm^3)
- D : Diámetro del cilindro (cm)
- d : Diámetro del vástago (cm)
- L : Carrera del embolo (cm)

Para dimensionar la cantidad de aire y el costo energéticos que requiere una instalación es importante conocer el consumo de aire en la red neumática. (Ebel, Idler, Prede, & Scholz, 2009)

Dicho consumo se expresa en litros de aire por minuto y se presenta tanto en el avance como en el retroceso, calculándose a partir de las ecuaciones [2. 14], [2. 15] y [2. 16].

$$Q_a = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times L \times (P + 1) \times 10^{-6} \quad [2. 14]$$

$$Q_r = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) \times L \times (P + 1) \times 10^{-6} \quad [2. 15]$$

$$Q_t = Q_a + Q_r \quad [2. 16]$$

Donde:

- Q_a : Consumo de aire en el avance del pistón (l)
- Q_r : Consumo de aire en el retroceso del pistón (l)
- Q_t : Consumo de total de aire (l)
- D : Diámetro del cilindro (mm)
- d : Diámetro del embolo (mm)
- L : Longitud de la carrera (mm)
- P : Presión relativa de trabajo (bar)

El consumo de aire en litros por minutos, indica la capacidad necesaria del compresor para satisfacer la demanda de una instalación neumática. Este parámetro se obtiene a partir de la expresión [2. 17]. (MiCRO, 2016)

$$Q_{[l/min]} = Q_t \times n \quad [2. 17]$$

Donde:

- $Q_{[l/min]}$: Consumo de aire en l/min
- n : Número de ciclos completos (ciclos/min)

2.6.2.1.3. Pérdidas de carga en tuberías

Existen dos tipos de pérdidas de cargas en tuberías, las primarias o continuas se producen debido al rozamiento entre el fluido y las paredes de las tuberías y el rozamiento de unas capas de fluido con otras (régimen laminar) o debido al rozamiento entre las partículas del fluido (régimen turbulento). Se producen sobre todo en tramos rectos de la tubería de sección constante.

Las secundarias o singulares se producen en los estrechamientos, codos, válvulas y demás elementos presentes en la tubería. “Si la conducción es larga, las perdidas secundarias tienen poca importancia, pudiendo a veces despreciarse o bien se tienen en cuenta al final, sumando de un 5 al 10% a las perdidas principales halladas” (Afif Khouri, 2004)

Para la determinación de las pérdidas por carga se debe tener en cuenta dos factores: tipo de tubería (lisa o rugosa) y el tipo de régimen (laminar o turbulento).

2.6.2.1.4. Nivel de presión en la acometida del sistema neumático

La presión del compresor no se puede aprovechar totalmente debido al rozamiento del aire con las paredes de la tubería y por efectos de estrangulamientos en válvulas de paso y los cambios de dirección en el flujo en los codos. FESTO recomienda una presión de trabajo de *6 bar*. Por lo general en los sistemas neumáticos se presentan pérdidas de *0,1 a 0,5 bar*, debido a la resistencia que el aire debe superar para circular a través de los distintos elementos que componen el sistema, por lo tanto “es recomendable que el compresor sea capaz de generar una presión desde *650 hasta 700 kPa (6,5 hasta 7 bar)*, con el fin de disponer siempre de una presión de funcionamiento de *600 kPa (6 bar)*”. (Ebel, Idler, Prede, & Scholz, 2009)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO DE DOSIFICACIÓN

3.1. Selección del tipo de Dosificador Volumétrico

El material utilizado para la elaboración de los dulces, corresponde a una mezcla de maní y azúcar (ver Figura 21), la cual tiende a apelmazarse debido a su higroscopicidad y aceite propio del maní, esto provoca que la mezcla no fluya libremente.

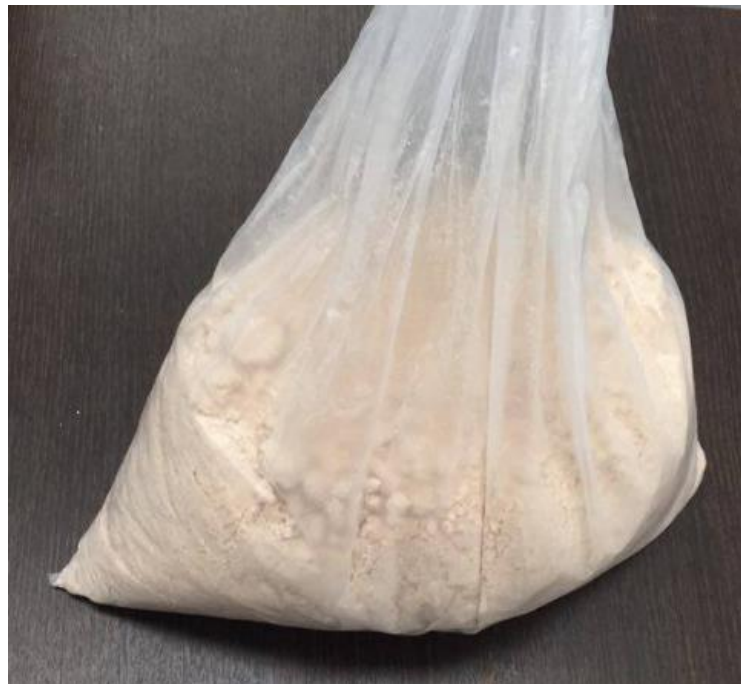


Figura 21. Mezcla de maní y azúcar

Para la selección del tipo de dosificador volumétrico idóneo según nuestro requerimiento, se realizaron pruebas mediante maquetas, con el fin observar el comportamiento de la mezcla tanto con el tornillo horizontal como vertical a la boca de la tolva. Para estas pruebas se implementaron maquetas que se muestran en la Tabla 12.

Tabla 8
Pruebas de distintos conceptos de dosificación.

Tipo de dosificador Volumétrico	Maqueta	Resultados	
		Imagen	Descripción
Con tornillo horizontal			La mezcla forma una cámara de material sobre el tornillo y no fluye.
Con tornillo Vertical			Se forma una cámara vertical alrededor del helicoidal, lo cual ocasiona que la mezcla no fluya.
Con tornillo Vertical y agitador			La mezcla fluye lentamente, pero se forma una capa de material sobre las paredes de la tolva.
Con tornillo Vertical, agitador y raspador			La mezcla fluye a través del tornillo sin pegarse en las paredes de la tolva.

Luego de las pruebas mostradas en la Tabla 12, se concluyó que la disposición vertical del helicoidal dentro de la tolva, facilita el flujo del material, ya que la gravedad colabora con la dosificación de la mezcla higroscópica, además la aplicación del raspador y agitador es indispensable para evitar que el material forme una capa sobre las paredes de la tolva y fluya sin apelmazarse.

3.2. Diseño General del sistema de dosificación

El diseño general del sistema de dosificación comprende un compendio de elementos los cuales corresponden al tornillo, raspador, agitador, eje, tolva, rampa, estructura de soporte y demás elementos. En la Figura 22 se observa el diseño general correspondiente al sub ensamble del tornillo, raspador y agitador.

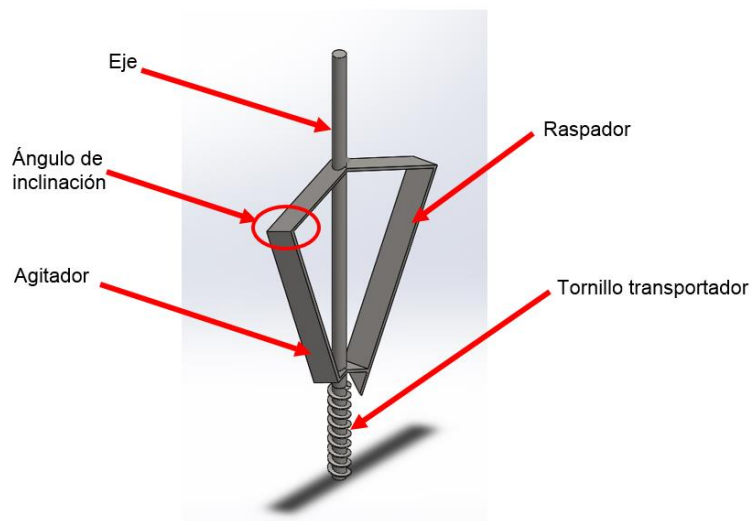


Figura 22. Sub ensamble -tornillo, raspador y agitador.

El raspador observado en la Figura 22 presenta una pequeña extensión en la parte inferior, esto es debido a que la mezcla debe mantenerse en movimiento alrededor del tornillo transportador para evitar apelmazamiento de la mezcla en esta zona. El sub ensamble que se observa en la Figura 22, se acopla dentro de la tolva ya que tiene la función de dosificar el producto y mantener en movimiento la mezcla durante el proceso de dosificación, adicionalmente el sistema de dosificación cuenta con una rampa en la boca de la tolva que tiene como función re direccionar la mezcla.

Todo el sistema mencionado anteriormente se sostiene en una estructura mecánica lo suficientemente robusta para soportar la carga del sistema y el producto, en la Figura 23 se observa el sistema completo de dosificación. El diseño individual de cada una de las piezas que conforman el sistema de dosificación se analiza en apartados a continuación.

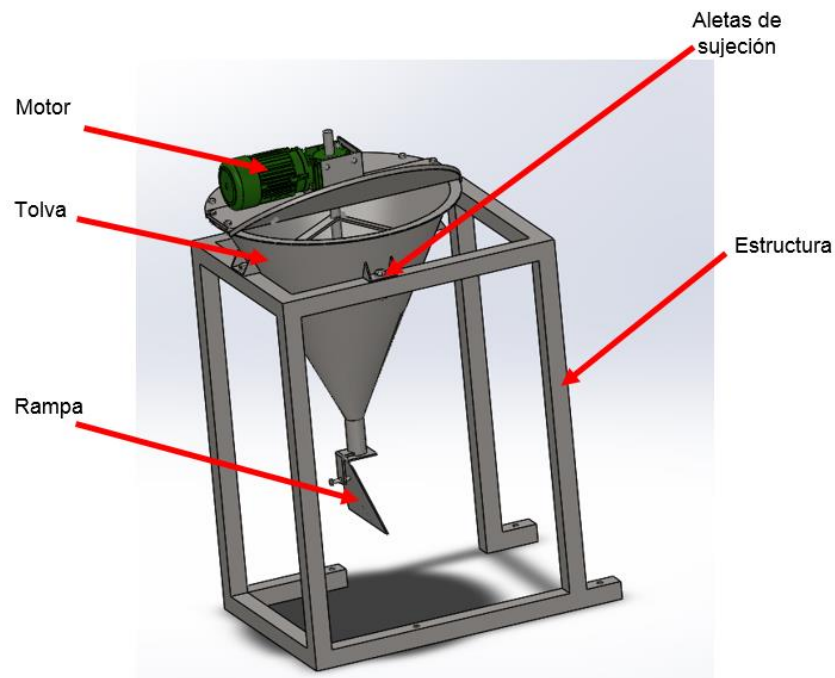


Figura 23. Ensamble completo-Sistema de dosificación.

3.2.1. Diseño del tornillo transportador

Para determinar los parámetros dimensionales se usó el “Procedimiento de diseño para transportadores helicoidales” descrito en el manual de CEMA® SCREW CONVEYORS del 2002, donde se describe un conjunto de pasos secuenciales para el diseño; el primero sugiere establecer los factores conocidos, es decir los requerimientos y condiciones de operación, los cuales se describen a continuación:

Como requerimiento empresarial es necesario producir 250kg de dulces por día, en un solo turno, teniendo en cuenta que cada caramelo pesa aproximadamente 20g y cada ciclo de producción de la prensa produce 24 caramelos. Es importante señalar que dicho proceso solo se llevara a cabo dos días a la semana, es decir 500kg/semana . Esto implica que en una jornada de 8 horas, será necesario producir $31,25\text{ Kg/h}$ es decir, el proceso deberá ofrecer por lo menos 24 dulces por minuto, tal como se muestra en la siguiente expresión:

$$\text{Requerimiento de producción} = 250 \frac{\text{Kg}}{\text{día (8h)}} = 31,25 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 520 \frac{\text{g}}{\text{min}}$$

Como

$$24 \text{ unidades} \rightarrow 480 \text{ g}$$

Entonces:

$$\text{Tiempo de producción} = \frac{480 \text{ g}}{520 \text{ g/min}} = 0,923 \text{ min}$$

Por lo tanto el requerimiento de producción implica que por cada 0,923 min se deben producir 24 unidades de caramelos.

Para el diseño se asignara un tiempo máximo de dosificación de la mezcla sobre la paleta de 15 s, ya que debido a la experimentación este tiempo será suficiente para mantener encendido el motor que ocasionará el giro del tornillo sin fin con lo cual se desplaza la mezcla hacia la paleta. Para obtener el flujo másico se usara la ecuación [3. 1]:

$$Q_m = \frac{m}{t} \quad [3. 1]$$

Donde:

- Q_m : Flujo másico.
- m : masa
- t : tiempo

Por lo tanto:

$$Q_m = \frac{480 \text{ g}}{15 \text{ s}} = 32 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$



Como el material del transportador debe ser de grado alimenticio, se usara el acero AISI 304. En resumen los requerimientos y condiciones de operación de la prensa se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9
Requerimientos y condiciones de operación

Factores conocidos	
Material dosificado	Mezcla de maní y azúcar impalpable
Masa dosificada	480 [g]
Tiempo de dosificación	15 [s]
Flujo Másico	32 [g/s]
Material del transportador	Acero Inoxidable AISI 304

El segundo paso del “Procedimiento de diseño para transportadores helicoidales” descrito en el manual de CEMA® SCREW CONVEYORS del 2002, indica que se debe clasificar el material, indicando las principales características del mismo. El material necesario para la elaboración de los dulces es una mezcla higroscópica de maní molido y azúcar impalpable, la cual fue sometida a pruebas para determinar la densidad, tal como se muestra en la Tabla 10 mostrada a continuación.

Tabla 10
Determinación de la densidad de la mezcla

Volumen del recipiente [cm ³]	Peso [g]	Ilustración
50	46,7	 Figura 24. Prueba de peso 1
100	78,4	 Figura 25. Prueba de peso 2
Densidad [g/cm ³]	0,86	

El tercer paso implica determinar la capacidad de diseño equivalente, para lo cual se usó la ecuación [2. 8] y los factores CF_1 , CF_2 y CF_3 mostrados en la Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6 respectivamente. Entonces:

- $CF_1 = 1$, ya que el paso es igual al diámetro del helicoidal.
- $CF_2 = 1$, ya que se usa un helicoidal sencillo de paso estándar debido su versatilidad con respecto al material a dosificar y su fácil fabricación.
- $CF_3 = 1$, pues no se implementan paletas.
- $C_R = 32 [g/s]$ ver Tabla 9.

$$C_E = C_R \times CF_1 \times CF_2 \times CF_3 = 32 [g/s] \times 1 \times 1 \times 1$$

$$C_E = 32 [g/s]$$

Mediante el cuarto paso se determina el diámetro, utilizando la ecuación de flujo másico [2. 9]:

$$Q = S \times v \times \rho \times k \quad [2. 9]$$

Donde mediante la ecuación [2. 7] se puede determinar el área de relleno del canalón:

$$S = \lambda \frac{\pi \times D^2}{4} \quad [2. 7]$$

Al despejar D se obtiene la siguiente expresión:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times S}{\pi \times \lambda}} \quad [3. 2]$$

Al despejar S de la ecuación [2. 9] y sustituir en [3. 2] se tiene:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times \lambda \times v \times \rho \times k}} \quad [3. 3]$$

Para la velocidad se usa la ecuación [2. 4]:

$$v = a \times n \quad [2. 4]$$

Donde el paso "a" responde a la expresión [2. 5]:

$$a = c \times D \quad [2. 5]$$

Al remplazar "a" en [2. 4] y sustituir en la expresión [3. 3] se obtiene [3. 4]:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \times Q}{\pi \times \lambda \times c \times n \times \rho \times k}} \quad [3. 4]$$

De la Tabla 3 se obtiene el valor del coeficiente de relleno de la sección (λ), el cual para cargas no abrasivas representa 0,4. El valor de "c" es 0,5 [1/rev] según la expresión [2. 6], debido a que la carga es poco ligera.

El coeficiente de disminución del flujo de material k, depende del ángulo de inclinación β del canalón con respecto a la horizontal (ver Tabla 3), por lo tanto al tomar el valor de 0° se asegura que la mezcla fluya, en consecuencia k es igual a 1. La densidad de la mezcla según la Tabla 10 es 0,86 [g/cm³] que equivale a 0,86 [T/m³] y el flujo másico según la Tabla 9 es 32 [g/s].

"Para los materiales pesados, la velocidad de rotación suele ser cerca de 50 rpm y para los ligeros de hasta 150 rpm." (Miravete & Larrodé, 2004)

Como la mezcla es más ligera que pesada, se asume que el reductor debe tener una velocidad de 120 rpm. Entonces al remplazar los anteriores valores en la ecuación [3. 4] se tiene:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \times 32 \left[\frac{g}{s} \right]}{\pi \times 0,4 \times 0,5 \left[\frac{1}{rev} \right] \times 120 \left[\frac{rev}{min} \times \frac{min}{60 s} \right] \times 0,86 \left[\frac{g}{cm^3} \right] \times 1}}$$

$$D = 4,911 \text{ cm}$$

$$\mathbf{D = 49,11 \text{ mm}}$$

El quinto paso indica que se debe revisar el diámetro mínimo del Helicoidal por limitaciones en el tamaño de Partículas. En esta aplicación el tamaño de las partículas no es limitante en el diseño ya que las partículas que componen

la mezcla son muy pequeñas, lo que conlleva a obviar este parámetro para enfocarse en otros más críticos.

Por lo tanto para determinar el diámetro de la hélice del helicoidal (D) y el diámetro del eje (d), se debe tener en cuenta el coeficiente de relleno de la sección del canalón " $\lambda = 0,4$ " es decir que el área efectiva de dosificación del helicoidal en el peor de los casos es de 40%, como se muestra en la Figura 26, lo cual implica la ecuación [2. 10]:

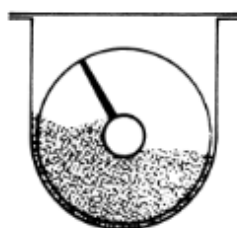


Figura 26. Área efectiva de dosificación de 40%

Fuente: **(Martin Sprocket & Gear, 2016)**

$$d = (1 - \lambda) \times D \quad [2. 10]$$

$$d = (1 - 0,4) \times 49,11\text{mm} = 29,47 \text{ mm}$$

Al considerar diámetros de ejes comerciales, se tiene:

$$d = 25,4 \text{ mm} \rightarrow D \approx 50,8 \text{ mm}$$

Con los valores comerciales del helicoidal, es necesario recalcular los requerimientos para asegurar los parámetros de producción, los cuales se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11

Resultados esperados con el helicoidal diseñado.

	Unidad	Requerimiento	Resultado	Error (%)
Masa dosificada	[g]	480	480	--
Tiempo de dosificación	[s]	15	13,6	9,33
Flujo Másico	[g/s]	32	35,4	10,63

Como se observa en la Tabla 11, el tiempo de dosificación es menor a 15 [s], por lo tanto el requerimiento en la etapa de diseño se satisface con un tiempo sobrante de 1,4 [s]. El tornillo diseñado se muestra en la Figura 27, donde la longitud de 200 mm es la apropiada para la dosificación.

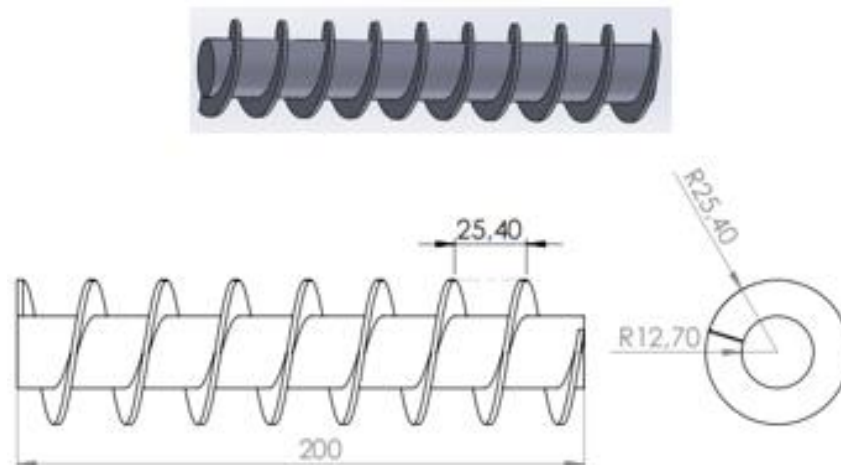


Figura 27. Helicoidal diseñado.

3.2.2. Diseño de la tolva

La tolva debe tener una geometría que contribuya con el desplazamiento de la mezcla, es decir no debe constar de cambios de sección abruptos para evitar acumulación del material en dichos cambios de sección. El material de la tolva y estructura en general debe ser de grado alimenticio pues debe estar en contacto con la mezcla para la fabricación de dulces de maní. Según la Figura 8 de FESTO y el catálogo de MEXIMAQ, 2012, el material apropiado para la fabricación de la tolva es AISI 304, ya que este acero inoxidable es idóneo para el contacto con productos alimenticios.

La geometría de la tolva adoptada se muestra en la Tabla 4 con el dosificador volumétrico con agitador de baja velocidad y gusano mostrado en la Figura 16, pues dicha geometría contribuye con el flujo del material en la dosificación. Como requerimiento empresarial es necesario que la tolva tenga la capacidad de almacenar al menos 50 kg, por lo tanto la tolva debe tener las dimensiones adecuadas. La densidad de la mezcla según la Tabla 10 es $\rho = 0,86 \text{ g/cm}^3$ entonces según la ecuación [3. 5].

$$V = \frac{\text{masa}}{\rho} \quad [3.5]$$

El volumen de la tolva deberá ser al menos $58,14 \times 10^6 \text{ mm}^3$, pero se tomara un 20% extra con el fin de asegurar que la tolva tenga la capacidad suficiente, entonces el volumen de la tolva debe ser de aproximadamente $70 \times 10^6 \text{ mm}^3$. El ángulo de inclinación de las paredes de la tolva para productos pegajosos se recomienda de hasta 70° , con el fin de evitar amontonamientos sobre las paredes. (Gomez, 1995)

La Figura 28, muestra la geometría de la tolva, donde el ángulo θ tiene un valor de 65° , con el fin de asegurar que la mezcla fluya y no se deposite y apelmace sobre las paredes de la tolva.

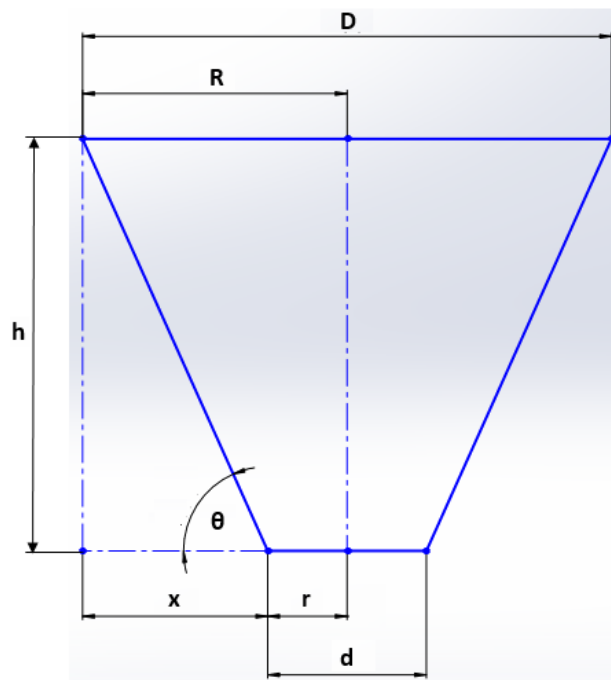


Figura 28. Bosquejo de la geometría de la tolva

La boca inferior de la tolva debe encapsular al tornillo transportador y como el diámetro de la hélice del helicoidal es de 2 in , entonces según la Figura 29, el diámetro externo del tubo de AISI 304 es de $60,3 \text{ mm}$ y el interno $d = 54,78 \text{ mm}$ debido a que el espesor de pared es de $2,77 \text{ mm}$.

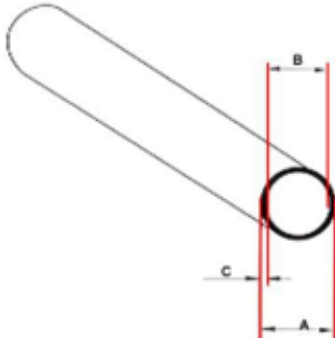
SERIE INDUSTRIAL SCH. 5S / 10S								
DIMENSIONES SEGUN ANSI-B 36.19 ASTM A-269 / A-312								
TUBOS CON COSTURA - Acero inoxidable AISI 304 - Con costura - Normas ASTM A-269 / A-312 - ANSI-B 36.19 - Acabamiento mate								
DN (Inch.)	SCHEDULE 5S				SCHEDULE 10S			
	Ø Ext. A (mm.)	Ø Int. B (mm.)	Espesor Pared C (mm.)	Kg. / Metro	Ø Ext. A (mm.)	Ø Int. B (mm.)	Espesor Pared C (mm.)	Peso Kg. / Metro
1/2"	21.30	18.03	1.65	0.80	21.30	17.12	2.11	1.00
3/4"	26.70	23.37	1.65	1.03	26.70	22.45	2.11	1.28
1"	33.40	30.10	1.65	1.30	33.40	27.86	2.77	2.08
1,1/2"	48.30	44.96	1.65	1.91	48.30	42.72	2.77	3.11
2"	60.30	57.02	1.65	2.40	60.30	54.78	2.77	3.93
3"	88.90	84.68	2.11	4.51	88.90	82.80	3.05	6.44
4"	114.30	110.08	2.11	5.83	114.30	108.20	3.05	8.32

Figura 29. Tubos de acero inoxidable AISI 304

Fuente: (PROVINDUS, 2003)

Ahora el volumen de un cono truncado se expresa en la ecuación [3. 6].

$$V = \frac{1}{3} \times \pi \times h \times (R^2 + r^2 + R \times r) \quad [3. 6]$$

De la Figura 28, se deducen las siguientes ecuaciones:

$$h = x \times \tan(\theta) \quad [3. 7]$$

$$R = x + r \quad [3. 8]$$

Al remplazar [3. 7] y [3. 8] en [3. 6] y agrupando con respecto a x se obtiene la ecuación [3. 9]:

$$x^3 + 3 \times x^2 \times r + 3 \times x \times r^2 - \frac{3 * V}{\pi \times \tan(\theta)} = 0 \quad [3. 9]$$

Donde se conoce los siguientes valores:

- $d = 54,78 \text{ mm} \rightarrow r = 27,39 \text{ mm}$
- $\theta = 65^\circ$
- $V = 70 * 10^6 \text{ mm}^3 \rightarrow \text{requerimiento de producción}$

Al sustituir los valores conocidos en la ecuación [3. 9] se tiene:

$$x^3 + 82,17 \times x^2 + 2250,6363 \times x - 31170370,89 = 0$$

Donde la única raíz real es:

$$x = 287,4 \text{ mm}$$

Por lo tanto al sustituir "x" en las ecuaciones [3. 7] y [3. 8] se determinó:

$$h = 616,33 \text{ mm} \quad y \quad R = 314,8 \text{ mm} \rightarrow D = 629,58 \text{ mm}$$

Ajustando los valores a cantidades exactas y recalculado el volumen surge la Tabla 12.

Tabla 12
Parámetros dimensionales de la tolva

Parámetro dimensional	Valor [mm]	Volumen V [mm ³]	Ángulo θ [°]
<i>D</i>	630		
<i>d</i>	54,78	70,5 * 10 ⁶	65,11
<i>h</i>	620		

Como se puede apreciar en la Tabla 12, la tolva diseñada satisface tanto el requerimiento volumétrico como geométrico divisado en la Figura 30.

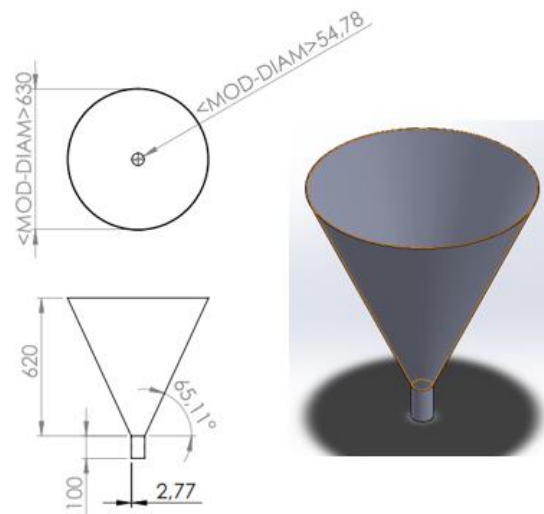


Figura 30. Tolva diseñada

3.2.2.1. Diseño Mecánico de la tolva

En la empresa se cuenta con una plancha de acero inoxidable AISI 304 de espesor de 2 mm por lo cual el material a usar tentativamente corresponde al mencionado, cabe indicar que por motivos de diseño se realizó un análisis previo para comprobar que las prestaciones que presenta este material satisfacen las necesidades de resistencia mecánica requeridas.

El diseño se lo realizó mediante la herramienta de análisis estático por medio de elementos finitos perteneciente al software CAM, con este se pretende comprobar que la tolva resiste una carga de 50Kg sin sufrir deformaciones. Para el cálculo de la carga equivalente (F_T) que ejerce la mezcla sobre las paredes de la tolva, se tiene la ecuación [3. 10].

$$F_T = M \times g \quad [3. 10]$$

Reemplazando $M=50\text{Kg}$ y $g=9,8 \text{ m/s}^2$ en la ecuación [3. 10], se tiene que

$$F_T = 50\text{Kg} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 490\text{N}$$

En la Figura 31 se observa cómo se aplicó una carga distribuida (F_T) directamente sobre las paredes de la tolva y se asignó sujeciones fijas en las tres aletas, mediante las cuales será anclada la tolva a la estructura de soporte.

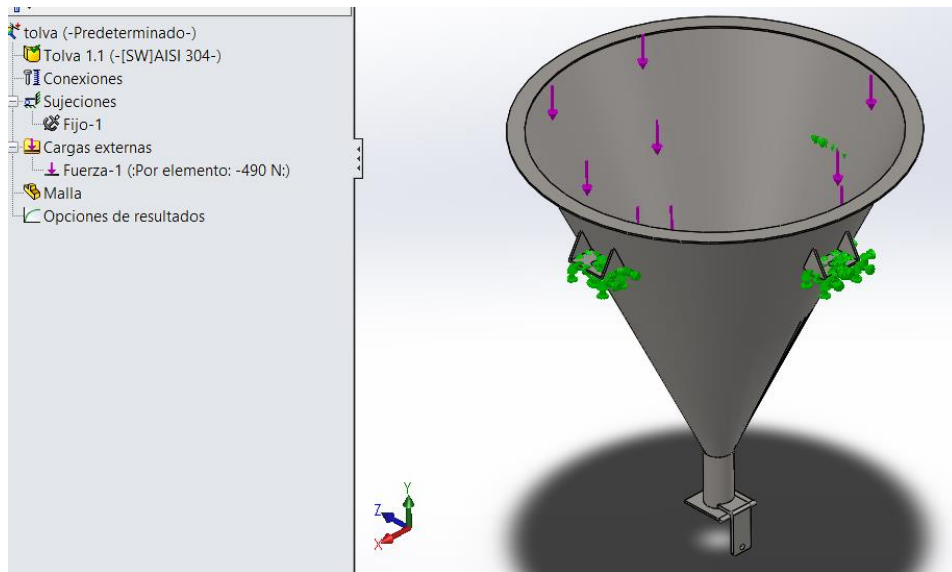


Figura 31. Análisis Estático sobre la tolva

Prosiguiendo con el análisis estático de la tolva, en la Figura 32 se observa la malla generada por el software.

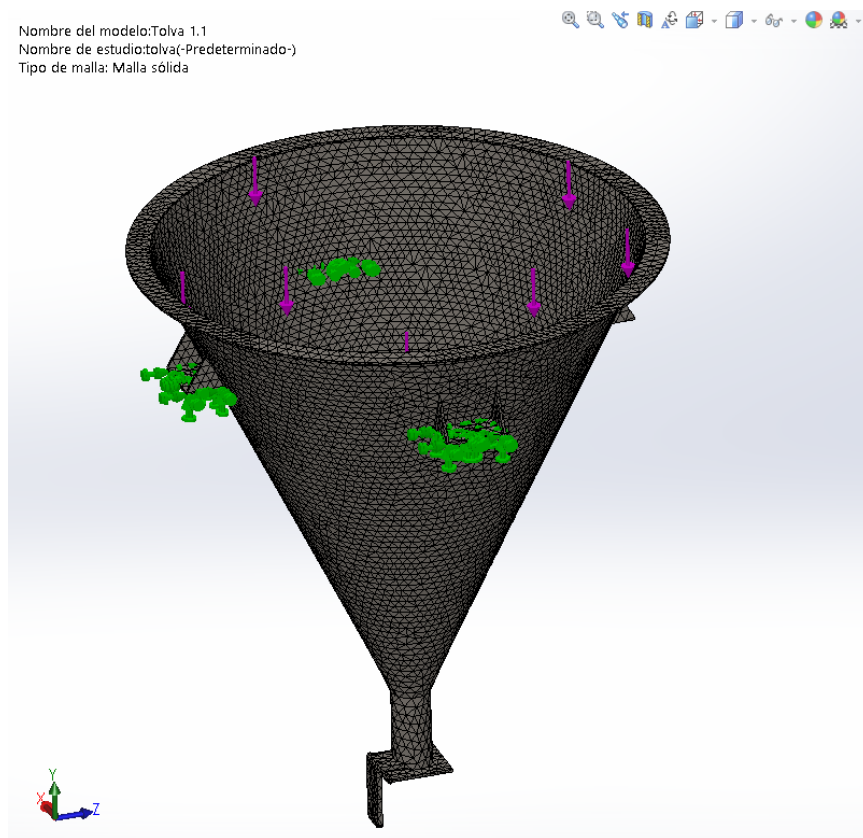


Figura 32. Malla Solida, tolva

Realizando un análisis del factor de seguridad en función del esfuerzo de Von Mises, el software muestra la Figura 33, en la cual se observa que tenemos un factor de seguridad mínimo de 27, lo que implica que dicha lámina de acero inoxidable de 2 mm de espesor es lo suficientemente robusta para soportar la carga máxima de 50 Kg a la cual va a estar expuesta la tolva.

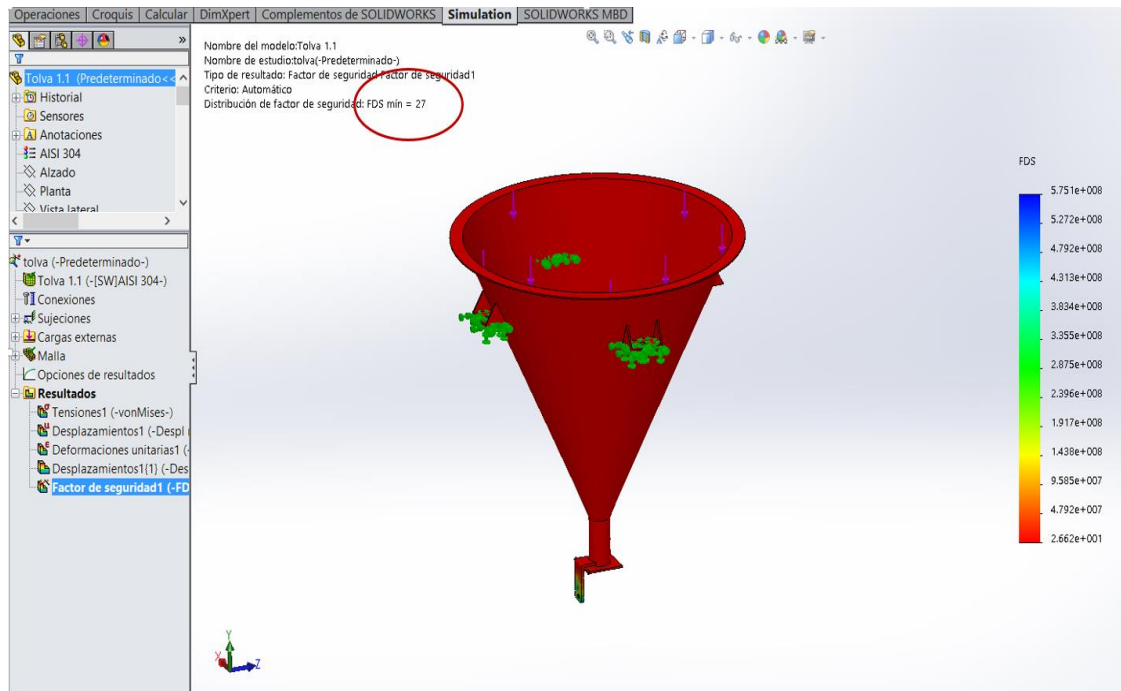


Figura 33. Factor de seguridad Tolva.

3.2.3. Diseño de la estructura mecánica de soporte del sistema de dosificación

En la empresa se cuenta con un tubo cuadrado de acero inoxidable AISI 304 de 50 mm de lado y 2 mm de espesor, por lo cual el material a usar tentativamente corresponde al mencionado, cabe indicar que por motivos de diseño se realizó un análisis previo para comprobar que las prestaciones que presenta este material satisfacen las necesidades de resistencia mecánica requeridas, este análisis es similar al realizado en el diseño mecánico de la tolva puesto que se utilizará de igual forma la herramienta de análisis estático del software CAM.

En primera instancia se debe establecer el peso que debe soportar la estructura mecánica, el cual corresponde a la suma de los 50 kg correspondientes a la mezcla y el peso mismo del sistema de dosificación, el peso referencial del sistema de dosificación se lo obtuvo accediendo a la herramienta propiedades físicas del software CAM como se observa en la Figura 34.

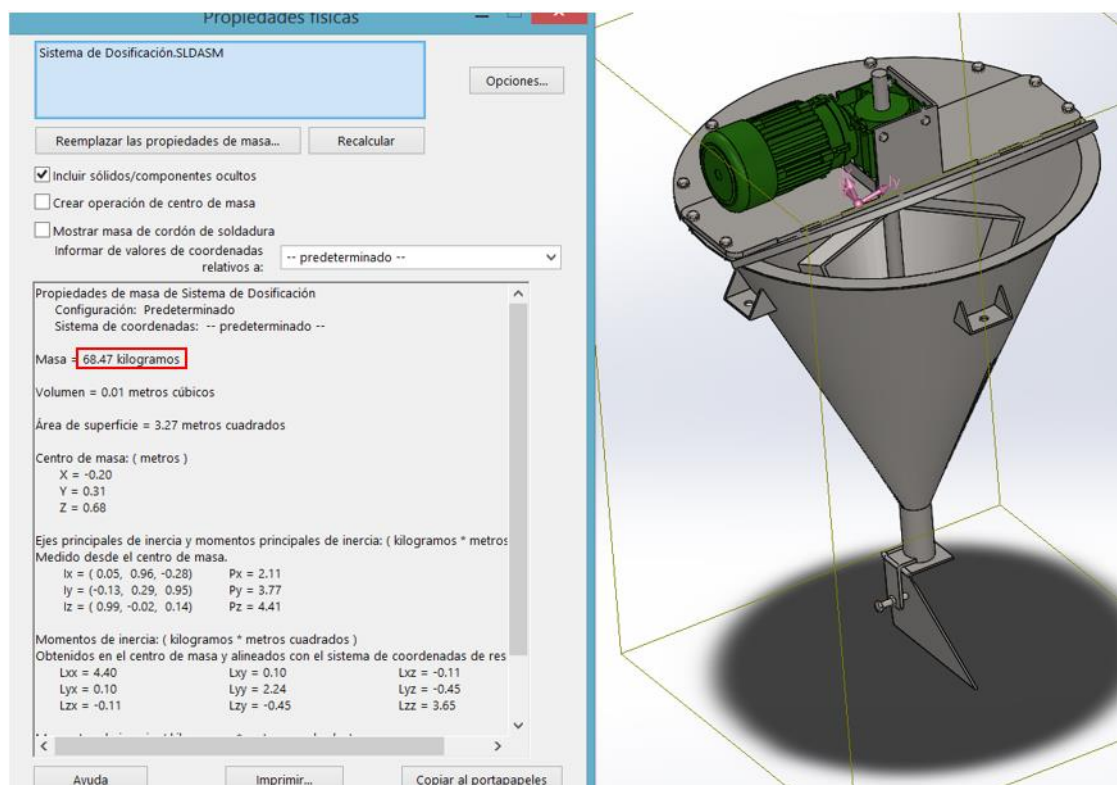


Figura 34. Propiedades Físicas Sistema de Dosificación

En entonces por la Figura 34 se tiene que el que la masa del sistema de dosificación corresponde a 68,47 Kg, entonces el peso referencial (F_d) se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$F_d = M_d \times g = (50 + 68,47) \times 9,8 = 1161N$$

Como se tiene tres puntos de sujeción a la estructura, se debe dividir F_d entre 3 y distribuirlos en las tres sujeciones como se observa en la Figura 35, cabe mencionar que la sujeción fija se asignó a las caras inferiores de la estructura, pues estas se encuentran en contacto directo con la máquina en todo momento.

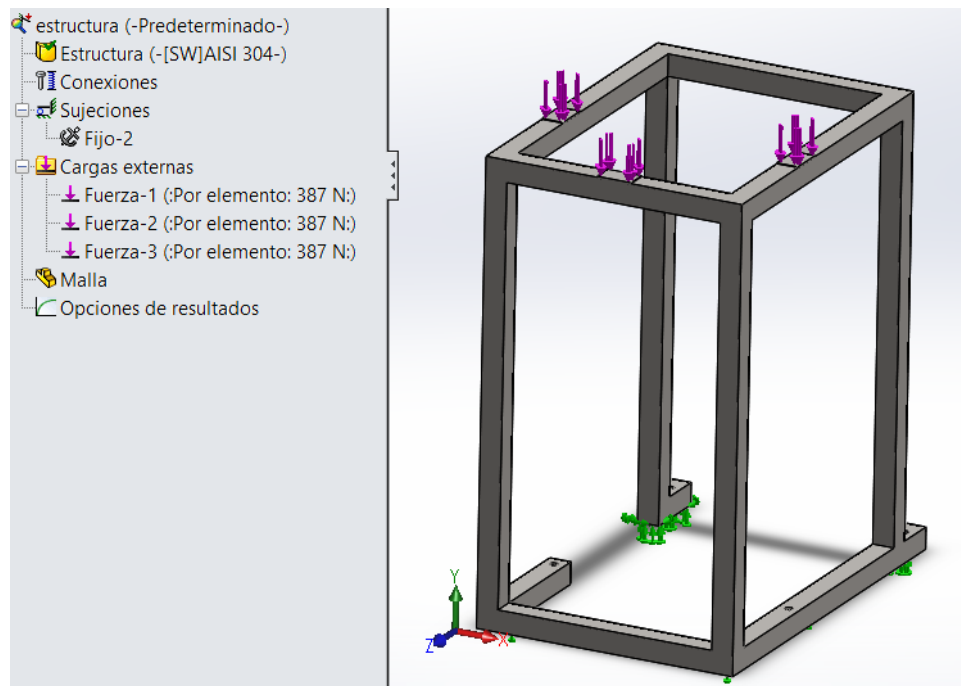


Figura 35. Análisis estático de la estructura de soporte de la tolva

En la Figura 36 se observa el mallado que genera el software previo al análisis estático.

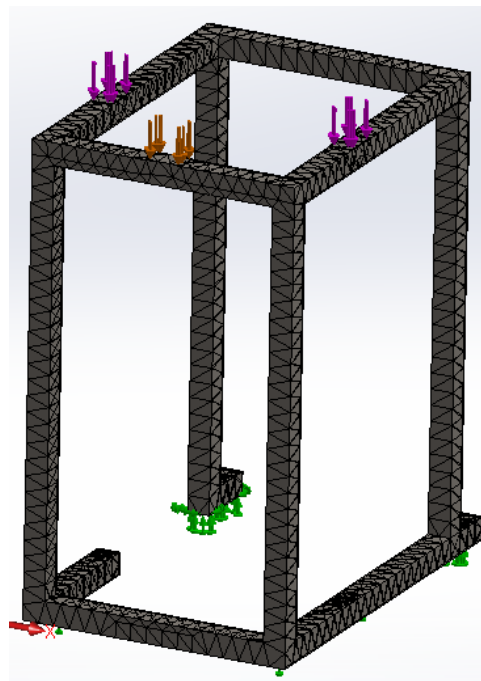


Figura 36. Mallado de estructura de soporte - sistema dosificación

Realizando un análisis del factor de seguridad en función del esfuerzo de Von Mises, el software muestra la Figura 37, en la cual se observa que tenemos un factor de seguridad mínimo de 28, lo que indica que dicho tubo cuadrado de acero inoxidable AISI 304 con espesor de pared de 2mm, es lo suficientemente robusto para soportar la carga máxima a la cual va a estar expuesta.

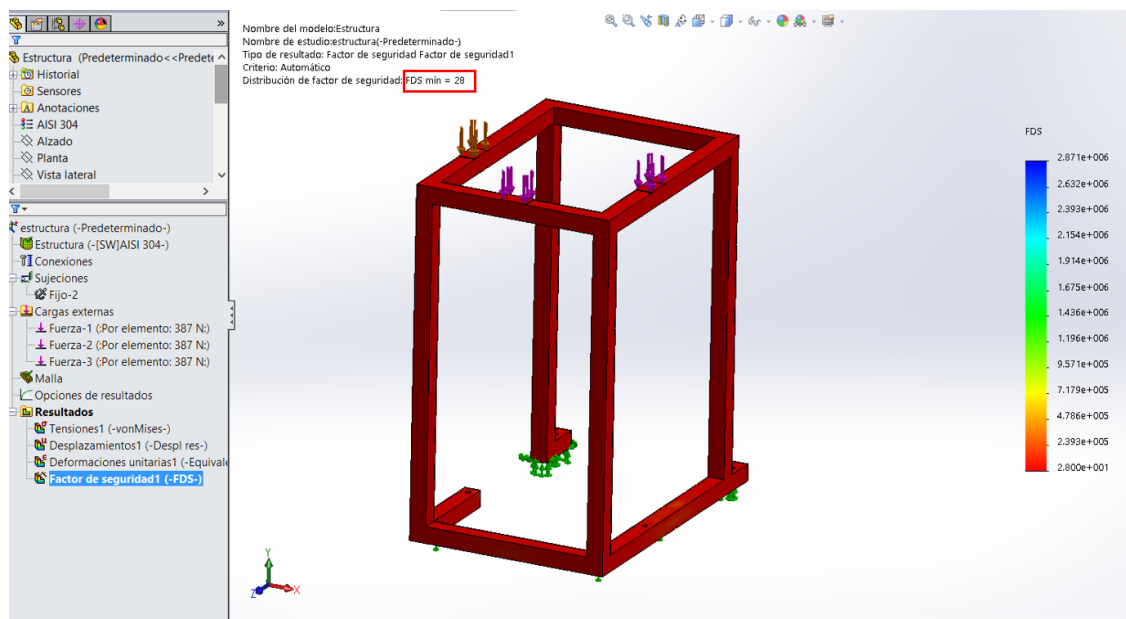


Figura 37. Factor de seguridad de la estructura de soporte

3.2.4. Dimensionamiento de la potencia requerida

3.2.4.1. Cálculo de la potencia necesaria para accionar el sistema raspador y agitador

La potencia requerida para el correcto funcionamiento del dosificador se debe dimensionar teniendo en cuenta que el sistema implementado corresponde a un dosificador volumétrico de tornillo vertical, el cual cuenta con un mecanismo que permite el movimiento de la mezcla para evitar apelmazamientos de la misma en la boca y paredes de la tolva.

El diseño planteado inicialmente en la Figura 16 fue modificado para que en lugar de dos raspadores, se cuente con un raspador y un agitador, de esta

forma se asegura el movimiento continuo de la mezcla mientras dure el proceso de dosificación, evitando apelmazamientos o en su defecto dosificaciones cambiantes o discontinuas.

Para el dimensionamiento de la potencia necesaria, se asignó como fuerza requerida el peso representado por la cantidad de mezcla que el raspador o el agitador debe desplazar en una vuelta, para lo cual se tomó como referencia un cono truncado que simula la cantidad de mezcla que será desplazada, con lo cual se calculó el peso que generaría dicha mezcla suponiendo que el raspador u agitador debe mover esa masa. Las aproximaciones volumétricas de los conos truncados para el raspador y el agitador se observan en la Figura 38 y Figura 39 respectivamente.

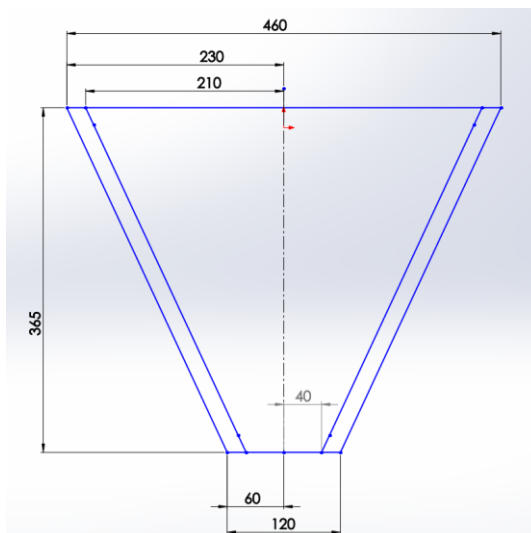


Figura 38. Representación Volumétrica Raspador.

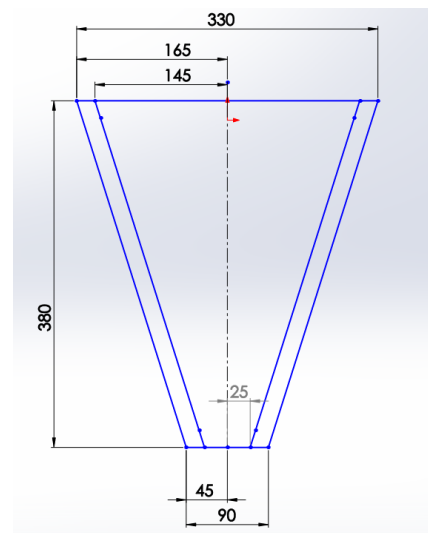


Figura 39. Representación Volumétrica Agitador.

3.2.4.1.1. Cálculo del volumen de referencia del Raspador y Agitador

Para el cálculo del volumen referencial del raspador se reemplaza los datos de la Figura 38 en la ecuación [3. 6] para obtener dos volúmenes parciales que al ser restados entre si se obtiene el correspondiente al referencial (V_{T1}).

$$V = \frac{1}{3} \times \pi \times h \times (R^2 + r^2 + R \times r) \quad [3. 6]$$

$$V_1 = \frac{1}{3} \times \pi \times 36,5 \times (23^2 + 6^2 + 23 \times 6)$$

$$V_1 = 26870,57 \text{ cm}^3$$

$$V_2 = \frac{1}{3} \times \pi \times 36,5 \times (21^2 + 4^2 + 21 \times 4)$$

$$V_2 = 20678,49 \text{ cm}^3$$

$$V_{T1} = V_1 - V_2 = 6192,08 \text{ cm}^3$$

Para el cálculo del volumen referencial del agitador se reemplaza los datos de la Figura 39 en la ecuación [3. 6] para obtener como en el caso anterior dos volúmenes parciales que al ser restados entre si se obtiene el correspondiente al referencial (V_{T2}).

$$V'_1 = \frac{1}{3} \times \pi \times 38 \times (16,5^2 + 4,5^2 + 16,5 \times 4,5)$$

$$V'_1 = \frac{1}{3} \times \pi \times 38 \times (16,5^2 + 4,5^2 + 16,5 \times 4,5)$$

$$V_1 = 14594,27 \text{ cm}^3$$

$$V'_2 = \frac{1}{3} \times \pi \times 38 \times (14,5^2 + 2,5^2 + 14,5 \times 2,5)$$

$$V_2 = 10057,81 \text{ cm}^3$$

$$V_{T2} = V'_1 - V'_2 = 4536,46 \text{ cm}^3$$

3.2.4.1.2. Cálculo del peso de referencia para el Raspador y Agitador

Con los volúmenes referenciales encontrados anteriormente se procedió a determinar el peso correspondiente a dicho volumen de mezcla para lo cual se utilizó la ecuación [3. 5]:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad [3. 5]$$

Entonces:

$$m_1 = V_{T1} \times \rho \quad [3. 11]$$

$$m_2 = V_{T2} \times \rho \quad [3. 12]$$

Donde $\rho = 0,86 \frac{\text{gramos}}{\text{cm}^3}$ según la Tabla 10, $V_{T1} = 6192,08 \text{ cm}^3$ y $V_{T2} = 4536,46 \text{ cm}^3$, entonces al remplazar en [3. 11] y [3. 12] se obtuvo:

$$m_1 = 6192,08 \text{ cm}^3 \times 0,86 \frac{\text{gramos}}{\text{cm}^3}$$

$$m_1 = 5325,19 \text{ gramos} \quad \rightarrow \quad \mathbf{m_1 = 5,33 Kg}$$

$$m_2 = 4536,46 \text{ cm}^3 \times 0,86 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$m_2 = 3901,36 \text{ gramos} \quad \rightarrow \quad \mathbf{m_2 = 3,9 Kg}$$

Con la masa encontrada se calculó el peso para lo cual se utilizó la ecuación [3. 13]:

$$F = m \times g \quad [3. 13]$$

Entonces se obtuvo las expresiones.

$$F_1 = m_1 \times g \quad [3. 14]$$

$$F_2 = m_2 \times g \quad [3. 15]$$

Reemplazando $m_1 = 5,33 \text{ Kg}$, $m_2 = 3,9 \text{ Kg}$, $g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ en [3. 14] y [3. 15] se definió F_1 y F_2 :

$$F_1 = 5,33 \text{ Kg} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\mathbf{F_1 = 52,23 N}$$

$$F_2 = 3,9 \text{ Kg} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_2 = 38,22 \text{ N}$$

3.2.4.1.3. Cálculo del momento torsor al cual está sometido el eje del tornillo

Dado que el sistema de dosificación tiene un tornillo vertical, el eje del mismo está sometido a un esfuerzo torsor por acción de las fuerzas F_1 y F_2 , las cuales se ubican en la parte superior del raspador y el agitador correspondientemente, debido a que en este punto se presenta la mayor distancia de separación con respecto al eje. Por lo tanto se consideró como criterio de diseño la ubicación de la fuerza mostrada en la Figura 40, como se observa a continuación:

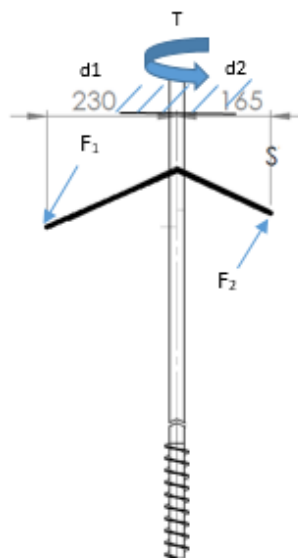


Figura 40. Acción de las fuerzas F_1 y F_2 sobre el eje

Para determinar el momento torsor (T) que se ejerce sobre el eje que se observa en la Figura 40 se utilizó la ecuación [3. 16].

$$T = F \times d \quad [3. 16]$$

Donde:

- T : Momento torsor [$N \times m$].
- F : Fuerza que genera el momento torsor [N].
- d : Distancia de separación de la fuerza [m].

Entonces se obtuvo T_T a partir de [3. 16]:

$$T_1 = F_1 \times d_1$$

$$T_1 = 52,23 \text{ N} \times 0,23 \text{ m}$$

$$T_1 = 12 \text{ Nm}$$

$$T_2 = F_2 \times d_2$$

$$T_2 = 38,22 \text{ N} \times 0,165 \text{ m}$$

$$T_2 = 6,31 \text{ Nm}$$

$$T_T = T_1 + T_2$$

$$T_T = 12 + 6,31 = 18,31 \text{ Nm}$$

Donde T_T corresponde al momento torsor inminente al movimiento requerido para el funcionamiento del sistema.

3.2.4.1.4. Cálculo de la potencia requerida

La potencia se obtuvo a partir de la ecuación [3. 17]:

$$P = T \times w \quad [3. 17]$$

Donde

- P : Potencia requerida [W].
- T : Momento torsor [$N \times m$].
- w : Velocidad angular del eje [rad/s].

Entonces al remplazar T_T y $w = 120 \text{ rpm}$ en [3. 17], se obtuvo:

$$P = 18,31 \text{ Nm} \times 120 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{2\pi}{\text{rev}} \times \frac{\text{min}}{60 \text{ seg}} = 230,1 \text{ W}$$

$$P = 230,1 \text{ W} \times \frac{\text{Hp}}{746 \text{ W}} = 0,31 \text{ Hp}$$

La potencia requerida para iniciar el movimiento debe ser 0,31 Hp pero por criterio de diseño se especifica 20% más de la inminente al movimiento del sistema por lo cual se establece 0,372 Hp, dado que este no es un valor comercial se selecciona un motor con reductor de 0,5 Hp con una velocidad de salida de 120 rpm, como se muestra en la Figura 41.



Figura 41. Motor de 0,5 HP y reductor de 1670 rpm a 120 rpm.

3.2.5. Dimensionamiento del eje

El dimensionamiento del diámetro del eje se basó en los requerimientos de dosificación, por lo tanto se requiere tentativamente un eje de 1 in de diámetro, de material AISI 304, en esta parte del diseño se procedió a comprobar que dicho eje cumpla con los requerimientos mecánicos necesarios a los cuales va a encontrarse expuesto durante la etapa de dosificación.

Como se mencionó anteriormente el eje está sometido a un esfuerzo torsor, el cual se calcula mediante el momento torsor total (T_T) que debe soportar el eje cuando se vence la resistencia estática de la mezcla al iniciarse el proceso de dosificación. El diseño del eje se realizó a fluencia y no a fatiga puesto que al estar dispuesto verticalmente no se presenta una variación fluctuante de carga en el eje, lo cual indica que este no está sometido a fatiga, por lo tanto para el cálculo del esfuerzo torsor se tiene la ecuación [3. 18].

$$\tau = \frac{T \times r}{J} \quad [3. 18]$$

Para un cilindro el momento de Inercia J se tiene a partir de [3. 19]:

$$J = \frac{\pi \times d^4}{32} \quad [3. 19]$$

Reemplazando [3. 19] en [3. 18] se obtuvo la expresión [3. 20]:

$$\tau = \frac{16 \times T}{\pi \times d^3} \quad [3. 20]$$

$$\tau = \frac{16 \times 18,31}{\pi \times d^3}$$

$$\tau = \frac{93,25}{d^3}$$

Usando las componentes xyz del esfuerzo tridimensional, el esfuerzo plano de Von Mises se expresa en la ecuación [3. 21] tomada de (Budynas & Nisbett, 2008).

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x \times \sigma_y + \sigma_y^2 + 3 \times \tau_{xy}^2)^{1/2} \quad [3. 21]$$

Como no existe esfuerzo x ni en y , se obtuvo [3. 22]:

$$\sigma' = \left(0 - 0 + 0 + 3 \times \left(\frac{93,25}{d^3} \right)^2 \right)^{1/2}$$

$$\sigma' = \frac{161,51}{d^3} \quad [3. 22]$$

Para el cálculo a fluencia se cumple la expresión [3. 23].

$$\sigma' \geq S_y \quad [3. 23]$$

Donde el esfuerzo a fluencia del acero AISI 304 (S_y) corresponde a 276 Mpa. Al remplazar dicho valor en [3. 22] se determinó el diámetro mínimo necesario:

$$\frac{161,51}{d^3} = 276 \times 10^6$$

$$d = 8,36 \text{ mm}$$

Para las condiciones de diseño el diámetro del eje debe ser mayor a 8,36 mm, y el seleccionado fue 25,4 mm según Figura 27. Por lo tanto se cumplió con los requerimientos de resistencia mecánica. El factor de seguridad (n) se determinó mediante la ecuación [3. 24].

$$\sigma' = \frac{Sy}{n} \quad [3. 24]$$

Al igualar [3. 24] con [3. 22] y reemplazando $d = 0,0254 \text{ m}$ según Figura 27 se determinó el factor de seguridad (n):

$$\frac{161,51}{d^3} = \frac{276 \times 10^6}{n}$$

$$n = \frac{276 \times 10^6}{161,51} \times (0,0254)^3$$

$$n = 28$$

El valor de n indica que el eje se encuentra sobredimensionado pues el diámetro se estableció por requerimientos de dosificación, por lo cual se considera este parámetro aceptable.

3.2.6. Diseño del raspador y agitador

Las placas con las cuales están conformados el raspador y el agitador presentan un ángulo de inclinación (vista A, de la Figura 42), con el fin de reducir la fuerza requerida para mover la mezcla ya que en consecuencia de dicho ángulo el área de contacto con la mezcla es menor debido a que el plano inclinado que se forma ejerce una mayor presión por acción de la reducción de área permitiendo vencer la resistencia estática de la mezcla al iniciar la etapa de dosificación, mejorando de esta forma la fluidez de la mezcla a dosificar dando así unas mejores prestaciones al sistema, esto lo podemos observar en la representación de la Figura 42.

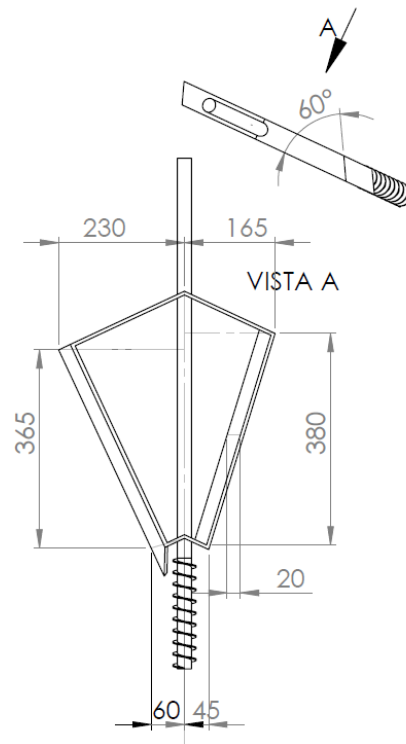


Figura 42. Representación del sistema raspador y agitador

3.2.6.1. Raspador

Para el diseño del raspador se debe tener en cuenta que se encuentra sometido a un esfuerzo flector por acción de una fuerza F_1 que se calculó en secciones anteriores, se debe considerar que el bosquejo del sistema completo que incluye raspador y agitador se observa en la Figura 43 pero en esta sección se procederá a calcular las dimensiones geométricas de la placa de la cual se va a fabricar este elemento como es ancho y espesor.

Por requerimientos de diseño el raspador debe contar con Angulo de inclinación de 65° puesto que este debe ser paralelo a las caras de la tolva y además debe tener una longitud en el brazo de 25 cm ya que con dichas dimensiones se asegura un espacio prudencial para la colocación de una placa de duralón desmontable, la cual estará en contacto directo con las paredes de la tolva y cumplirá con la función de retirar todo el producto que se quede en las paredes de la misma, ya que si se diseñara un raspador que roce directamente con la tolva, se presentaría un desgaste por acción de la fricción entre ambas partes.

El análisis de resistencia mecánica se realizó aplicando directamente la fuerza F_1 en la parte superior del raspador como se observa en la Figura 43, se toma esta consideración como criterio de diseño puesto que en ese punto se tiene la mayor distancia de separación de la fuerza que se aplica y el punto de sujeción lo que conlleva a considerarlo un punto crítico.

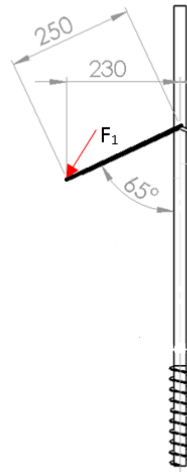


Figura 43. Aplicación de la Fuerza F_1 en el raspador

El raspador se encuentra sometido a un esfuerzo flector, el mismo que se representa como una viga rectangular empotrada con una fuerza ubicada en el extremo (ver Figura 44), donde el material corresponde es acero AISI 304 por ser el apropiado para tener contacto directo con el alimento.

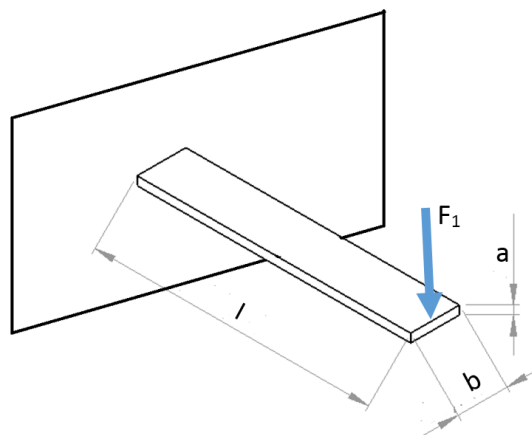


Figura 44. Esquema Flexión en viga empotrada

Entonces para el diseño se tiene una $l=25\text{cm}$, $b=4\text{cm}$, $F_1= 52,23\text{N}$. Para el cálculo del esfuerzo flector se tiene la ecuación [3. 25].

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{Mc}{I} \quad [3. 25]$$

Donde según la Figura 44, c corresponde al valor de $a/2$ ya que se asume que el eje de referencia está en la mitad de la viga.

El segundo momento de inercia I_x para una sección rectangular está dado por la ecuación [3. 26].

$$I_x = \frac{b \times a^3}{12} \quad [3. 26]$$

Para obtener el momento se tiene la ecuación [3. 27].

$$M = F \times l \quad [3. 27]$$

Entonces sustituyendo para este caso $F=F_1=52,23\text{N}$, $l=0,25\text{m}$ en [3. 27].

$$M = 52,23\text{N} \times 0,25\text{m} = 13,06\text{Nm}$$

Sustituyendo [3. 26] en [3. 25] se tiene la ecuación [3. 28].

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{Mc}{ba^3} \times 12 \quad [3. 28]$$

Donde $c=a/2$ entonces se tiene la ecuación [3. 29].

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M}{ba^2} \times 6 \quad [3. 29]$$

Entonces reemplazando $M=13,06\text{Nm}$, $b=0,04\text{m}$ en la ecuación [3. 29] se obtuvo:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{13,06}{0,04 \times a^2} \times 6$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{1959}{a^2}$$

Usando las componentes xyz del esfuerzo tridimensional, el esfuerzo plano de Von Mises se expresa en la ecuación [3. 21]. Como no existe esfuerzo en y , ni esfuerzo torsor, se obtuvo [3. 30]:

$$\sigma' = \left(\left(\frac{1959}{a^2} \right)^2 - 0 + 0 + 0 \right)^{1/2}$$

$$\sigma' = \frac{1959}{a^2} \quad [3. 30]$$

Para el cálculo a fluencia se cumple la expresión [3. 23] donde el esfuerzo a fluencia del acero AISI 304 (S_y) corresponde a 276 Mpa . Al remplazar dicho valor en [3. 30] se determinó el parámetro a mínimo necesario:

$$\frac{1959}{a^2} = 276 \times 10^6$$

$$a = \sqrt{\frac{1959}{276 \times 10^6}}$$

$$a = 2,66 \text{ mm}$$

Entonces para soportar el esfuerzo al cual va a estar sometido la placa, el parámetro (a) debe ser mayor a $2,66\text{mm}$. En la empresa se cuenta en bodega con una placa de acero AISI 304 con dimensiones de 40mm de ancho y 6mm de espesor. Entonces por los cálculos realizados anteriormente se determina que esta placa cumple con los requerimientos de diseño.

3.2.6.1.1. Cálculo del factor de seguridad para la placa seleccionada

El factor de seguridad (n) se determinó mediante la [3. 24] donde al igualar con [3. 28] y remplazar $a = 0,006 \text{ m}$ se determinó n :

$$\frac{1959}{a^2} = \frac{276 \times 10^6}{n}$$

$$n = 5,07$$

El valor del factor de seguridad es 5,07 el mismo confirma que la placa seleccionada cumple con los requerimientos de diseño.

3.2.6.2. Agitador

El agitador, para este caso, debe tener una longitud menor al raspador, pues tiene la función de mantener la mezcla que se encuentra hacia el centro en movimiento para prevenir apelmazamientos o dosificaciones discontinuas, esta reducción en la longitud hace que esté sometido a cargas menores, en comparación con el raspador.

El proceso de diseño mecánico es similar al del raspador pero, dado que este es de menor longitud y la fuerza F_2 que ejerce el momento flector sobre el dicho elemento es menor, la placa seleccionada de ancho de 40 mm y 6mm de espesor cumple con los requerimientos mecánicos necesarios, pero por motivos de diseño se procederá a calcular el factor de seguridad con los datos que se observan en la Figura 45.

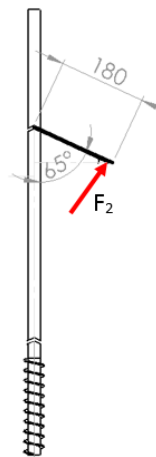


Figura 45. Aplicación de la Fuerza F_2 en el agitador

Para calcular el factor de seguridad, se debe tener en cuenta la representación esquemática que se observa en la Figura 44. Para este caso se tiene que $l=18\text{cm}$, $b=4\text{cm}$, $a=0.6\text{ cm}$. Entonces para obtener el momento flector, se tiene la ecuación [3. 27] en la cual al sustituir para este caso $F=F_2=38,22\text{Nm}$, $l=0,25\text{m}$ se obtiene:

$$M = 38,22 \times 0,18m = 6,88Nm$$

Ahora reemplazando $M=6,88Nm$, $b=4cm$ y $a=0.06 cm$ en la ecuación [3. 29] se tiene:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M}{ba^2} \times 6$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{6,88}{0,04 \times 0,006^2} \times 6$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 28666666,67 Pa$$

Usando las componentes xyz del esfuerzo tridimensional, el esfuerzo plano de von Mises se expresa en la ecuación [3. 21] y como no existe esfuerzo en y , ni esfuerzo torsor, se obtuvo:

$$\sigma' = ((28666666,67)^2 - 0 + 0 + 0)^{1/2}$$

$$\sigma' = 28666666,67 Pa$$

3.2.6.2.1. Cálculo del factor de seguridad para la placa seleccionada

El factor de seguridad (n) se determinó mediante la ecuación [3. 24], donde al igualar con [3. 28] y reemplazar $a = 0,006 m$ se determinó n :

$$28666666,67 = \frac{276 \times 10^6}{n}$$

$$n = \frac{276 \times 10^6}{28666666,67}$$

$$\mathbf{n = 9,63}$$

El valor del factor de seguridad es igual a 9,63, lo que confirma que la placa seleccionada cumple con los requerimientos de diseño requeridos para el agitador.

3.2.7. Diseño Final y Simulación

En la Figura 46 se puede observar el diseño final del sistema de dosificación montado en la máquina.

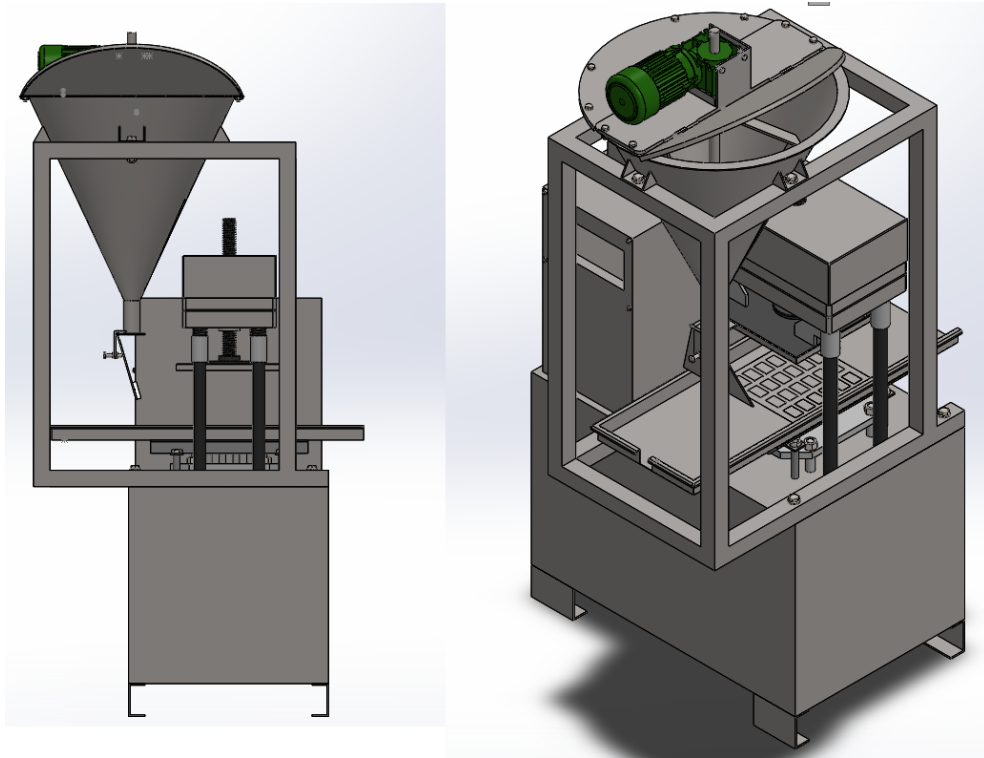


Figura 46. Ensamble final Sistema dosificación-Máquina

En la Figura 46 se observa que el dimensionamiento geométrico del sistema de dosificación es el correcto puesto que este se adapta correctamente sobre la máquina, los planos del sistema de dosificación los podemos observar en el “ANEXO A”.

3.2.8. Resumen del diseño del sistema de dosificación

El diseño presentado en apartados anteriores establece características físicas y dimensionales de los materiales que se deben usar en la fabricación del sistema de dosificación, los cuales se observan en la Tabla 13. Por otra parte, en la Tabla 14 se presenta un resumen de los factores de seguridad calculados y simulados correspondiente a las piezas críticas del sistema de dosificación.

Tabla 13
Resumen de parámetros del sistema de dosificación

Sistema dosificación	
Material a utilizar	AISI 304
Espesor de plancha para la tolva	2 mm
Espesor de placa raspador-agitador	6 mm
Diámetro del eje del sistema	25,4 mm
Paso del tornillo	25,4 mm
D ext tornillo	50,8 mm
Tubo para estructura de soporte	50x50x2mm

Tabla 14
Resumen de los factores de seguridad obtenidos

Elemento	Factor de Seguridad
Tolva	27
Estructura	28
Raspador	5,07
Agitador	9,63

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

4.1. Sistema mecánico de distribución de la mezcla

El diseño general del sistema de distribución de la mezcla, comprende un compendio de elementos los cuales corresponden a un pistón, paleta, placa de duralón, soporte del sistema de distribución y demás elementos.

El ensamble general del sistema de distribución se lo puede observar en la Figura 47, cabe mencionar que el elemento “Placa-Máquina” corresponde a la placa inferior propia de la máquina por lo cual no forma parte del sistema de distribución de la mezcla pero es necesario para el acople del sistema con la máquina.

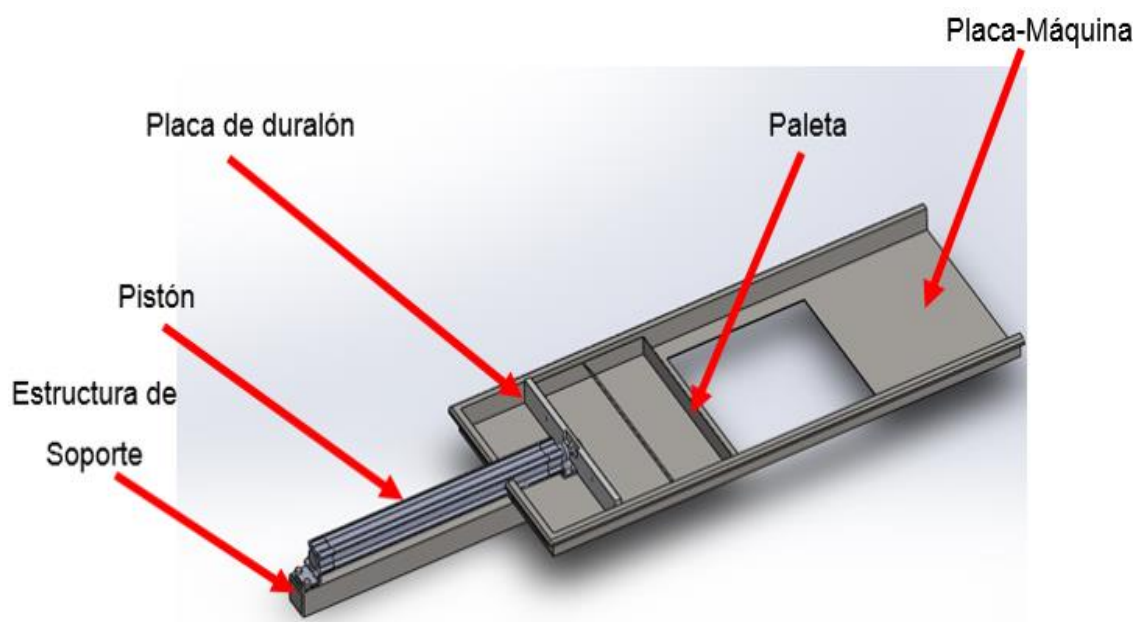


Figura 47. Ensamble Sistema de distribución.

La pieza denominada “placa de duralón” que se observa en la Figura 47 tiene como fin reducir el sonido que se genera por el rozamiento que ejerce el sistema de distribución directamente sobre la placa de la máquina.

El diseño individual de cada una de las piezas que conforman el sistema de distribución se analiza en apartados a continuación.

4.2. Diseño del sistema de distribución de la mezcla

4.2.1. Diseño y selección de los componentes neumáticos

4.2.1.1. Dimensionamiento del Pistón

Como requerimiento de diseño es indispensable una carrera del vástago de 400 mm. En el mercado no se encuentra disponible cilindros de simple efecto con la carrera antes mencionada, entonces el pistón debe ser del tipo doble efecto y el seleccionado responde a la serie DSBC-32-400 de FESTO (ver Figura 48).



Figura 48. Pistón DSBC-32-400 de FESTO

Fuente: (FESTO, 2016)

El pistón mostrado en la Figura 48 presenta características dimensionales mostradas en la Figura 49.

Cilindros normalizados DSBC, ISO 15552

Hoja de datos

FESTO

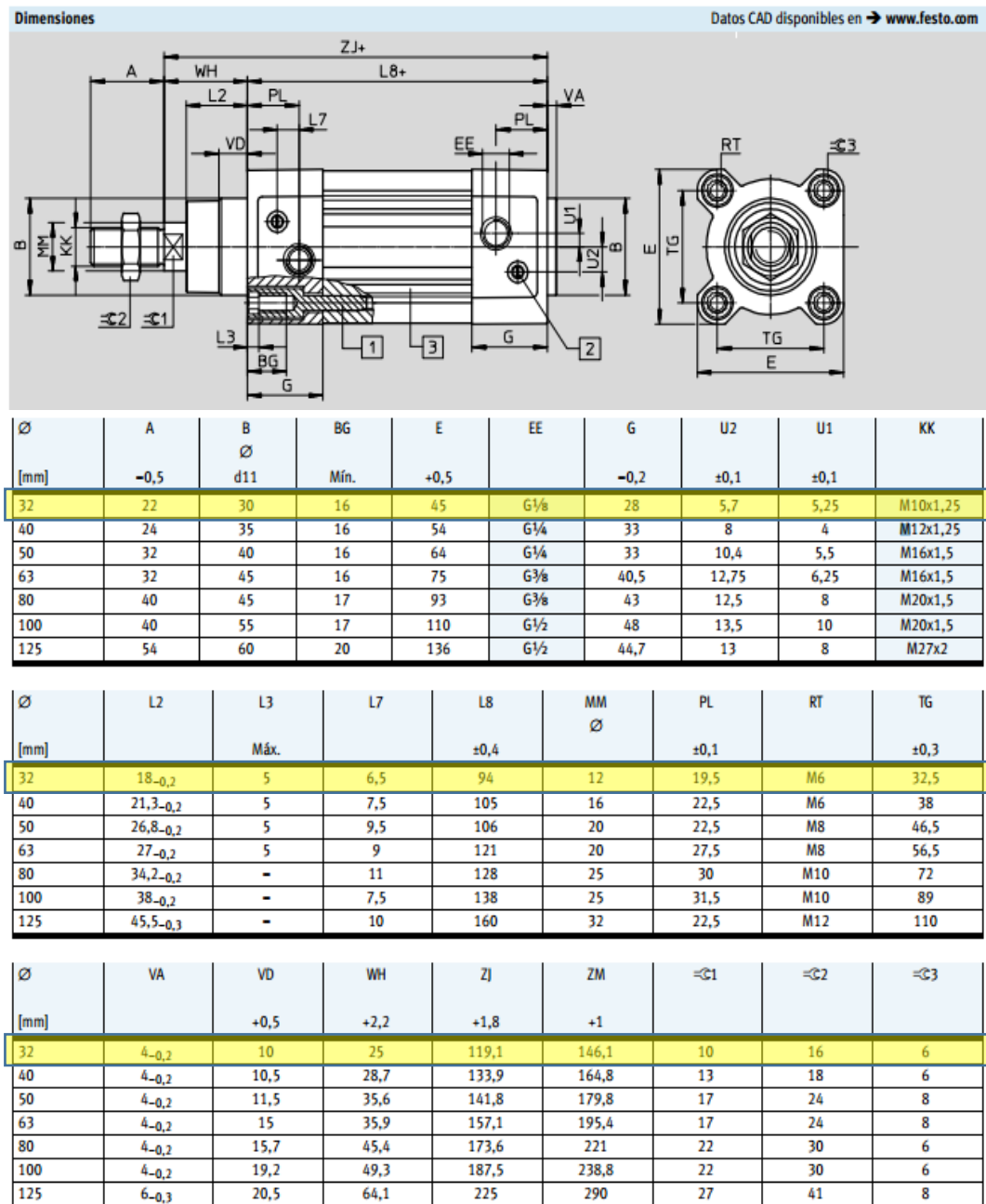


Figura 49. Características dimensionales DSBC-32-400-PPVA_N3

Fuente: (FESTO, 2016)

Por lo tanto para un diámetro del cilindro $D = 32\text{mm}$, se tienen un diámetro de vástago $d = 12\text{mm}$.

Serrano, también recomienda sobredimensionar el cilindro para prevenir que el suministro de aire presente una presión inferior a la esperada además tener en cuenta lo siguiente según el diámetro del cilindro:

- Para $D \leq 40 \text{ mm}$ → $R = 0,85$
- Para $D > 40 \text{ mm}$ → $R = 0,95$

Donde R corresponde al rendimiento del cilindro. Entonces según lo anterior $R = 0,85$.

4.2.1.2. Dimensionamiento de la presión de trabajo requerida

Según la Figura 50, la presión disponible en la línea de suministro para el circuito neumático es aproximadamente 9 bar, el cual se encuentra dentro del rango de presión de operación del pistón, como se muestra en la Figura 51:



Figura 50. Presión marcada por manómetro en la línea de suministro.

Condiciones de funcionamiento y del entorno									
Diámetro del émbolo		32	40	50	63	80	100	125	
Fluido de trabajo		Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]							
Nota sobre el fluido de trabajo/mando		Es posible el funcionamiento con aire comprimido lubricado (lo cual requiere seguir utilizando aire lubricado)							
Presión de funcionamiento									
DSBC... [bar]		0,6 ... 12		0,4 ... 12			0,2 ... 10		
DSBC...-L ¹⁾ [bar]		0,3 ... 12	0,25 ... 12			0,2 ... 12	0,15 ... 12	-	
DSBC...-U ¹⁾ [bar]		0,25 ... 12		0,2 ... 12	0,15 ... 12	0,1 ... 12		0,1 ... 10	
DSBC...-C ²⁾ [bar]		1,5 ... 10							
DSBC...-E1/-E2/-E3 [bar]		2,5 ... 12		1,5 ... 12			-		
DSBC...-T3/-A2 [bar]		1 ... 12						1 ... 10	
DSBC...-A3 [bar]		1,5 ... 12		1 ... 12	0,6 ... 12			0,6 ... 10	
DSBC...-A6 [bar]		0,8 ... 12		0,4 ... 12		0,3 ... 12		0,25 ... 10	

1) Los valores con válidos solo para carreras $\approx 500 \text{ mm}$
En combinación con la amortiguación PPV/PPS los datos solo son válidos fuera de la amortiguación

2) Prestar atención a la presión mín. de liberación → 14

Figura 51. Operación y condiciones ambientales

Fuente: (FESTO, 2016)

Ahora para el cálculo de la fuerza inminente para el desplazamiento de la paleta junto con la mezcla sobre la matriz, es necesario considerar el coeficiente de rozamiento estático (u_s) y el diagrama de cuerpo libre expuesto en la Figura 52:

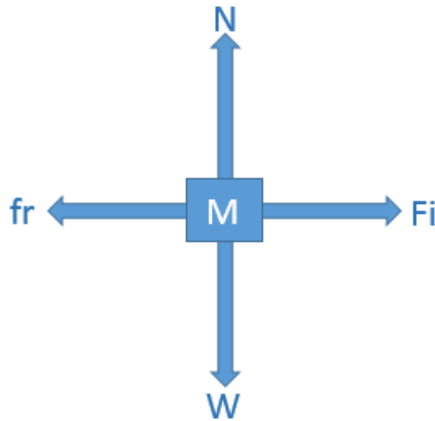


Figura 52. Diagrama de cuerpo libre paleta-mezcla

Por lo tanto al realizar la sumatoria de fuerzas en y se deduce la ecuación [3. 1]:

$$\sum F_y = 0$$

$$N - W = 0$$

$$N = W \quad [3. 1]$$

Donde el peso de la placa es de $1 \overrightarrow{Kg}$ al igual que el peso de la mezcla, entonces a partir de [3. 2] se obtiene N:

$$W = W_{placa} + W_{mezcla} \quad [3. 2]$$

$$N = W = 2 \overrightarrow{Kg} = 19,6 N$$

Ahora al realizar la sumatoria de fuerzas en x se deduce la expresión [3. 3].

$$\sum F_x = 0$$

$$F_i - f_r = 0$$

$$F_i = f_r = u_s \times N \quad [3. 3]$$

Según la Figura 53, el coeficiente de fricción estático u_s entre dos superficies de acero es 0,74, por lo tanto al remplazar en [3. 3] se obtuvo:

MATERIALES EN CONTACTO	COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO	COEFICIENTE DE FRICCIÓN DINÁMICO
Acero en acero	0,74	0,57
Aluminio en acero	0,61	0,47
Cobre en acero	0,53	0,36
Vidrio en vidrio	0,94	0,40
Hule en concreto seco	1,0	0,8
Hule en concreto húmedo	0,30	0,25

Figura 53. Coeficiente de fricción para superficies en contacto

Fuente: (Arbeláez Pérez, 2006)

$$F_i = 0,74 \times 19,6N$$

$$F_i = 14,504 N$$

Por lo tanto la fuerza necesaria F_n debe ser mayor a la fuerza inminente F_i entonces:

$$F_n \approx 15 N \rightarrow \text{Fuerza necesaria}$$

Ahora la presión necesaria de avance (P_{na}) del regulador se obtiene a partir de la ecuación [3. 4]:

$$P_{na} = \frac{F_n}{A} = \frac{F_n}{\frac{\pi}{4} \times D^2} \quad [3. 4]$$

Donde al remplazar $F_n = 15 N$ y $D = 32 mm$ en [3. 4], se tiene:

$$P_{na} = \frac{F_n}{A} = \frac{15 N}{\frac{\pi}{4} \times \left(\frac{32}{1000} m\right)^2}$$

$$P_{na} = 18650,97 Pa$$

$$P_{na} = 0,187 \text{ bar} \rightarrow \text{para el avance}$$

De forma similar, la presión necesaria de retroceso (P_{nr}) del regulador se obtiene a partir de la ecuación [3. 5]:

$$P_{nr} = \frac{F_n}{A} = \frac{F_n}{\frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2)} \quad [3. 5]$$

Donde al remplazar $F_n = 15 \text{ N}$, $D = 32 \text{ mm}$ y $d = 12 \text{ mm}$ en [3. 5] se tiene:

$$P_{nr} = \frac{F_n}{A} = \frac{15 \text{ N}}{\frac{\pi}{4} \times \left[\left(\frac{32}{1000} \text{ m} \right)^2 - \left(\frac{12}{1000} \text{ m} \right)^2 \right]}$$

$$P_n = 21702,95 \text{ Pa}$$

$$P_{nr} = 0,217 \text{ bar} \rightarrow \text{para el retroceso}$$

Por lo tanto para asegurar el retroceso y avance se necesita una presión mínima de:

$$P_n \approx 0,22 \text{ bar}$$

La cual es muy inferior a la presión de operación de trabajo mínima mostrada en la Figura 51. Por otra parte según la Figura 54, la presión mínima de desbloqueo del pistón es de 3 bar, Por lo tanto se considera una presión de al menos 3 bar que según la expresión [3. 6] tomada de la Figura 54, se encuentra dentro del rango de operación para asegurar el avance y retroceso del pistón con carga:

Diámetro del émbolo	32	40	50	63	80	100	125
Tipo de sujeción con sentido de trabajo	En ambos lados						
	Bloqueo mediante muelle						
	Desbloqueo mediante aire comprimido						
Fuerza de sujeción estática [N]	600	1000	1400	2000	5000	5000	7500
Juego axial máx. bajo carga [mm]	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8	0,8	1,8
Presión mín. de desbloqueo [bar]	3						

Figura 54. Presión mínima de desbloqueo

Fuente: (FESTO, 2016)

$$0,6 < P < 12 \text{ [bar]} \quad [3. 6]$$

Por lo tanto se tiene:

$$P = 3 \text{ bar} \approx 300.000 \text{ Pa}$$

Y a partir de la ecuación [2. 11] se obtiene la fuerza de avance:

$$F_a = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times P \times R \quad [2. 11]$$

$$F_a = \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{32}{1000} \text{ m}\right)^2 \times 300.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0,85$$

$$F_a = 205,1 \text{ N}$$

Ahora para el cálculo de la fuerza de retroceso del pistón, se utiliza la ecuación [2. 12].

$$F_r = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) \times P \times R \quad [2. 12]$$

$$F_r = \frac{\pi}{4} \times \left[\left(\frac{32}{1000} \text{ m}\right)^2 - \left(\frac{12}{1000} \text{ m}\right)^2 \right] \times 300.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0,85$$

$$F_r = 176,25 \text{ N}$$

Al comparar se puede concluir que la Fuerza de avance F_a es 13,67 veces mayor que la necesaria y que la Fuerza de retroceso F_r es 11,75 veces mayor que la necesaria, por lo tanto los 3 bar de la línea de suministro representa la suficiente presión para desplazar la paleta junto con la mezcla sobre la matriz de la prensa.

4.2.1.3. Selección del regulador de presión

De lo anterior dicho se fundamenta que el regulador debe ajustarse a una presión de 3 bar a partir de 9 bar de suministro. Por lo tanto el regulador seleccionado responde a la serie PP2 de TPC, cuyos datos técnicos se muestran en la Figura 55.

Series **PP2**

Piggyback 1/8" and 1/4"

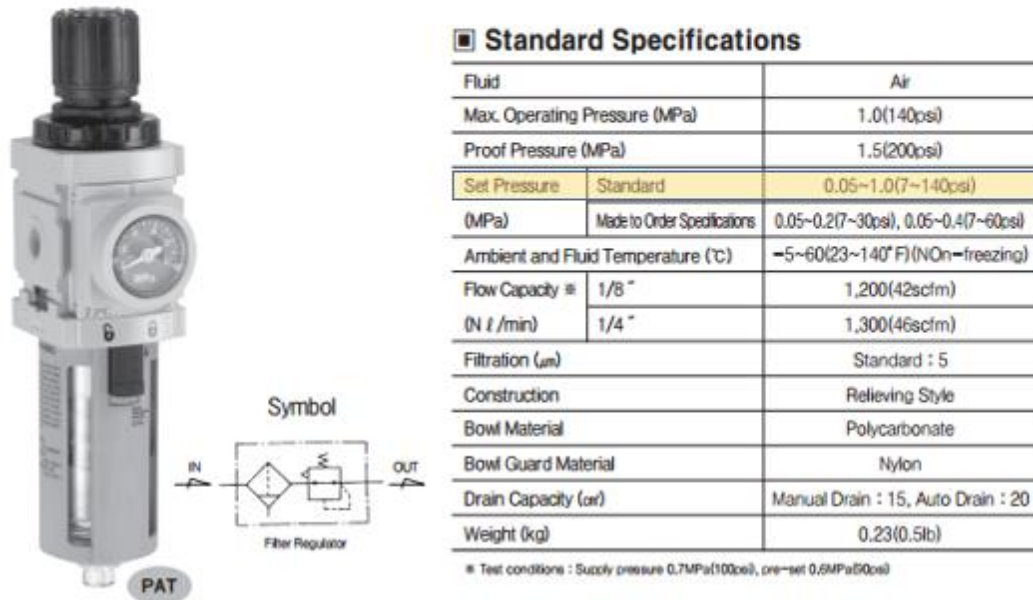


Figura 55. Regulador TPC serie PP2

Fuente: (TPC, 2012)

Como se puede observar en la Figura 55, la presión de operación de este regulador oscila entre 0,05 y 1 MPa, es decir entre 0,5 y 10 bar, por lo tanto la regulación a 3 bar se encuentra dentro del rango de operación.

4.2.1.4. Selección de los demás componentes neumáticos

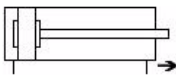
Para la selección de los demás componentes neumáticos, se usará el software on-line proporcionado por FESTO en su página de internet, donde el desarrollo se muestra a continuación:

Primero ingresamos los parámetros del sistema, mostrados en la Figura 56, donde se requiere que el tiempo de posicionamiento sea al menos de dos segundos con el fin de asegurar la correcta distribución de la mezcla sobre la matriz, la carrera debe ser de 400 m para que la paleta coloque la mezcla en los orificios de la matriz.

Según la expresión [3. 2], el peso de la mezcla más la paleta es 2 Kg , lo cual representa la masa en movimiento. Por otra parte la fuerza de fricción adicional según la expresión [3. 3] corresponde a $14,5 \text{ N}$. Además la distancia de la válvula al cilindro no es mayor a un metro.

1. Parámetros del sistema
2. Selección de los cilindros
3. Sistema
4. Simulación
5. Lista de piezas

Los parámetros del sistema - base para la selección Continuar >



	tiempo de posicionamiento esperado	quiero alcanzar este tiempo de posicionamiento:	2	↑ ↓	s
Regulación básica del cilindro	<input checked="" type="checkbox"/> ... Con válvula de estrangulación de retención				
	Longitud de carrera requerida		400	↑ ↓	mm
	Ángulo de instalación		0	↑ ↓	deg
	Dirección del movimiento		<input checked="" type="radio"/> extender <input type="radio"/> retirar		
Alimentación de aire comprimido	Presión de funcionamiento		3	↑ ↓	bar
Regulaciones de la carga	Largo del tubo flexible	Equipo de mantenimiento > Válvula	1	↑ ↓	m
		Válvula > Cilindro	1	↑ ↓	m
	Masa en movimiento		2	↑ ↓	kg
	fuerza de impacto adicional		0	↑ ↓	N
	fuerza de fricción adicional		14,5	↑ ↓	N

Continuar >

Figura 56. Parámetros del sistema

Fuente: Software On-Line de Ingeniería (FESTO, 2016)

El cilindro seleccionado disponible en el mercado para una carrera de 400 mm responde a la serie DSBC-32-400-PPVA-N3, pues satisface el requerimiento de carrera. Por lo tanto se selecciona este pistón como se muestra en la Figura 57.

1. Parámetros del sistema 2. Selección de los cilindros 3. Sistema 4. Simulación 5. Lista de piezas

Ideas de cilindros Festo - Accionamientos para cada aplicación

Solo ajustable amortiguación de fin de carrera neumática (PPV) ONLY

Solo accionamiento sin vástago

Solo vástago pasante (modelo especial S2)

Solo asegurado contra rotación


solo en: Longitud de carrera requerida 400 [mm]

solo en: Carrera variable

Diámetro del émbolo elegido

[< Atrás](#) [Continuar >](#)

Partes encontradas [22] Mostrar

Tipo	Nº de art.	Conexión	Carrera [mm]
 DNC-32-400-PPV	163329	1/8	400
 DNC-32-400-PPV-A	163315	1/8	400
 DSBC-32-400-PPSA-N3	1376477	1/8	400
 DSBC-32-400-PPVA-N3	1376432	1/8	400

[★ Gama básica](#)

 Con amortiguación de final de carrera regulable en ambos lados.




-  CAD/EPLAN
-  Accesorios
-  Hoja de datos
-  Documentación

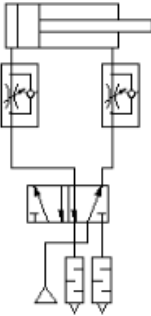
Figura 57. Selección del cilindro

Fuente: Software On-Line de Ingeniería (FESTO, 2016)

El accionamiento del pistón se realiza a través de una válvula la cual es gobernada por un PLC, por lo tanto dicho elemento corresponde a una electroválvula monoestable de la serie MFH-5-1/4-B como se muestra en la Figura 58. Además es necesario añadir un estrangulador en cada vía de suministro al cilindro para regular la velocidad tanto de avance como retroceso, estos estranguladores son de la serie GRLA-1/8-QS-8-D, adicionalmente se requiere un par de silenciadores para los escapes de la electroválvula de la serie U-1/4, como se indica en la Figura 58. La simulación indica que el ciclo completo del cilindro tendrá una duración de 4,724 s con una velocidad promedio de 0,08 m/s (ver Figura 59).

1. Parámetros del sistema 2. Selección de los cilindros **3. Sistema** 4. Simulación 5. Lista de piezas

Simular el sistema y optimizar los resultados



Regulación PPV
100 %

Flujo
5.2 Revoluciones abiertas

Haga click sobre el tipo de código del componente que Ud. quiere seleccionar o modificar

Accionamiento	DSBC-32-400-PPVA-N3
<input type="checkbox"/> Amortiguador	
Válvula de estrangulación de retención	GRLA-1/8-QS-8-D
Tubo flexible [Cil. > Válvula]	PUN-8x1,25-BL (1 m)
Válvula de vías	MFH-5-1/4-B
Tubo flexible [Fuente > Válvula]	PUN-8x1,25-BL (1 m)
Silenciador	U -1/4

Presión de funcionamiento: 3 bar

Dirección del movimiento:

- extender
- retirar
- Ciclo de trabajo completo

< Atrás Simulación...

Figura 58. Sistema neumático

Fuente: Software On-Line de Ingeniería (FESTO, 2016)

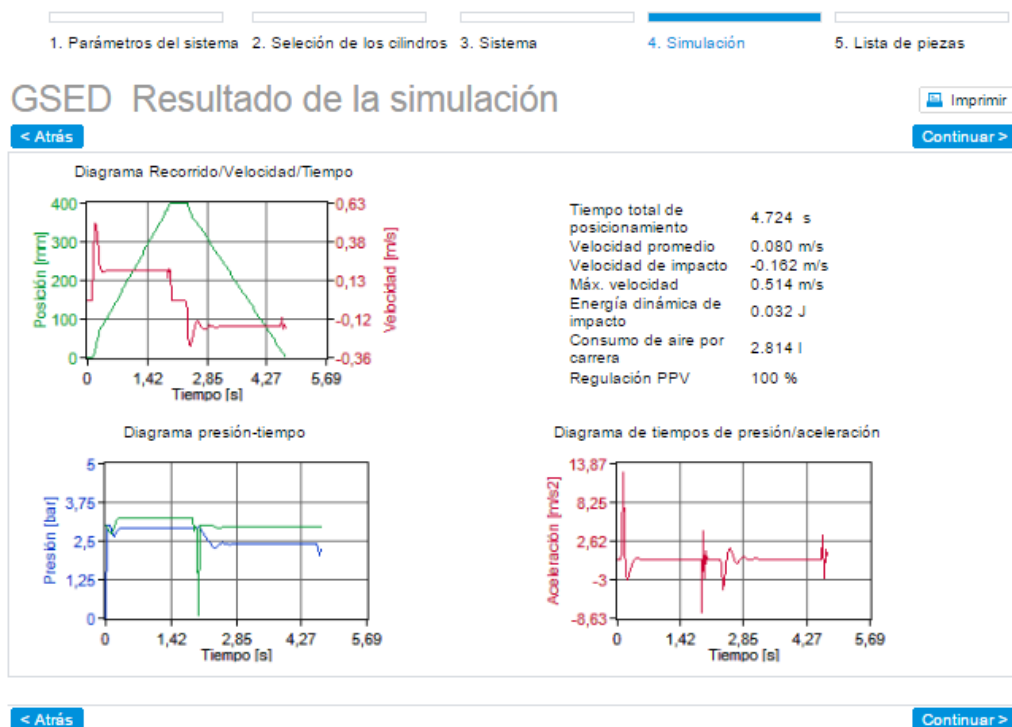


Figura 59. Simulación del sistema neumático

Fuente: Software On-Line de Ingeniería (FESTO, 2016)

Por último el software on-line muestra (ver Figura 60) un resumen de los elementos necesarios para la implementación del sistema neumático, donde hace falta incluir el regulador mostrado en la Figura 55. La implementación neumática se muestra en el “ANEXO B”.

<input type="checkbox"/>	Tipo	Denominación	Nº de art.
<input type="checkbox"/>	DSBC-32-400-PPVA-N3	cilindro normalizado	1376432
<input type="checkbox"/>	GRLA-1/8-QS-8-D	válvula de estrangulación y antirretorno	193145
<input type="checkbox"/>	PUN-8X1,25-BL	tubo flexible de material sintético	159666
<input type="checkbox"/>	QS-1/4-8	racor rápido roscado	153005
<input type="checkbox"/>	MFH-5-1/4-B	electroválvula	15901
<input type="checkbox"/>	U-1/4	silenciador	2316
<input type="checkbox"/>	QS-1/4-8	racor rápido roscado	153005
<input type="checkbox"/>	PUN-8X1,25-BL	tubo flexible de material sintético	159666

Figura 60. Lista de piezas

Fuente: Software On-Line de Ingeniería (FESTO, 2016)

4.2.1.5. Cálculo del consumo de aire

El consumo de aire es verdaderamente relevante, debido a que con este valor se dimensiona la capacidad necesaria del compresor para satisfacer la demanda de la instalación neumática. El consumo de aire en el avance se obtiene a partir de la ecuación [2. 14]:

$$Q_a = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times L \times (P + 1) \times 10^{-6} \quad [2. 14]$$

Según la Figura 49, $D = 32 \text{ mm}$ y $d = 12 \text{ mm}$, la longitud del pistón es 400 mm y la presión de trabajo es 3 bar , por lo tanto al remplazar en [2. 14] se obtuvo el consumo del aire en el avance:

$$Q_a = \frac{\pi}{4} \times (32)^2 \times 400 \times (3 + 1) \times 10^{-6}$$

$$Q_a = 1,29 [l]$$

Ahora al sustituir los valores antes mencionados en [2. 15] se obtuvo el consumo del aire en el retroceso:

$$Q_r = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) \times L \times (P + 1) \times 10^{-6} \quad [2. 15]$$

$$Q_r = \frac{\pi}{4} \times (32^2 - 12^2) \times 400 \times (4 + 1) \times 10^{-6}$$

$$Q_r = 1,1 [l]$$

El consumo total del aire en la instalación se calculó a partir de la ecuación [2. 16]:

$$Q_t = Q_a + Q_r \quad [2. 16]$$

$$Q_t = (1,29 + 1,1)[l]$$

$$Q_t = 2,39[l]$$

Como el pistón debe cumplir un ciclo (avance y retroceso) en 4 [s] para asegurar una distribución eficiente de la mezcla en las cavidades de la matriz, se deduce en número de ciclos por minuto (n):

$$n = \frac{1 \text{ ciclo}}{4 [s]} = 15 \frac{\text{ciclos}}{\text{min}}$$

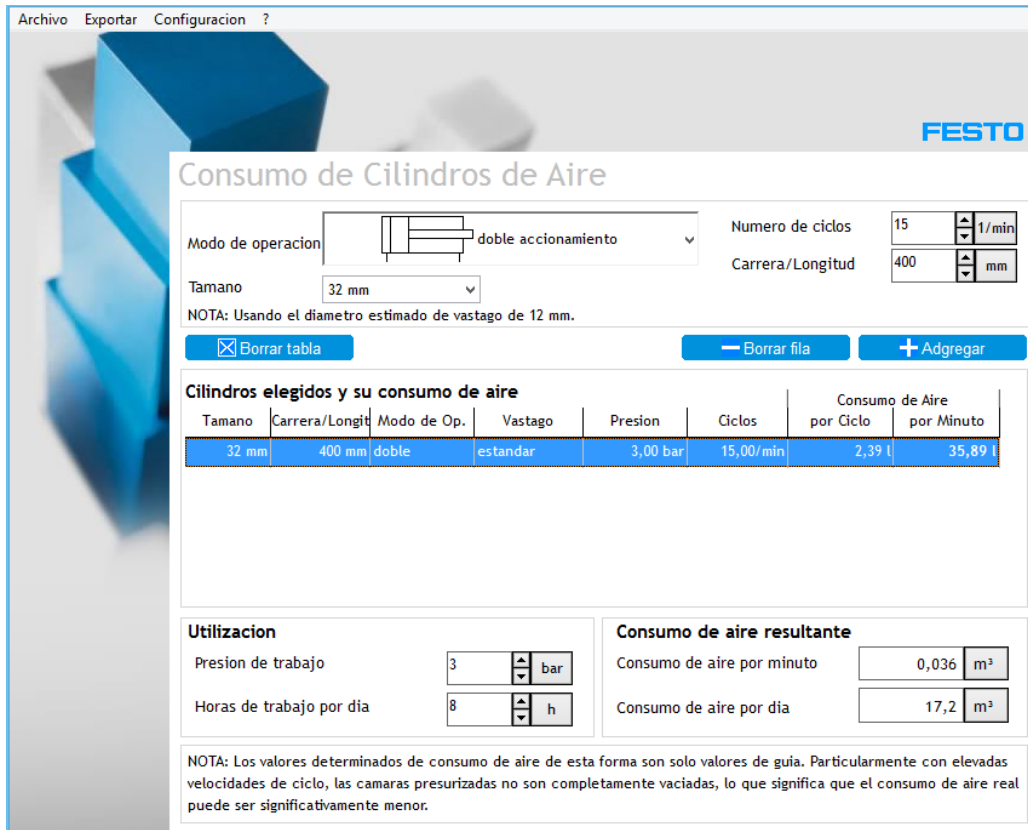
Para obtener el consumo de aire en litros por minutos se utilizó la expresión [2. 17]:

$$Q_{[l/min]} = Q_t \times n \quad [2. 17]$$


$$Q_{[l/min]} = 2,39[l] \times 15 \frac{\text{ciclos}}{\text{min}}$$

$$Q_{[l/min]} = 35,85 \left[\frac{l}{min} \right]$$

Para corroborar estos valores se usó el software "AirConsumption" de FESTO, donde se obtuvo los valores mostrados en la Figura 61:



Consumo de Cilindros de Aire

Modo de operación:  doble accionamiento

Numero de ciclos: 15 /min

Carrera/Longitud: 400 mm

Tamano: 32 mm

NOTA: Usando el diametro estimado de vástago de 12 mm.

Borrar tabla

Tamano	Carrera/Longitud	Modo de Op.	Vástago	Presion	Ciclos	Consumo de Aire por Ciclo	Consumo de Aire por Minuto
32 mm	400 mm	doble	estandar	3,00 bar	15,00/min	2,39 l	35,89 l

Utilizacion

Presion de trabajo: 3 bar

Horas de trabajo por día: 8 h

Consumo de aire resultante

Consumo de aire por minuto: 0,036 m³

Consumo de aire por día: 17,2 m³

NOTA: Los valores determinados de consumo de aire de esta forma son solo valores de guía. Particularmente con elevadas velocidades de ciclo, las camaras presurizadas no son completamente vaciadas, lo que significa que el consumo de aire real puede ser significativamente menor.

Figura 61. Consumo de cilindros de aire

Fuente: Software AirConsumption de FESTO

La Figura 61 ratifica los valores obtenidos con respecto al consumo de aire. Por lo tanto se debe asegurar un flujo de 35,85 [l/min] para un desempeño eficiente de la instalación neumática.

4.2.1.6. Dimensionamiento de la presión apropiada en la entrada del regulador

El compresor se encuentra alejado aproximadamente 15 metros del regulador implementado en la prensa electromecánica, por lo tanto es indispensable considerar las pérdidas para asegurar una presión de suministro mínima de 3 bar, necesaria para activar el pistón, por esta razón FESTO recomienda que el compresor sea capaz de generar una presión de 0,5 a 1 bar superior a la presión de trabajo, con el fin de absorber las pérdidas por fricción, cambios de sección y fugas. Por lo tanto la presión mínima en la entrada del regulador debe ser al menos 3,5 bar.

4.3. Diseño de la estructura mecánica de soporte del sistema de distribución neumática.

La estructura de soporte del sistema de distribución neumática se lo va a realizar con el tubo cuadrado de 50mm de lado y 2mm de espesor que se estableció en el apartado de diseño de la estructura mecánica de soporte para el sistema de dosificación, dado que la empresa cuenta con este material. Como se vio en el apartado de diseño mencionado anteriormente, este tubo soporta cargas muy grandes por lo que el peso del pistón no representa un problema. En la Figura 62 podemos observar el diseño de la estructura mecánica de soporte del pistón anclado en conjunto con la placa inferior y añadido una platina para nivelar el pistón.

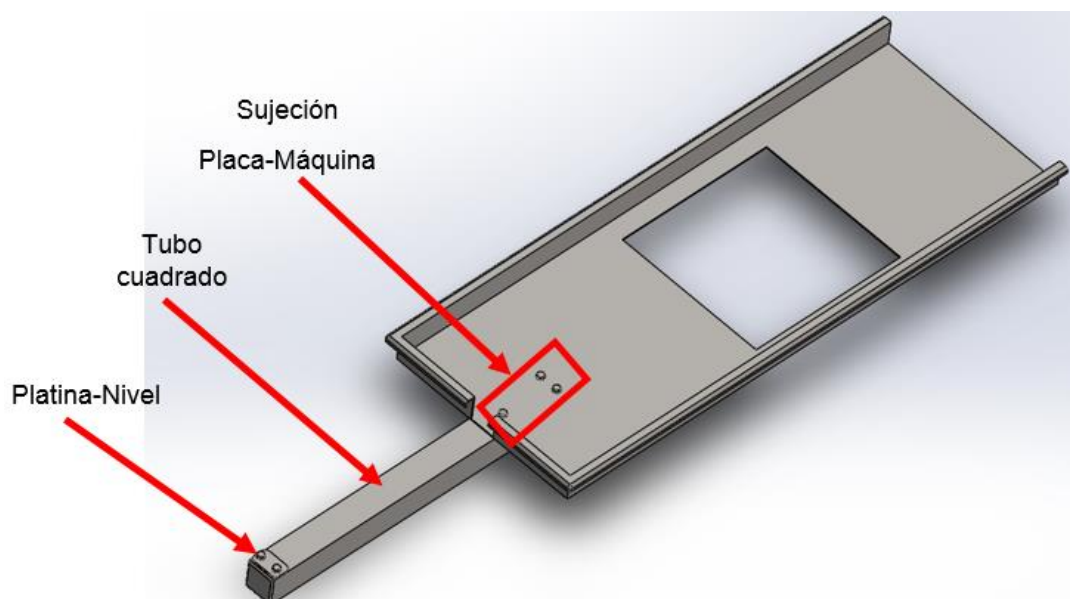


Figura 62. Sub ensamble Estructura/Placa-máquina.

4.4. Diseño Final y Simulación.

En la Figura 63 se puede observar el diseño final del sistema de distribución y dosificación previamente diseñados, montados sobre la máquina.

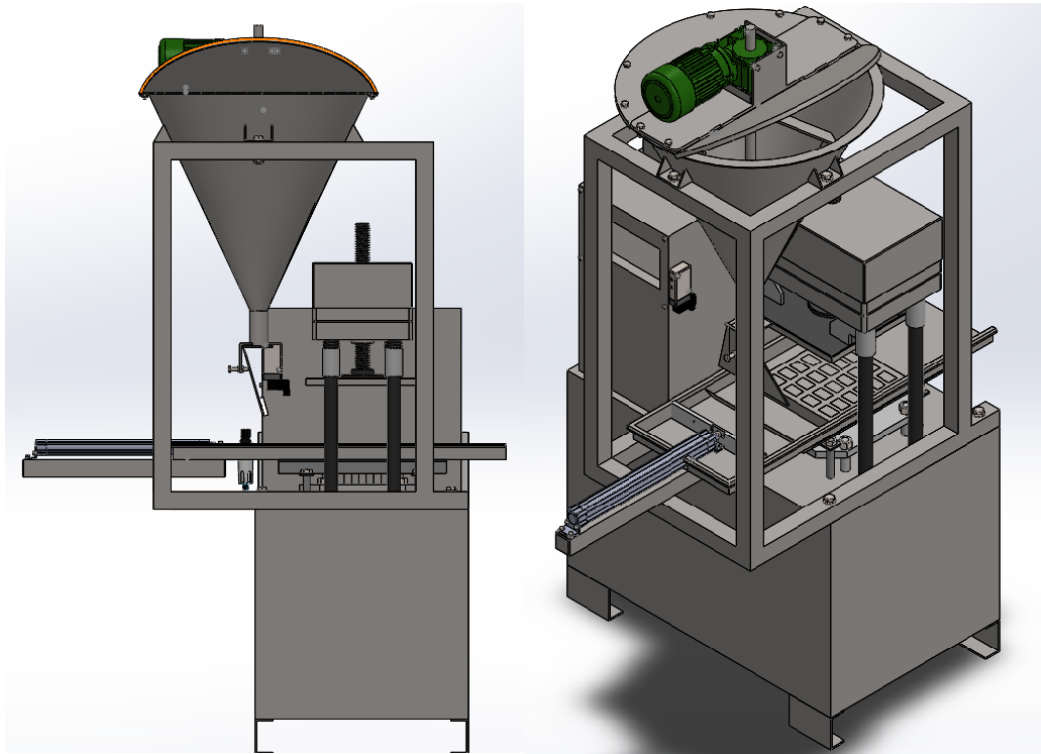


Figura 63. Ensamble sistema dosificación y distribución

En la Figura 63 se observa que el dimensionamiento geométrico del sistema de distribución es el correcto puesto que este se adapta correctamente sobre la máquina, los planos del sistema de distribución los podemos observar en el “ANEXO A”.

4.5. Resumen del diseño del sistema de distribución

El diseño del sistema de distribución expuesto en apartados anteriores, establece parámetros y una lista de componentes requeridos para el correcto funcionamiento y construcción de dicho sistema, esta lista se observa en la Tabla 15. La Tabla 16 nos muestra el error que se genera al comparar los datos calculados vs los simulados, correspondiente a los parámetros críticos que requiere y presenta el pistón neumático. El error máximo obtenido corresponde a 5%; este valor se considera aceptable pues cumple con los parámetros preestablecidos de diseño.

Tabla 15. Resumen de elementos-sistema distribución

Cantidad	Tipo	Denominación
1	DSC-32-400-PPVA-N3	Cilindro normalizado
2	GRLA-1/8-QS-8-D	Válvula de estrangulación anti retorno
2	PUN-8X1,25-BL	Tubo flexible de material sintético
2	QS-1/4-8	Racor rápido roscado
1	MFH-5-1/4-B	Electroválvula
2	U-1/4	Silenciador
2	QS-1/4-8	Racor rápido roscado
1	50x50x2	Tubo cuadrado AISI 304
1	350x50x12 mm	Placa de duralón

Tabla 16. Comparación parámetros del sistema neumático

Parámetros	Calculado	Simulado	Error (%)
Consumo de aire (l/min)	35,85	35,89	0,1
Tiempo posicionamiento del pistón (s)	4,5	4,724	5,0

CAPÍTULO V

5. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA PRENSA ELECTROMECAÁNICA

5.1. Diseño general del sistema de control

El sistema de control de la prensa electromecánica cuenta principalmente con un PLC encargado de gestionar las acciones que se realizarán en conjunto con una pantalla táctil. El sistema de control y la línea de potencia se encuentran distribuidos en una caja metálica de conexiones al costado de la máquina. La pantalla está ubicada en el panel de operador donde inicialmente estaba situada la botonera. La distribución geométrica del sistema de control y monitoreo de la prensa electromecánica se observa en la Figura 64.

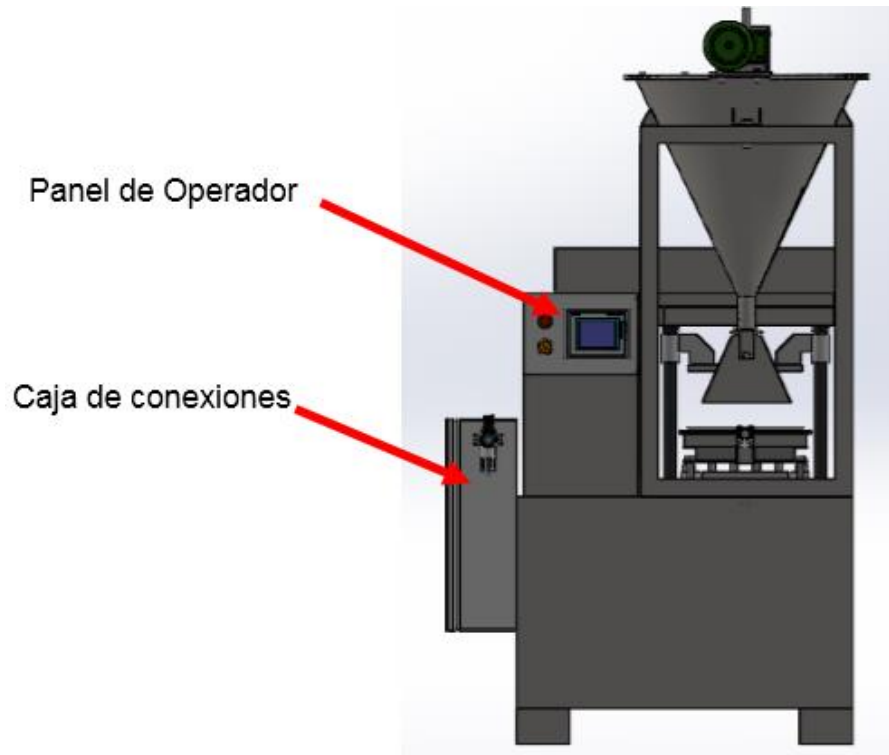


Figura 64. Ubicación del sistema de control y monitoreo.

5.2. Selección y programación del PLC

El requerimiento de entradas y salidas para el proceso de modernización de la prensa electromecánica se observan en la Tabla 17 y Tabla 18 respectivamente. Estas tablas indican que el PLC debe satisfacer un requerimiento mínimo de 9 entradas y 7 salidas del tipo digital, así como también alto grado de confiabilidad, protección y capacidad de almacenar en memoria remanente. Esta última característica es necesaria para poder modificar parámetros desde la HMI y guardarlos directamente en el PLC sin necesidad de volver a configurarlos al cortar el suministro energético. Por estas características y prestaciones el PLC seleccionado corresponde al tipo compacto de la marca Siemens serie S7 1200 CPU 1214c.

Tabla 17
Requerimiento de entradas.

Descripción	# Entradas
Sensores magnéticos	2
Sensores inductivos	4
Paro de emergencia	1
Fallo motor (guarda motores)	2
Total	9

Tabla 18
Requerimiento de Salidas.

Descripción	# Salidas
Motor dosificación	1
Motor placa superior	2
Motor matriz	2
Electroválvula monoestable	1
Lámpara de Emergencia	1
Total	7

La herramienta requerida para la programación del PLC seleccionado, es el TIA PORTAL versión V13 proporcionado por el fabricante. Dicho software permite la programación en tipo escalera. La lógica del proceso automático se estructuró con metodología GRAFCET, donde es posible implementar procesos secuenciales con una estructura ordenada de programación evitando posibles errores y mejorando la comprensión de la lógica de control.

5.2.1. Diagrama GRAFCET

5.2.1.1. Descripción de la automatización implementada

La lógica de control implementada se muestra en el GRAFCET nivel uno, dos y tres mostrados en el “ANEXO C”. El GRAFCET nivel uno describe de forma general el proceso implementado. Para iniciar la secuencia es preciso cumplir con las condiciones iniciales las cuales implican que la placa superior, la matriz y la paleta se encuentren en su ubicación inicial, como se muestra en la Figura 65 y Figura 66.

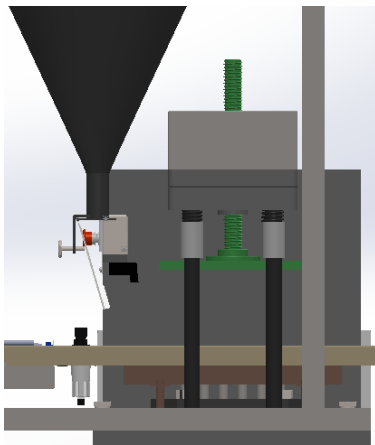


Figura 65. Placa superior (verde) en posición inicial

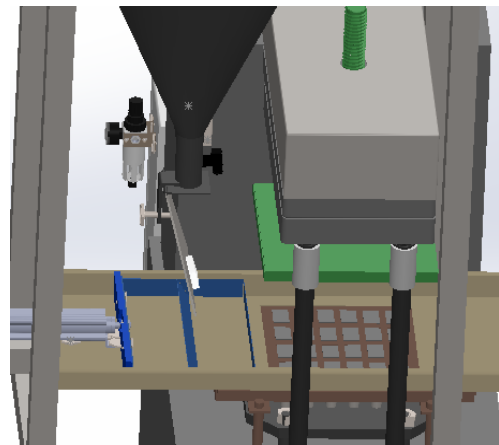


Figura 66. Matriz (marrón) y paleta (azul) posiciones iniciales

Si las condiciones iniciales antes mencionadas se cumplen y se pulsa el botón “Iniciar” de la HMI mostrado en la Figura 84, empieza la dosificación de la mezcla, puesto que se activa el motor que a su vez gira el tornillo conjuntamente con el raspador y agitador (ver Figura 67), con lo cual la mezcla se desplaza desde la tolva hacia la paleta, a través de la placa mostrada en la Figura 68.

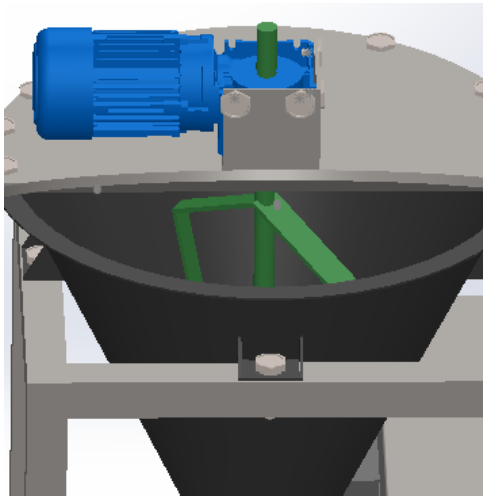


Figura 67. Motor (azul), sistema tornillo-raspador-agitador (verde).

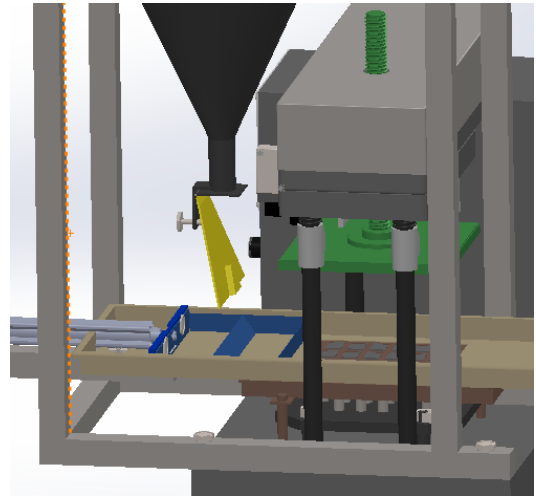


Figura 68. Placa direccionadora de la mezcla (amarillo).

Una vez culminado el periodo de dosificación, la matriz sube para exponer las cavidades donde se alojará la mezcla como se observa en la Figura 69.

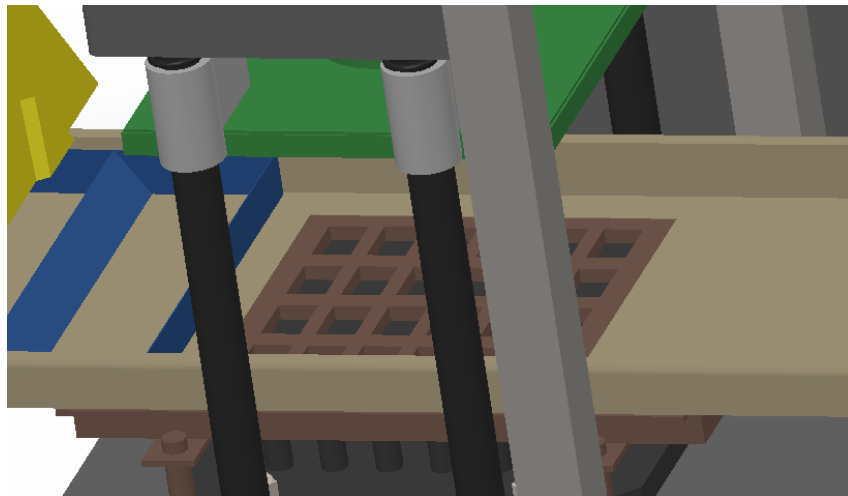


Figura 69. Matriz (marrón) sube hasta su posición final.

Cuando la matriz alcance su posición final (ver Figura 69), se detiene y la paleta se desliza sobre la matriz expuesta, llenando las cavidades con la mezcla. La paleta se desplaza hasta su posición final como se indica en la Figura 70.

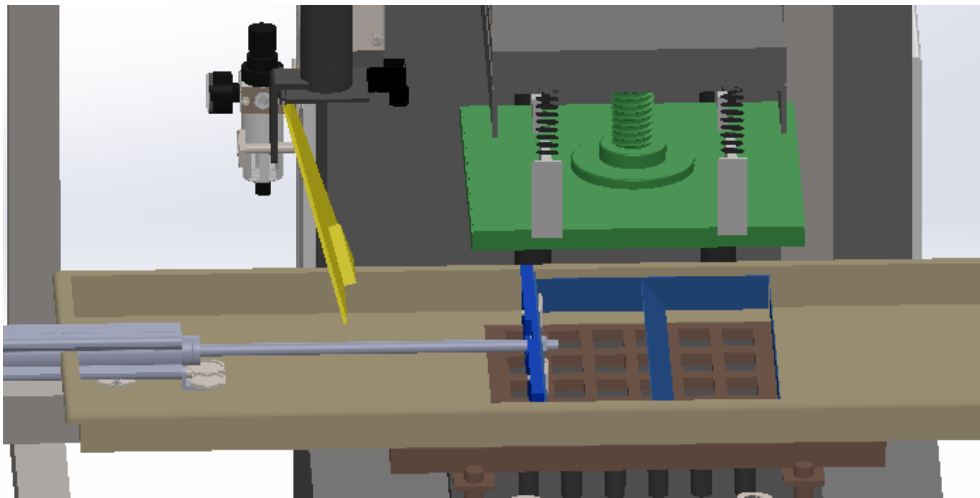


Figura 70. Posición final de la paleta (azul).

Inmediatamente después de que la paleta se ubique en su posición final, retorna a la inicial. A este proceso de avance y retorno se lo denomina ciclo de la paleta como se observa en la Figura 71. Desde la pantalla en la ventana de “Administrador” (ver Figura 80) es posible ingresar el número de ciclos de la paleta, es decir las veces que este elemento avanza y regresa, con el fin de asegurar que la mezcla se distribuya correctamente en las cavidades de la matriz.

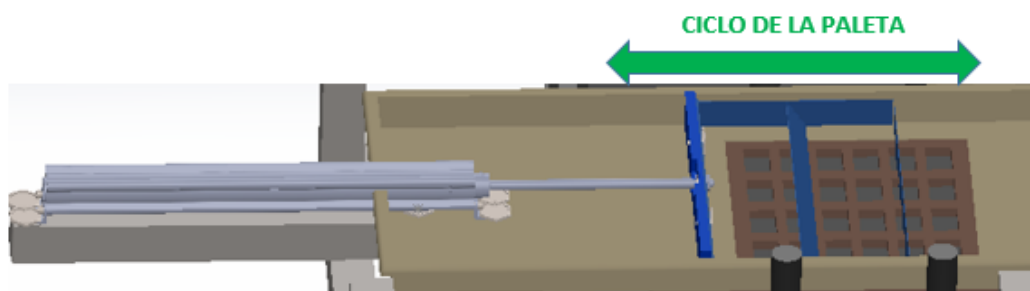


Figura 71. Ciclo de la paleta sobre la matriz.

Una vez concluido el o los ciclos que se muestran en la Figura 71 y ubicada la paleta en su posición inicial, la placa superior se desplaza hacia abajo hasta su posición final, comprimiendo la mezcla ubicada en las cavidades de la matriz como se indica en la Figura 72.

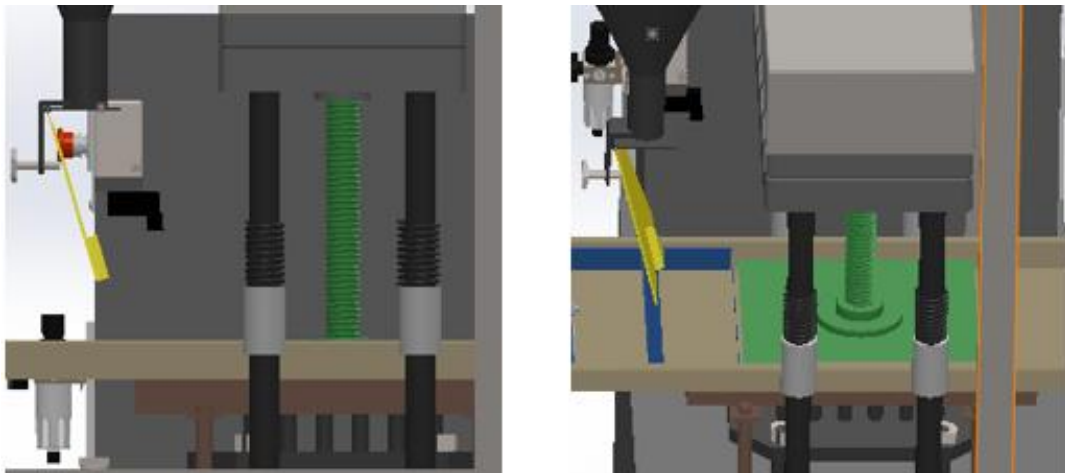


Figura 72. Placa superior (verde) en su posición final.

Luego de realizar la compresión, la placa superior espera un tiempo llamado “tiempo de compresión” el cual se puede configurar en la ventana de administración (ver Figura 80). Posteriormente sube hasta ubicarse nuevamente en su posición inicial. A continuación la matriz sube para dejar expuestos los dulces como se muestra en la Figura 73.



Figura 73. Matriz sube y deja expuestos a los dulces de maní.

Cuando la matriz se ubica en su posición final (sube) para dejar expuestos los dulces, inmediatamente la paleta avanza para desplazar los dulces fuera de la matriz hasta ubicarse en su posición final, como se muestra en la Figura 74 y seguidamente regresa a la inicial.



Figura 74. Paleta avanza para desplazar dulces sobre la bandeja.

Una vez activado el factor de corrección presente en el GRAFCET ubicado a continuación del estado 11 evita que en el siguiente proceso se active la etapa referente a la dosificación, saltándose al estado donde la paleta distribuye la mezcla sobre la matriz. Para que el factor de corrección se active debe cumplirse un número de procesos ingresados a través de la HMI en la ventana de “Administración” mostrada en la Figura 80.

Cuando se activa el paro de emergencia, indicado en la Figura 75, se detiene el proceso inmediatamente y se presentan dos alternativas, “Rearme Si” (mostrado en la HMI con el botón “Rearme automático”) o “Rearme No” (mostrado en la HMI con el botón “Continuar ciclo”) y una tercera opción presente únicamente en la HMI como “Modo manual”. Si se selecciona la primera opción, la máquina, de forma automática se ubica en su posición inicial lista para empezar un nuevo ciclo. Si se presiona la segunda, la máquina continúa con el ciclo donde se detuvo debido a la activación del paro de emergencia. O a su vez si se presiona la tercera opción, la interfaz direcciona a la ventana de “Modo manual” en la que el operador tiene toda la potestad de los movimientos a realizar de la máquina.

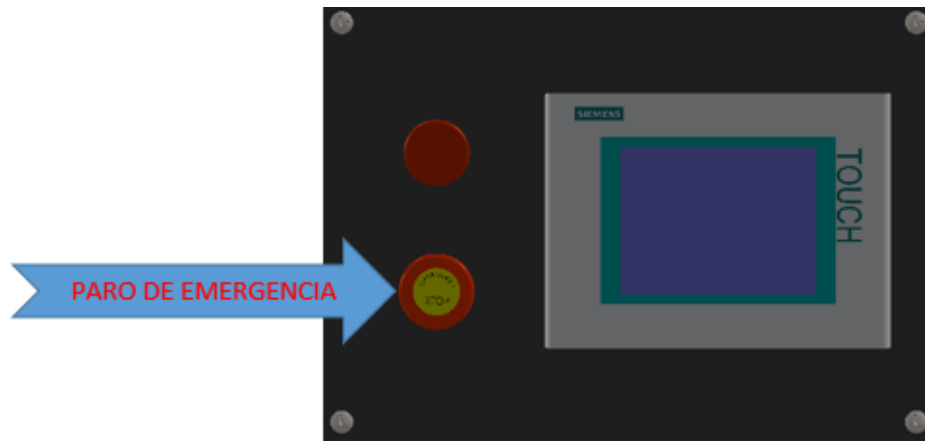


Figura 75. Paro de emergencia en el panel de control.

5.3. Programación HMI

Para la interacción con el usuario, la máquina cuenta con una pantalla Siemens Ktp-400 monocromática debido a su compatibilidad con el PLC siemens S7 1200 seleccionado anteriormente. En la pantalla mencionada el usuario puede controlar y monitorizar todo el proceso de conformación de los caramelos de maní.

La programación de la HMI se la realizó con el software propio de siemens, provisto al adquirir la pantalla, este software corresponde a la versión V13 del Tia Portal. En la pantalla se programó diferentes funcionalidades que puede realizar la prensa, las cuales serán analizadas a continuación:

5.3.1. Ventanas de navegación

La interfaz cuenta con diferentes ventanas donde se puede ingresar parámetros para el proceso de conformación de caramelos de maní y también supervisar un proceso previamente programado. Es importante analizar cada ventana individual e indicar sus prestaciones. En la Figura 76 se observa la arquitectura seleccionada para la navegación entre pantallas considerando que a la ventana de "Alarmas" se puede acceder en cualquier momento y además existen ventanas especiales, que serán tratadas posteriormente.

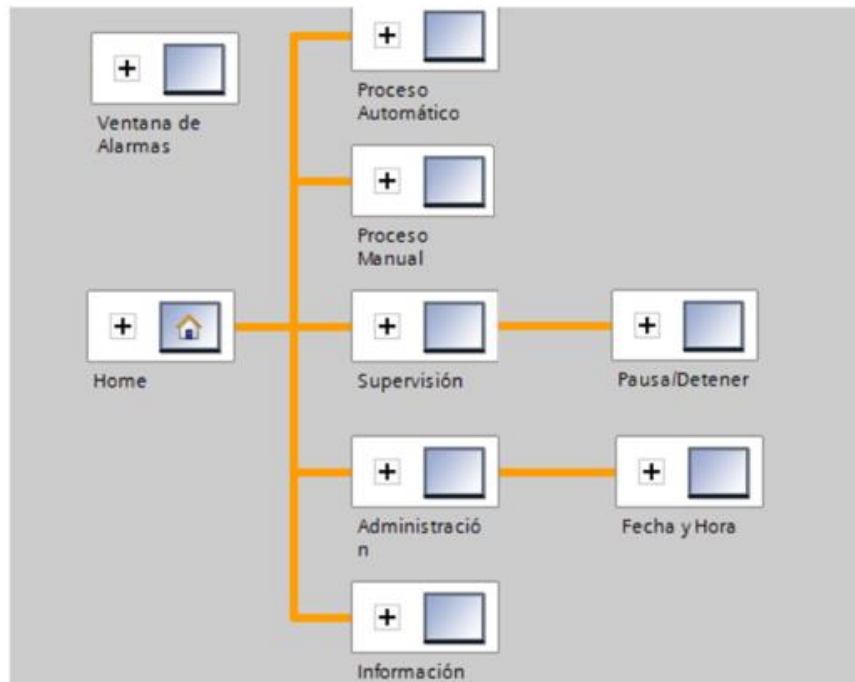


Figura 76. Esquema General de la arquitectura de las ventanas

5.3.1.1. Distribución de pantalla general de las ventanas

Las ventanas que conforman la HMI cuentan con una distribución de pantalla generalizada. Se observa en la Figura 77.

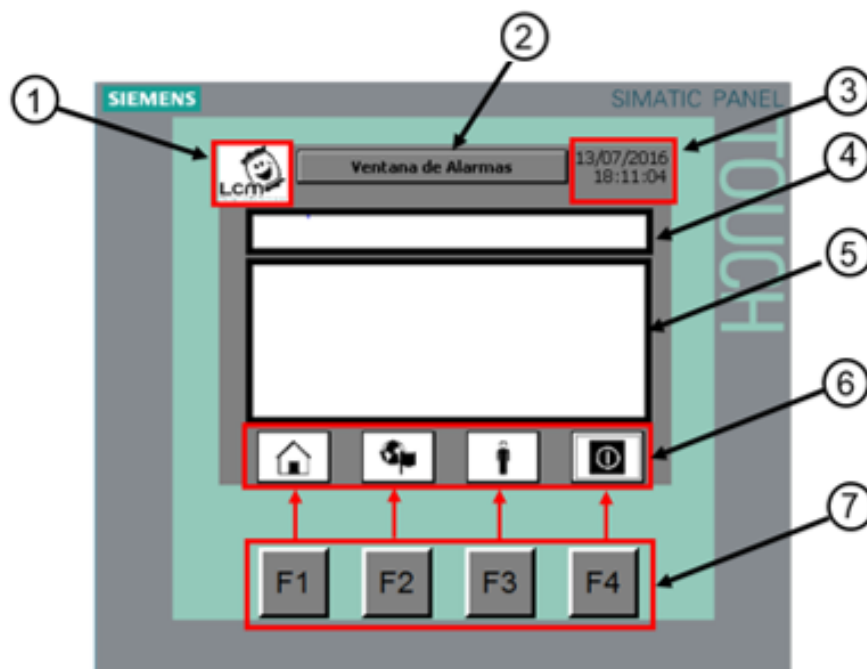


Figura 77. Distribución de pantalla genérica de las ventanas

Las partes numeradas que conforman la distribución de pantalla de la Figura 77 se citan a continuación:

1. Logo de la Empresa.
2. Línea de Alarmas.
3. Hora y Fecha del Sistema.
4. Título de la ventana.
5. Contenido de la Ventana.
6. Barra de iconos gráficos.
7. Teclas de acceso rápido: Estos botones están vinculados directamente con la barra de iconos gráficos como se muestra en la Figura 77.

5.3.1.2. Barra de iconos gráficos

Esta barra de iconos que se observa en la Figura 77 y corresponde a la numeración 6, permite tener acceso a distintas funcionalidades que se describen a continuación:



Botón Home: Este botón permite regresar a la ventana home desde cualquier ventana.



Botón Idioma: Este botón permite cambiar de español a inglés o viceversa en función del idioma que se tenga al momento.



Botón Sesión: Este botón da opción para ingresar el usuario y clave con el fin de habilitar el modo administrador como se observa en la Figura 78.

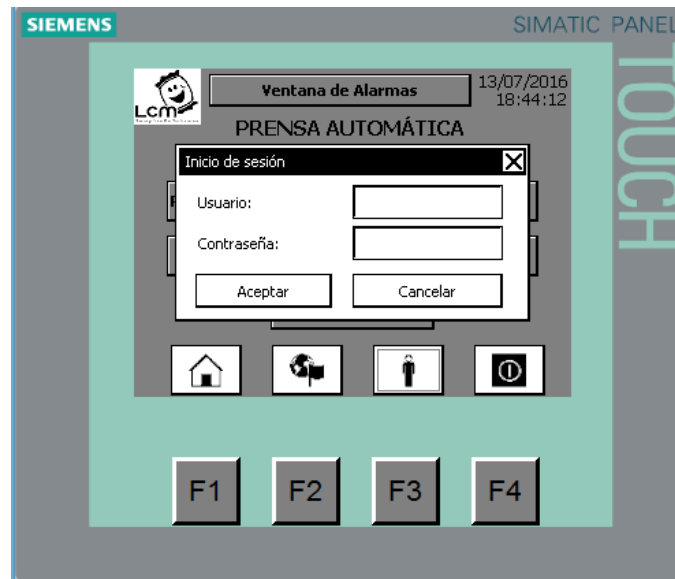


Figura 78. Ingresar a Modo Administrador.



Botón Apagar: Este Botón permite apagar la pantalla.

5.3.1.3. Ventana Home

Esta ventana corresponde a la “Inicial”, aparece inmediatamente al encender la interfaz donde se puede elegir la función requerida como: “Proceso manual”, “Proceso automático”, “Información del Sistema”, “Administración”, “Supervisión y Ventana de alarmas” (ver Figura 79).

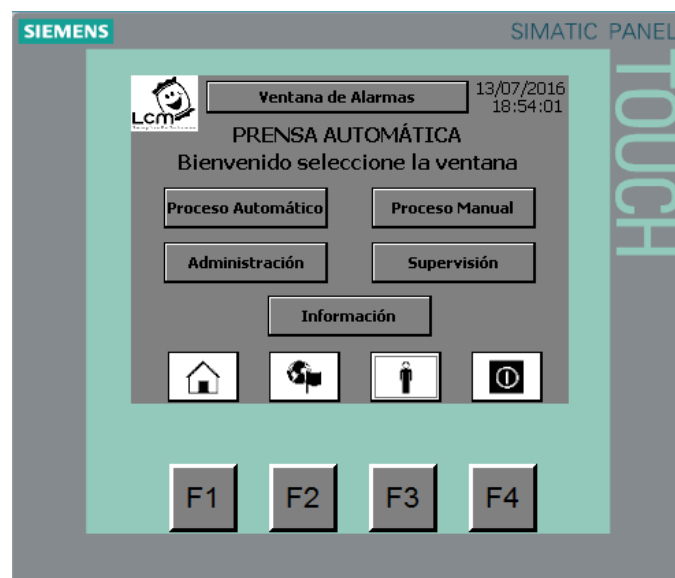


Figura 79. Ventana Home.

1.1.1.1. Ventana de Administración

Permite ingresar o modificar los parámetros para el funcionamiento de la máquina, (ver Figura 80). El ingreso a la ventana solo está permitido en modo administrador puesto que la interfaz solicitará usuario y clave antes de consentir el ingreso.

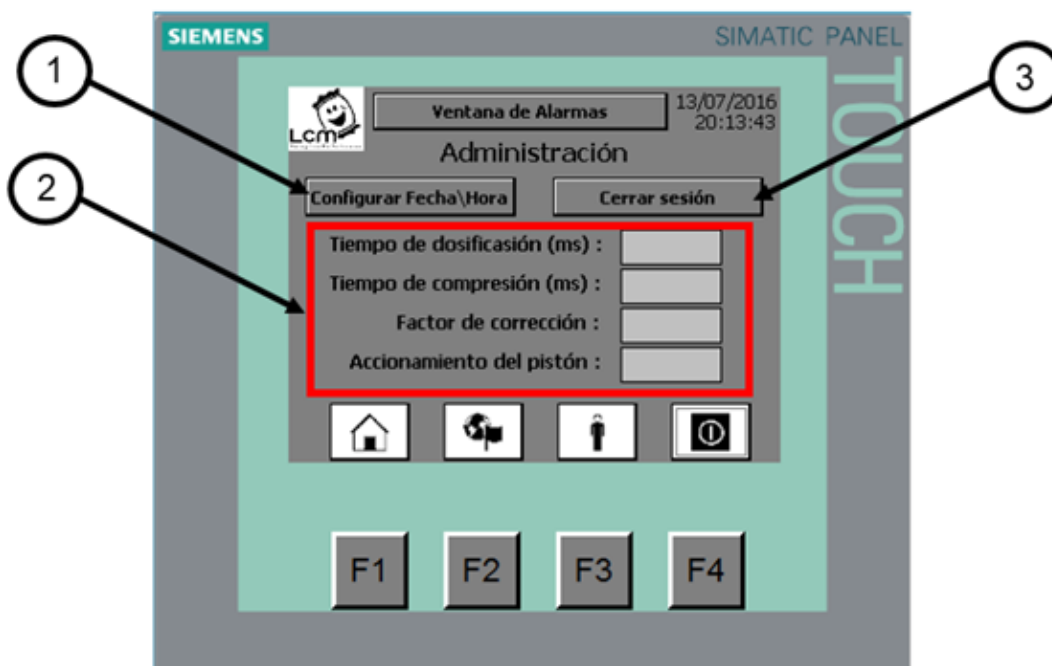


Figura 80. Ventana de Administración.

La numeración 3 observada en la Figura 80, muestra el botón “cerrar sesión”, el mismo permite concluir con la sesión que previamente fue habilitada para tener acceso a esta ventana. Es importante mencionar que si la sesión no es finalizada mediante “Cerrar sesión”, esta terminará automáticamente en el transcurso de 5 minutos sin interacción con la ventana.

5.3.1.3.1. Configuración de Parámetros.

Para el funcionamiento de la máquina en modo automático, es necesario la configuración previa de parámetros. Dichos parámetros se observan en el numeral 2 de la Figura 80 y corresponden a:

- **Tiempo de Dosificación:** El tiempo de dosificación determina la cantidad de mezcla a ser dosificada y está directamente relacionada con la densidad de la mezcla y el espesor de los caramelos. Con las condiciones de diseño preestablecidas se asegura que para graduar 500g de la mezcla de maní y azúcar que presenta una densidad de $0,86 \text{ g/cm}^3$, se necesita de 15 [s].
- **Tiempo de Compresión:** Corresponde al tiempo que debe permanecer la prensa compactando la mezcla antes de subir la placa superior.
- **Factor de corrección:** Corresponde a la cantidad de ciclos (n) que la máquina realizará normalmente antes de pasar a la etapa de dosificación. Este factor surge debido a que la cantidad residual de mezcla acumulada en la placa de distribución, llega a ser suficiente para realizar el proceso de prensado sin necesidad de la etapa de dosificación. Esta corrección se la realiza en el ciclo (n+1) y continúa con la normalidad del proceso en el ciclo (n+2).
- **Accionamiento del Pistón:** Este parámetro corresponde al número de veces que el pistón va a distribuir la mezcla sobre la matriz de la prensa. El valor mínimo de este parámetro es 1.

5.3.1.3.2. Configuración de Hora y Fecha.

Al presionar el botón correspondiente al numeral 1 de la Figura 80, se accede a la ventana correspondiente a la configuración de fecha y hora tal como se muestra en la Figura 81. Esta interfaz está coordinada con la Fecha/Hora UTC (Universal Time Coordinate) y los pasos para configurarla se indican a continuación.

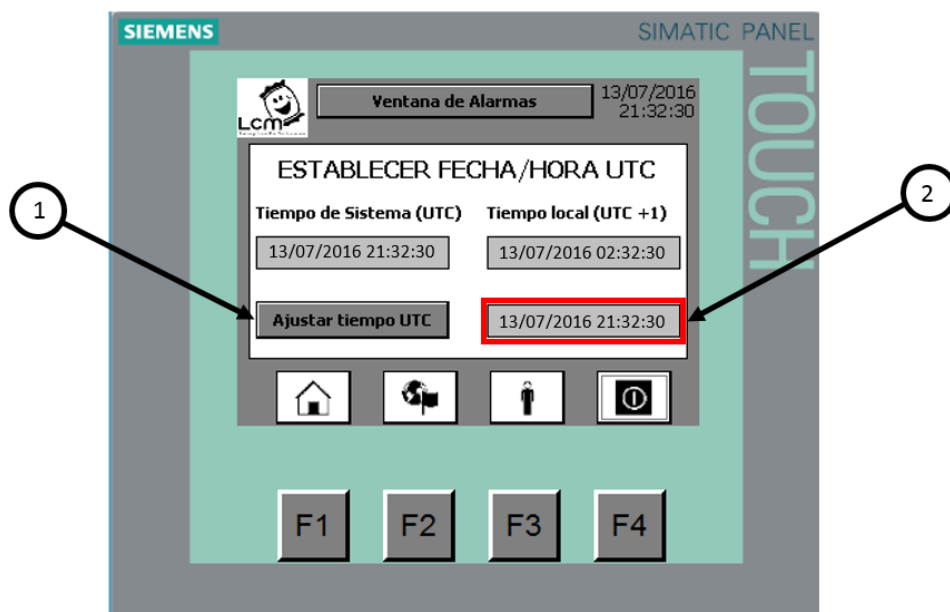


Figura 81. Ventana Establecer Fecha/Hora UTC.

5.3.1.3.2.1. Pasos Para Configurar Fecha/Hora UTC

- Colocar Fecha/Hora UTC en la casilla correspondiente al numeral 2 de la Figura 81 con la siguiente estructura “aaaa/mm/dd 00:00:00”.
- Presionar el botón correspondiente al numeral 1 de la Figura 81 (Ajustar Tiempo UTC).
- Confirmar cambio de Fecha/Hora UTC en la Figura 82.



Figura 82. Confirmación de Cambio de Fecha/Hora.

5.3.1.4. Proceso Manual

La máquina presenta una función manual en la misma el operador puede accionar los actuadores directamente, como los motores y la bobina que acciona el pilotaje de la electroválvula que comanda al pistón neumático. Esta ventana se puede observar en la Figura 83.

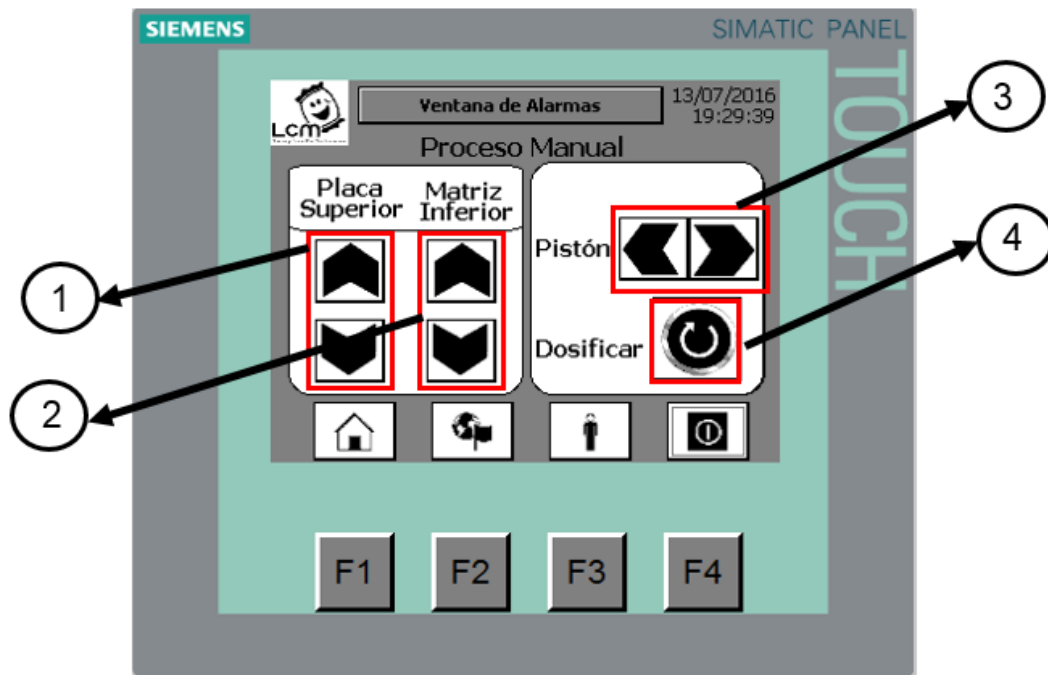


Figura 83. Ventana Proceso Manual.

Las partes numeradas que conforman la ventana del “Proceso manual” de la Figura 83 se citan a continuación:

1. Flechas de control de subida y bajada de la placa superior de la prensa.
2. Flechas de control de subida y bajada de la matriz inferior de la prensa.
3. Flechas de control de entrada y salida del pistón.
4. Botón de accionamiento del sistema de dosificación.

Nota: Para el funcionamiento de la máquina en modo manual es necesario tener presionado el botón que se desee para que la acción a realizar sea continua. En cambio para desplazar el pistón es suficiente pulsar el ícono para que cumpla con la carrera de entrada o salida. Estos criterios fueron considerados por motivo de seguridad.

5.3.1.5. Proceso Automático

La prensa cuenta con una función automática, en la cual con criterios previamente seleccionados en la ventana de administración; permite programar el número de ciclos a realizar.

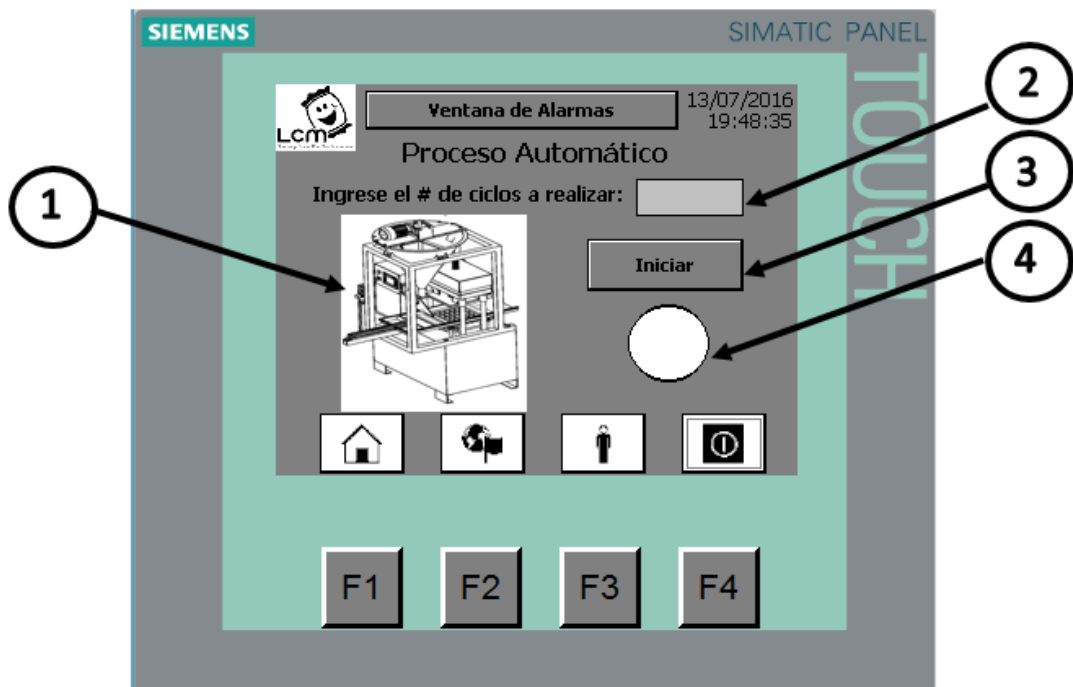


Figura 84. Ventana de Proceso Automático.

Las partes numeradas que conforman la ventana de “Proceso Automático” de la Figura 84 se citan a continuación:

1. Bosquejo tridimensional de la máquina.
2. Campo donde se ingresa el número de ciclos a realizar.
3. Botón para “Iniciar” el “Proceso Automático”. Al iniciar este proceso, la interfaz direcciona automáticamente a la ventana de “Supervisión” para poder observar el desarrollo del proceso.
4. Luz intermitente, indica que la máquina está lista para iniciar un proceso automático.

5.3.1.5.1. Factores que impiden iniciar proceso automático.

El numeral 4 correspondiente a la Figura 84 indica si la máquina se encuentra habilitada para iniciar un proceso automático. Si el indicador se muestra gris implica que algún factor impide el inicio del proceso, los mismos se muestran a continuación:

- La máquina no se encuentra en condiciones iniciales.
- Condiciones iniciales:
 - Placa en posición superior,
 - Matriz en posición inferior
 - Pistón con el embolo contraído.
- Algún indicador esta encendido en la ventana de Alarmas.
- El número de ciclos a realizar es 0.

5.3.1.6. Supervisión

La Interfaz cuenta con una ventana de supervisión, donde se muestran parámetros como: tiempos de dosificación, compresión y número de ciclos frente a los parámetros preestablecidos anteriormente en la ventana de administración y proceso automático. Lo anterior se observa en la Figura 85.

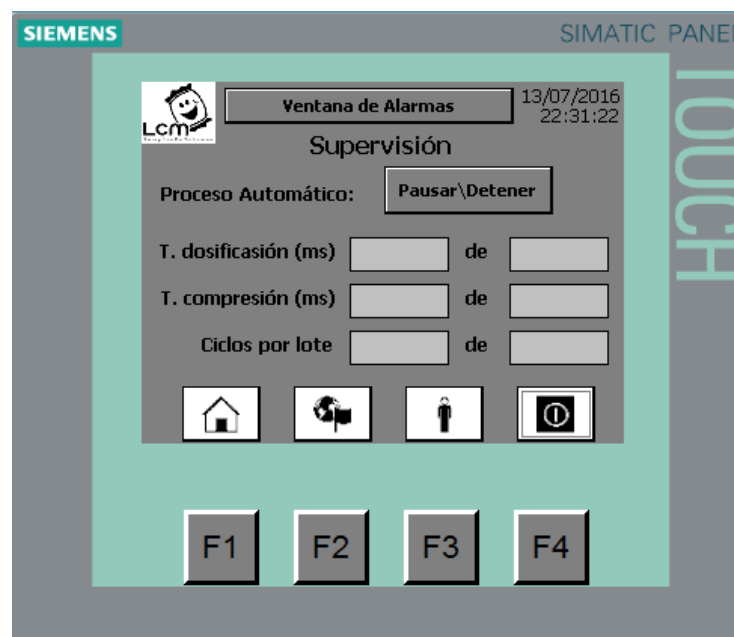


Figura 85. Ventana de Supervisión.

5.3.1.6.1. Ventana Pausa/Detener

En la ventana de supervisión mostrada en la Figura 85 se presenta un botón llamado “Pausa\Detener”. Este botón permite pausar el proceso automático o detenerlo. El menú desplegado al presionar dicho botón se observa en la Figura 86.

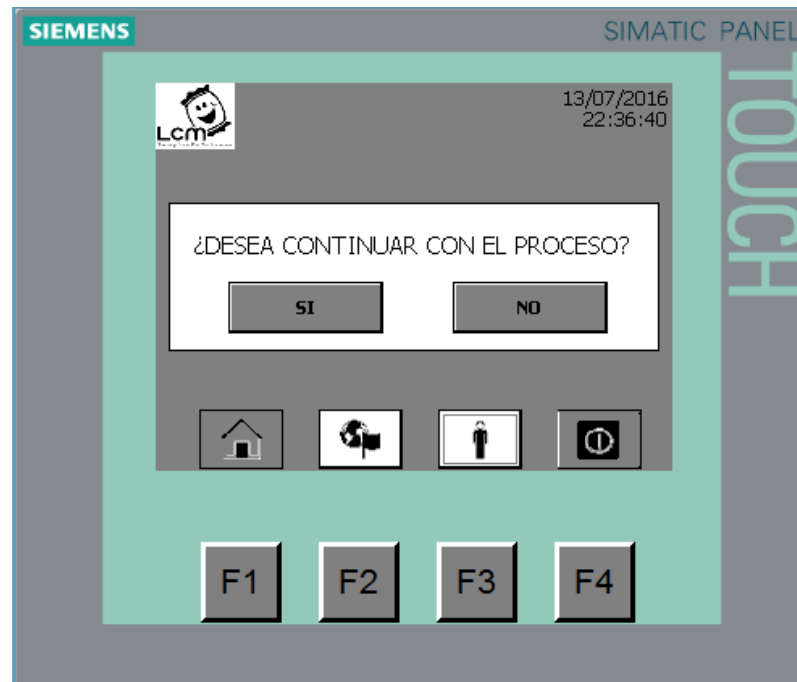


Figura 86. Menú Pausa\Detener.

5.3.1.7. Ventana de Alarmas

El sistema cuenta con una ventana de alarmas, activada desde cualquier ventana o por defecto ante la presencia de una falla. Al ser detectada una falla, la interfaz detiene el proceso automáticamente y direcciona hacia la ventana de alarmas que se observa en la Figura 87, en dicha ventana se puede divisar qué elemento presenta una falla. Estas pueden generarse debido a un problema en algún sensor o por acción de un sobreesfuerzo presente en los motores.

Nota: El proceso automático solo puede ser iniciado cuando todas las fallas presentes en la ventana de alarmas sean resueltas.

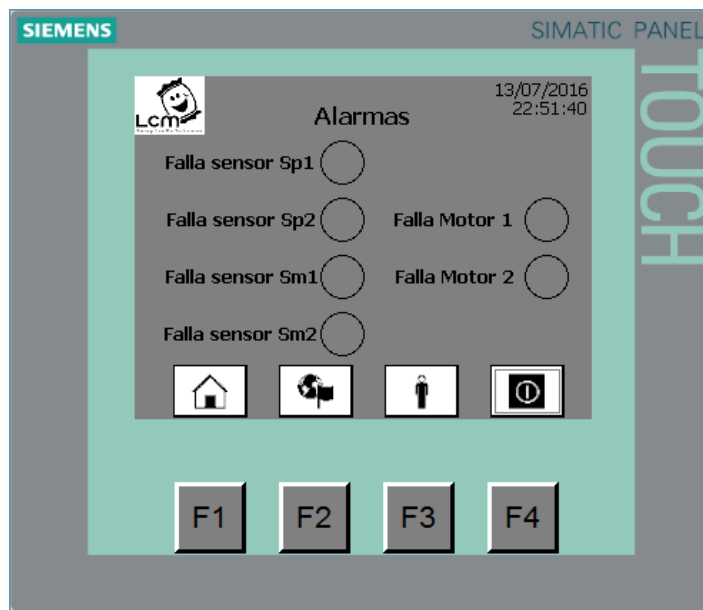


Figura 87. Ventana de Alarmas.

5.3.1.8. Paro de Emergencia

La seguridad es un factor fundamental ante cualquier problema que pueda suscitarse, por lo tanto ante el accionamiento del paro de emergencia (ver Figura 88), se detiene cualquier proceso que se esté llevando a cabo y se evidencia la ventana que se observa en la Figura 89.

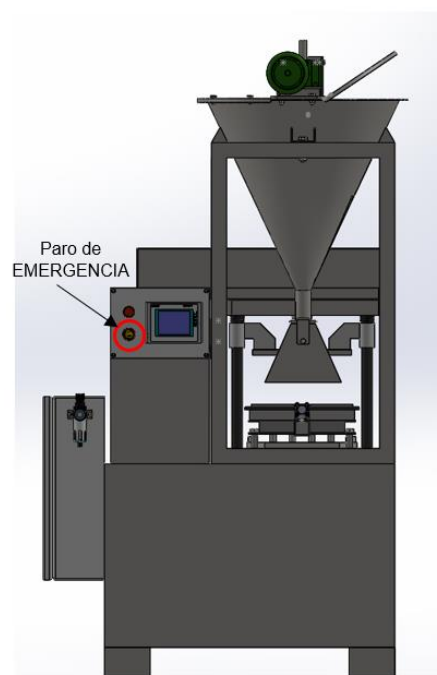


Figura 88. Ubicación del Paro de Emergencia.

En la Figura 89 se observa diferentes opciones las cuales se explican a continuación:

- **Iniciar Rearme Automático:** La máquina regresa a su posición inicial automáticamente desde la posición en que se quedó al haber sido presionado el paro de emergencia.
- **Continuar el Proceso:** El proceso continúa en donde se quedó al ser presionado el paro de emergencia.
- **Modo Manual:** La máquina se mantiene en la misma posición en que se quedó al ser presionado el paro de emergencia y la interfaz direcciona a la ventana de “Proceso Manual”, en la que se podrá accionar los actuadores directamente para posicionar la máquina como sea requerido.

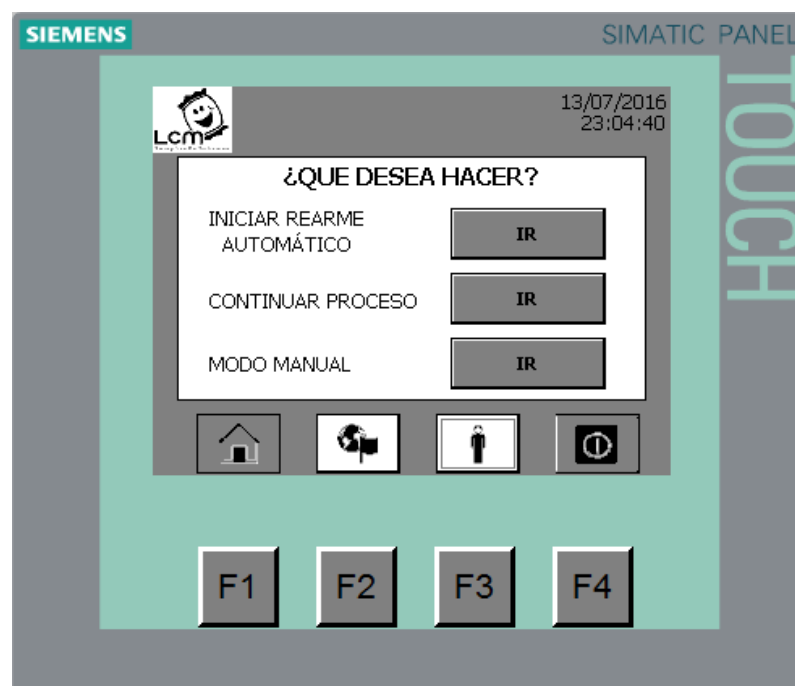


Figura 89. Ventana Paro de Emergencia.

Nota: Para seleccionar cualquier opción, primero se debe desanclar el botón de paro de emergencia y luego presionar la opción requerida.

5.3.1.9. Información General

La ventana de “Información General” muestra datos referentes a nombre del proyecto, fecha de creación, autores y una breve descripción del proyecto. Lo anterior se divide en la Figura 90.

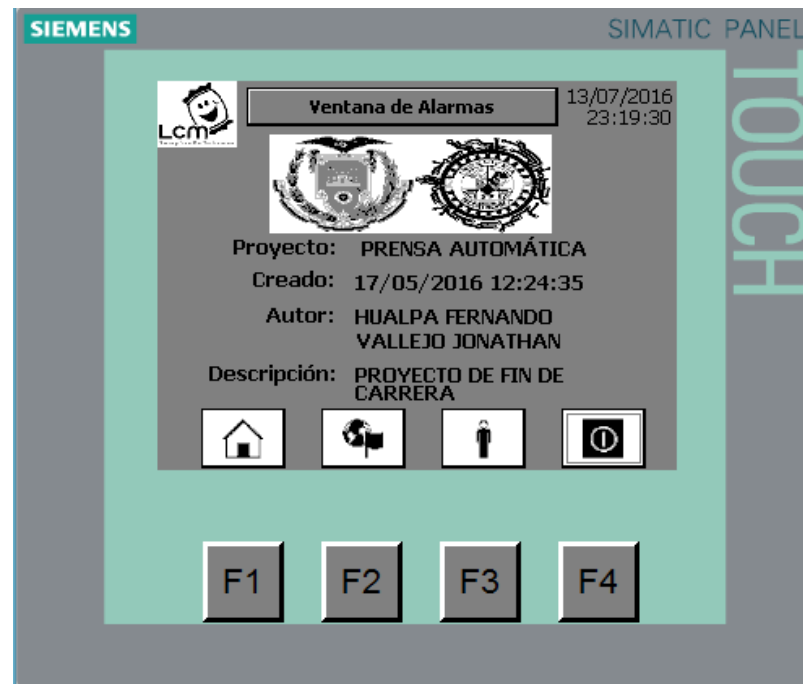


Figura 90. Ventana de Información del Proyecto.

5.4. Enlace PLC y Pantalla

El software Tia portal V13 permite enlazar directamente un PLC Siemens junto con una HMI, siempre y cuando las versiones se encuentren habilitadas en la biblioteca del programa. Dado que el PLC seleccionado es un Siemens S7-1200 1214c y la pantalla corresponde a una KTP-400, los dos dispositivos cuentan con una comunicación Ethernet por lo cual se debe conectar directamente los dos dispositivos con un cable Ethernet, adicionalmente en la interfaz se debe realizar una conexión gráfica como se observa en la Figura 91. Es importante tener en cuenta que las IP de los dispositivos a ser conectados no deben ser iguales pero si pertenecer a la misma familia.

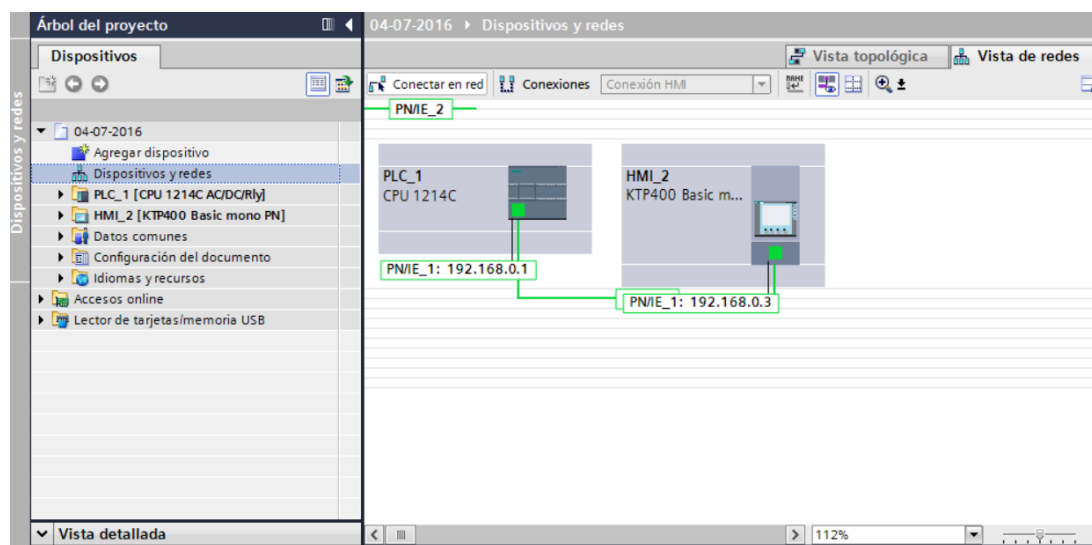


Figura 91. Conexión gráfica Tia Portal V13_PLC-HMI

5.5. Diseño del cableado e instalación eléctrica

5.5.1. Diagrama de control

Como se observó en apartados anteriores, el control propio de la máquina está dado por el PLC Siemens S7-1200. La esquematización eléctrica en el que constan las conexiones de las salidas y entradas del PLC se divide en el “Diagrama PLC” observado en el “ANEXO D”, adicional al PLC el diseño eléctrico cuenta con relés auxiliares y contactores implementados a las salidas del PLC, así como también cuatro relés auxiliares a las entradas, estos son fundamentales puesto que adaptan el voltaje de 110 VAC que generan los cuatro sensores inductivos con los que cuenta la máquina, a voltajes admisibles para el PLC. Todas las conexiones se observan en el “Diagrama de Control” del “ANEXO D”.

En el diagrama de control se divide claramente que el sistema cuenta con un desacople mecánico de la línea de control, dicho desacople es realizado por el paro de emergencia al ser accionado, pues desconecta el suministro eléctrico correspondiente a la línea de control, lo que asegura que ante una falla del PLC, y encontrarse pulsado el paro de emergencia la máquina se detendrá completamente sin prestar atención a las órdenes directas del PLC.

5.5.2. Diagrama de potencia

El Diagrama de potencia se observa en la Figura 92 y con más detalle en el “ANEXO D”. En dichos diagramas se divisa las conexiones de los elementos eléctricos de potencia, los cuales corresponden a los motores, guarda motores y contactos de los contactores. Adicionalmente los motores utilizados para el accionamiento de la placa superior y la matriz, cuentan con dos contactores por cada motor para accionar el sentido de giro de cada motor en función de que contactor sea activado. El diagrama unifilar de potencia se observa en la Figura 92.

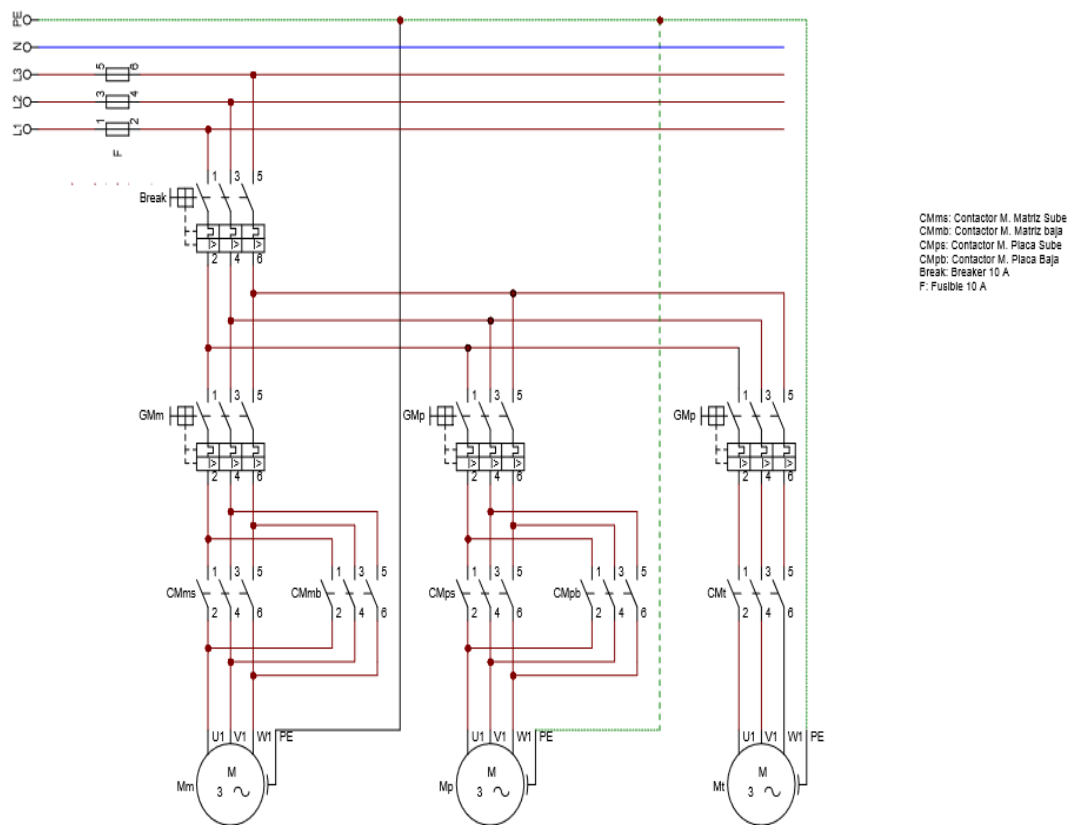


Figura 92. Diagrama de potencia

5.5.3. Dimensionamiento y selección de los elementos eléctricos

5.5.3.1. Dimensionamiento de los fusibles

Para la protección de los diferentes elementos de potencia, se requiere la implementación de fusibles, los cuales cumplen con la función de abrir el circuito cuando la corriente máxima de trabajo es sobrepasada. Los fusibles destinados al uso industrial, se rigen a la normativa IEC 60269-1 y 2. (Schneider Electric, 2013)

El proceso desarrollado por la prensa electromecánica viene dado por etapas, en las cuales los actuadores que requieren mayor consumo de potencia se accionan uno a la vez, es decir, para el proceso no se accionan dos motores al mismo tiempo.

En la Tabla 19 se observa que el motor placa tiene una corriente nominal de trabajo mayor que los demás (5,16 A), por ello se establece a dicha corriente como la máxima.

El criterio de dimensionamiento y selección de los fusibles establece que el dicho elemento de ser elegido en función de la corriente de protección, la cual corresponde al producto de la corriente máxima por 1,8.

Dicho esto se establece que la corriente de protección corresponde a 9,3 A, pero se selecciona un valor comercial de fusible equivalente a 10 A. El PLC, pantalla, relés y demás elementos eléctricos tienen un consumo de corriente bajo en comparación al motor de la placa, pero dichos consumos de corriente ya están considerados debido al factor de 1,8 por el cual se multiplico anteriormente la corriente máxima para la selección de los fusibles.

Tabla 19
Resumen Especificaciones técnicas-motores

	Potencia (kW)	Corriente nominal (A)	Voltaje en Δ (V)	Frecuencia (Hz)	Velocidad (rpm)
Motor Placa	2,2	5,16	220	60	1440
Motor Matriz	1,2	2,89	220	60	1390
Motor Tolva	0,37	1,87	220	60	1670

5.5.3.2. Dimensionamiento del Breaker


El criterio de dimensionamiento y selección de breakers establece que este se debe seleccionar en función al valor correspondiente a la corriente máxima multiplicada por un factor de 1,25 A. Dicho esto, se establece que el breaker debe ser seleccionado en función a una corriente de 6,45 A.

Dado que en el mercado solo se encuentran breakers trifásicos de 10 A disponibles, se implementó este elemento, teniendo en cuenta que la corriente que consume el PLC, pantalla y demás elementos de potencia no son representativas en comparación de la corriente consumida por el motor placa, pero dichos valores ya son considerados al utilizar el breaker de 10 A (ver Figura 93).

Además se debe considerar que solo se accionará un motor a la vez en el modo automático y de igual forma en el modo manual, puesto que la pantalla usada no es multitouch, es decir solo se puede activar un actuador a la vez.

Breakers tipo QOvs. Square D

Tabla de selección



Polos	Amperaje	Modelo
1 polo protegido	10	QO110VSC6
	16	QO116VSC6
	20	QO120VSC6
	25	QO125VSC6
	32	QO132VSC6
	40	QO140VSC6
	50	QO150VSC6
2 polos protegidos	16	QO216VSC6
	20	QO220VSC6
	32	QO232VSC6
	40	QO240VSC6
	50	QO250VSC6
	63	QO263VSC6
3 polos protegidos	10	QO310VSC6
	16	QO316VSC6
	20	QO320VSC6
	25	QO325VSC6
	32	QO332VSC6
	40	QO340VSC6
	50	QO350VSC6
63	QO363VSC6	

Figura 93. Breaker trifásico seleccionado
Fuente: (Schneider, 2016)

5.5.3.3. Dimensionamiento y selección de los relés

Para el proyecto se requirieron relés para adaptar la señal emitida por los sensores inductivos de 110 VAC con los que contaba la máquina, a un voltaje admisible por el PLC de 24 VDC. Se utilizaron de igual forma relés en las salidas del PLC para comandar los actuadores (contactores, electroválvula), con el fin de proteger las salidas del PLC ante posibles fallos eléctricos que se puedan generar debido a un funcionamiento erróneo de los actuadores. Si esto ocurre solo se debería reemplazar los relés ya que las salidas del PLC no se verían afectadas. Los relés seleccionados corresponden a la serie TH-MY4N 8 pines, 3A y 110 V (ver Figura 94).



Figura 94. Relé TH-MY4N 8 pines, 3A y 110 V
Fuente: (Electrostock, 2016)

5.5.3.4. Contactores

Para el accionamiento e inversión de giro respectivo de los motores cuyas características se muestran en la Figura 95, se implementaron cinco contactores, distribuidos de la siguiente manera: para el motor que desplaza la placa superior de arriba hacia abajo, se usaron dos contactores, debido al cambio de giro necesario. Para el motor que desplaza la matriz de igual forma que el motor de la placa superior, se implementaron dos contactores. Mientras que para el motor que gira el tornillo y raspadores únicamente fue necesario un contactor, debido a que no se requiere invertir el giro.

Según la normativa IEC 60947-4-1, se debe caracterizar el tipo de contactor según su aplicación. Para este caso los cinco contactores responden al tipo AC3, debido a que esta categoría se utiliza para motores de jaula de ardilla, para el arranque e inversión de marcha, donde la corriente pico en el arranque se encuentra entre 5 a 7 veces la nominal. Además según la normativa, para la selección de los contactores es necesario tener en cuenta la corriente y voltaje nominales, por lo tanto, según la Figura 95, la categorización AC3 y el manual de Schneider Electric mostrado en la Figura 96, es posible seleccionar el dispositivo en cuestión.

Contadores LC1D09 a D150.

Referencia TeSys	HP/KW 220/240V	HP/KW 440V	AC3	AC1	Contactos Auxiliares
LC1D09..	3/2.2	5.5/4	9	25	1NA+1NC
LC1D12..	4/3	7.5/5.5	12	25	1NA+1NC
LC1D18..	5.5/4	12/9	18	32	1NA+1NC
LC1D25..	7.5/5.5	15/11	25	40	1NA+1NC
LC1D32..	10/7.5	20/15	32	50	1NA+1NC
LC1D38..	12/9	24/18.5	38	50	1NA+1NC
LC1D40A.. (1)	15/11	30/22	40	60	1NA+1NC
LC1D50A.. (1)	20/15	40/30	50	80	1NA+1NC
LC1D65A.. (1)	25/18.5	50/37	65	80	1NA+1NC
LC1D80..	30/22	60/45	80	125	1NA+1NC
LC1D95..	34/25	60/45	95	125	1NA+1NC
LC1D115..	40/30	79/59	115	200	1NA+1NC
LC1D150..	54/40	107/80	150	200	1NA+1NC

Figura 95. Selección de contactores según la In y categoría

Fuente: (Schneider Electric, 2013)

El contactor LC1D12 (disponible en el mercado) responde a la categoría AC3 con una corriente nominal máxima de 12 A, la cual es mayor a I_n de cualquiera de los motores mostrados en la Figura 95. Por lo tanto el contactor seleccionado para los tres motores responde a la serie LC1D12 de Schneider Electric, donde las características generales se muestran en la Figura 96.

TeSys™ D Non-reversing
Refer to Catalog 8502CT9901

Schneider
Electric
www.schneider-electric.us

Table 18.3: TeSys D Contactors—3 or 4 Pole, Screw Terminal Connections

Maximum Horsepower Ratings						Maximum Current Utilization Categories		No. of Poles		Instantaneous Auxiliary Contacts		Catalog Number ▲	\$ Price	
Single-Phase		Three-Phase				Inductive AC3 (A)	Resistive AC1 (A)	N.O.	N.C.	N.O.	N.C.		AC Coils	DC Coils
115 V hp	230 V hp	200 V hp	230 V hp	460 V hp	575 V hp									
0.5	1	2	2	5	7.5	9	20	3	0	1	1	LC1D09 ★★★	94.00	119.00
—	—	—	—	—	—	—		4	0			LC1DT20 †	94.00	119.00
—	—	—	—	—	—	—		2	2			LC1D098 †	94.00	119.00
1	2	3	3	7.5	10	12	25	3	0	1	1	LC1D12 ★★★	119.00	149.00
—	—	—	—	—	—	—		4	0			LC1DT25 †	119.00	149.00
—	—	—	—	—	—	—		2	2			LC1D128 †	119.00	149.00

Figura 96. Contactor LC1D12 de Schneider Electric

Fuente: (Schneider Electric, 2012)

En la Figura 96 se observa (marcado en amarillo) que posee tres contactos NO para la energización del motor, adicionalmente un contacto NO y otro NC. La implementación de los cinco contactores se muestra en el Anexo D.

5.5.3.5. Guarda motores

Para la protección contra los cortocircuitos y sobrecargas, se implementaron guarda motores magneto-térmicos, donde según la normativa IEC 60947-1 el tipo de elemento de la marca Schneider que previene tanto cortocircuitos como sobrecargas responde a la serie GV2-ME, mostrada en la Tabla 20. Con respecto a la norma IEC 60947-4-1, se debe caracterizar el tipo de guarda motor según su aplicación, donde al igual que en los contactores se usó la tipificación AC3.

Tabla 20
Guarda motor de Schneider, serie GV2-ME



GV2ME + LC1K06..

Coordinación tipo 1 - 400V

Motor	Guardamotor	Regulación	Contactador	Iq
Potencia	Referencia		Referencia	
kW		A		kA
0,37	GV2ME05	0,63...1	LC1K06/LC1D09..	50
0,55	GV2ME06	1...1,6	LC1K06/LC1D09..	50
0,75	GV2ME07	1,6...2,5	LC1K06/LC1D09..	50
1,1	GV2ME08	2,5...4	LC1K06/LC1D09..	50
1,5	GV2ME08	2,5...4	LC1K06/LC1D09..	50
2,2	GV2ME10	4...6,3	LC1K06/LC1D09..	50
3	GV2ME14	6...10	LC1K09/LC1D09..	50
4	GV2ME14	6...10	LC1K09/LC1D09..	50
5,5	GV2ME16	9...14	LC1K12/LC1D12..	15
7,5	GV2ME20	13...18	LC1K16/LC1D18..	15
9	GV2ME21	17...23	LC1D25..	15
11	GV2ME22	20...25	LC1D25..	15
15	GV2ME32	24...32	LC1D32..	10

Fuente: (Schneider Electric, 2016)

Según la Tabla 20, para el caso del motor que acciona la placa superior cuya corriente nominal es de 5,16 A y potencia es 2,2 KW (ver Tabla 19), el guarda motor (comercial) seleccionado responde a la serie GV2-ME-10, el cual presenta una protección térmica y rango ajustable de activación según la corriente nominal de 4 a 6,3 A.

Para el caso del motor que acciona la matriz, el mismo que presenta una corriente nominal de 2,89 A y una potencia de 1,2 KW (ver Tabla 19), el guarda motor apropiado según la Tabla 20, responde a la serie GV2-ME-08 con un rango ajustable de 2,5 a 4 A.

Con respecto al motor que acciona el tornillo, por sus características de corriente y potencia (1,87 A y 0,37 KW), el guarda motor correspondiente presenta la serie GV2-ME-07.

Por lo tanto se implementaron tres tipos de guarda motores magneto-térmicos, los mismos que disponen de tres contactos NO necesarios para energizar los motores respectivos.

5.5.3.6. Cableado

Según el catálogo de LATINCASA, *“Para conductores que alimenten un solo motor, la corriente nominal a plena carga se multiplicará por 1,25”* (LATINCASA, 2005) para seleccionar el cable de alimentación. Por lo tanto se tiene:

Para el motor de la placa $I = 1,25 \times I_n = 1,25 \times 5,16 A = 6,45 A$ entonces según la Figura 97, el cable apropiado (disponible en el mercado) es el AWG 18.

Para el motor de la placa $I = 1,25 \times I_n = 1,25 \times 2,89 A = 3,61 A$ entonces según la Figura 97, el cable apropiado sería al menos el AWG 20, pero en el mercado se encuentra disponible el AWG 18, así q se utilizará este último.

Para el motor de la placa $I = 1,25 \times I_n = 1,25 \times 1,87 A = 2,34 A$ entonces según la Figura 97, el cable apropiado sería al menos el AWG 20, pero al igual que en el caso anterior, en el mercado se encuentra disponible el AWG 18, así q se utilizará este último.

Por lo tanto para la conexión de los motores hacia el tablero de control se utilizó el cable flexible de cobre AWG 18.



ESPECIFICACIONES TECNICAS

Todos los conductores fabricados por ELECTROCABLES C.A. cumplen con holgura las especificaciones establecidas en las normas de fabricación existentes para cada tipo y que son las siguientes:

Aislante de Material termoplástico, PVC 600 V. - 60 °C (*)
 (*) También disponible aislamientos de PVC de 75, 90 y 105 °C

Calibre AWG ó MCM	Sección mm ²	FORMACION	ESPESOR AISLAMIENTO mm	DIAMETRO EXTERIOR mm	PESO TOTAL Kg/Km	Cap. de Corriente Para 1 conductor Al aire libre Amp .	TIPO CABLE	Altern. de embal.
		No. de Hilos por diámetro en mm.						
24	0.205	7 x 0,20	0.51	1.63	5.14	---	FXT	A,E
22	0.324	11 x 0,20	0.51	1.78	7.62	---	FXT	A,E
20	0.519	17 x 0,20	0.76	2.47	9.98	5	FXT	A,E
18	0.823	12 x 0,30	0.76	2.72	13.43	7	TFF	A,E
16	1.310	19 x 0,30	0.76	3.02	18.93	10	TFF	A,B
14	2.08	30 x 0,30	1.14	4.17	32.30	25	TW-F	A,B
12	3.31	27 x 0,40	1.14	4.67	46.50	30	TW-F	A,C
10	5.26	42 x 0,40	1.14	5.26	67.90	40	TW-F	A,D

Figura 97. Calibre AWG para conductores flexibles de cobre

Fuente: (Electro Cables C.A., 2016)

Según LATINCASA “En el caso de varios motores, a la suma de la corriente a plena carga de los motores se le sumará el 25% de la corriente del motor más grande” (LATINCASA, 2005). Por lo tanto, para el dimensionamiento del cable principal del tablero de control hacia la acometida trifásica, es necesario realizar la siguiente operación:

$$I = (5,16 + 2,89 + 1,87) + (0,25 \times 5,16) = 11,21 A$$

Entonces, para el cable principal de la máquina, se utilizó el cable flexible de cobre AWG 14, para absorber el consumo de los elementos del tablero de control no considerados en la expresión anterior.

Tanto contactores, guarda motores, PLC, relés y demás elementos del sistema de control, consumen una corriente relativamente baja, por lo cual se usó el cable AWG 18 para la conexión de estos elementos.

CAPÍTULO VI

6. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

6.1. Implementación del Sistema de Dosificación

6.1.1. Construcción del sistema de dosificación

El proceso de construcción del Sistema de Dosificación previamente diseñado en capítulos anteriores, comienza con la fabricación de la tolva, está se realizó estrictamente bajo los parámetros preestablecidos, en la Figura 98 se puede observar la tolva fabricada mediante un proceso conocido como barolado, la cual consiste en realizar dobleces en la plancha de acero inoxidable de tal modo que se vaya conformando la geometría cónica que presenta la tolva, es importante mencionar que todas las soldaduras se realizaron mediante el proceso tipo MIG.



Figura 98. Fabricación Tolva.

El siguiente paso en la fabricación del sistema, corresponde a la manufactura del tornillo transportador. Dicho tornillo se realizó soldando aletas independientes a lo largo del eje de manera que se conforme el helicoidal transportador como se observa en la Figura 99, adicionalmente al eje del tornillo se soldaron las placas de 6mm de acero inoxidable AISI 304 correspondientes al agitador y el raspador como se observa en la Figura 100.



Figura 99- Construcción Tornillo Transportador.



Figura 100. Construcción Tornillo-raspador-agitador

A continuación se ejecutó el ensamble de los subsistemas vistos anteriormente, anexo a esto se incluyó la rampa diseñada para el direccionamiento del material, tapas de la tolva, estructura mecánica de soporte del sistema y el acople del motor como se observa en la Figura 101, adicionalmente en la Figura 102 se observa una comparación entre el sistema de dosificación simulado y el construido.

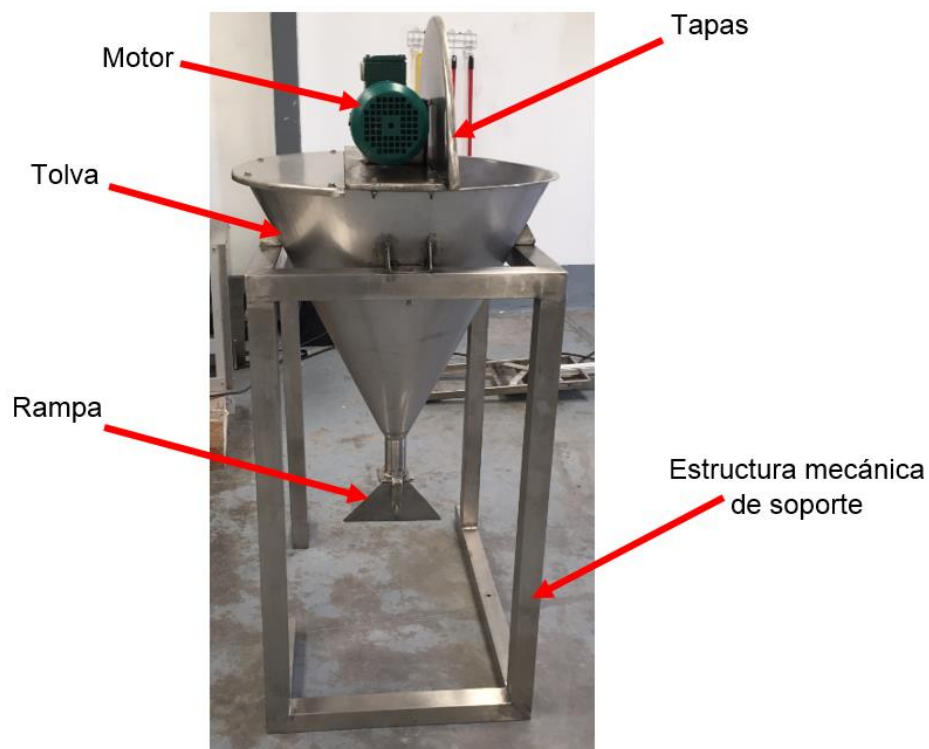


Figura 101. Partes del Sistema de dosificación fabricado.

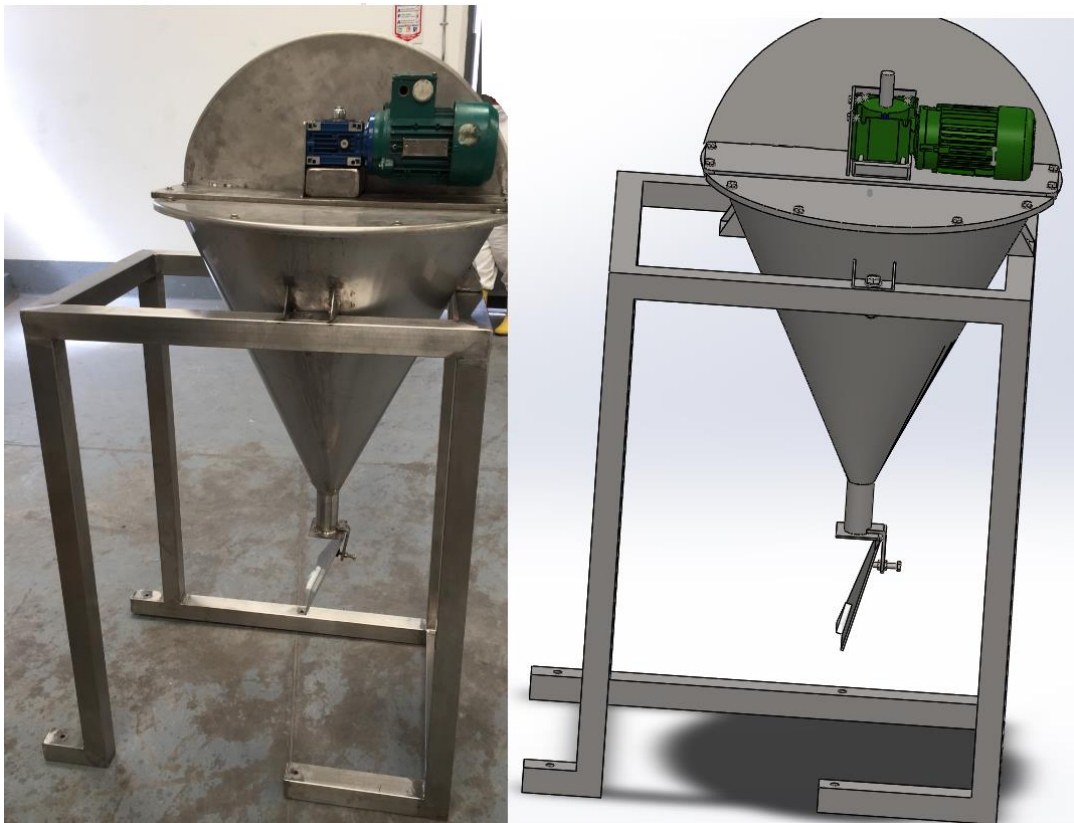


Figura 102. Comparación Sistema dosificación fabricado vs Simulado.

6.1.2. Pruebas de Funcionamiento del Sistema

Las pruebas del sistema de dosificación se llevaron a cabo con 50 Kg de mezcla compuesta por maní y azúcar impalpable, la densidad del material corresponde a $0,86 \text{ g/cm}^3$. En la Figura 103 se observa como la mezcla fluye sin problemas a través del sistema de dosificación, donde se determinó que bajo los parámetros preestablecidos de la mezcla, el flujo másico mínimo corresponde a $32,1 \text{ g/s}$ (ver Tabla 21), adicionalmente se puede observar en la Figura 104 una muestra de las pruebas realizada cuyas mediciones equivalen a los valores resaltados en amarillo en la Tabla 21.



Figura 103. Pruebas sistema dosificación



Figura 104. Pruebas de peso en el sistema de dosificación.

Tabla 21
Resultados de pruebas de dosificación.

Tiempo (s)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Peso 4 (g)	Peso 5 (g)	Prom Peso (g)	Flujo másico (g/s)
10	338	330	339,5	330	329	333,3	33,3
15	482	483,5	480	483	478,5	481,4	32,1
20	668,5	668	668,5	652	653,5	662,1	33,1
25	808	794,5	804,5	798,5	808	802,7	32,1
30	972,5	975	960,5	978,5	965,5	970,4	32,3
35	1230	1235	1242	1233,5	965,5	1181,2	33,7

Al realizar las pruebas mostradas en la Tabla 21, se realizó la gráfica de la Figura 105, esta muestra que en el intervalos de tiempo establecido para la toma de datos, la dosificación tiende a ser lineal, por lo tanto esta curva se puede aproximar a una expresión del tipo lineal representada por la letra “g” en la Figura 105, esta ecuación permite determinar la cantidad de mezcla en gramos a ser dosificada en un tiempo establecido. Como se analizó en el capítulo anterior el “tiempo de dosificación” es un parámetro ingresado al sistema por el usuario y dependerá de la cantidad de mezcla necesaria para la conformación de los dulces.

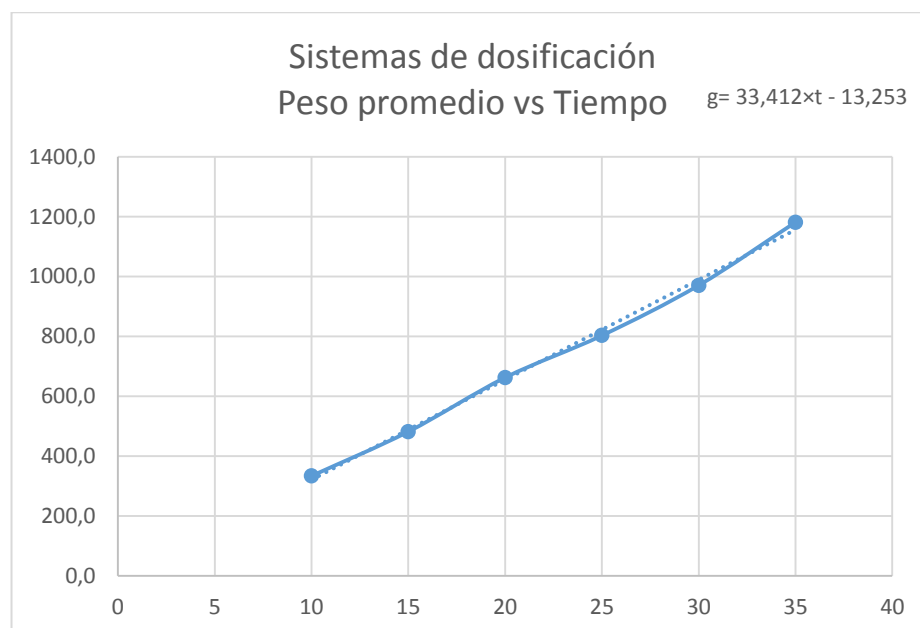


Figura 105. Tendencia peso promedio (g) vs tiempo (s)

Los parámetros y ecuaciones obtenidos a partir de la Tabla 21 y Figura 105, responden únicamente a una mezcla cuya densidad sea $0,86 \text{ g/cm}^3$, si este parámetro es alterado, es necesario obtener una nueva grafica para realizar aproximaciones mediante la experimentación mostrada anteriormente.

6.1.3. Limitaciones del sistema de dosificación

Para una correcta dosificación de la mezcla se debe considerar que la densidad del producto es un factor que influye directamente sobre los parámetros de dosificación, esta influencia puede ser positiva o negativo. Con las especificaciones de la mezcla consideradas para el diseño, se estableció todo un sistema que responde eficientemente a una densidad de $0,86 \text{ g/cm}^3$, dicha eficiencia de dosificación decrece conforme aumenta la densidad.

Hay que tomar ciertas consideraciones al momento de variar la densidad del producto, la primera es que al aumentarla, la cantidad de grasa o su factor de higroscopicidad también aumenta, lo que provoca que la mezcla tienda a apelmazarse y formar grumos, dificultando o impidiendo en el peor de los casos una correcta dosificación; el segundo factor implica que al crecer la densidad, el motor requiere de una potencia adicional para mover el mismo volumen de mezcla.

La primera consideración resulta ser la más crítica para el proceso de dosificación, debido a que conforme avanza el tiempo de dosificación la mezcla tiende a apelmazarse e impide la fluidez de la misma, por otra parte el segundo parámetro se atenúa mediante el factor de seguridad del motor correspondiente a 1,6 es decir, el motor ofrece un 60% más de potencia de la necesaria para el proceso.

Se realizaron pruebas con diversas muestras del producto donde se estableció que si la densidad decrece de $0,86 \text{ g/cm}^3$ (manteniendo el tiempo de dosificación) la cantidad de mezcla dosificada aumenta y los grumos que se forman por el trabajo continuo disminuyen en tamaño, por otra parte al aumentar la densidad se determinó que para un valor de $0,92 \text{ g/cm}^3$ tiende a

apelmazarse e impedir la fluidez como se observa en la Tabla 22, puesto que con dicha densidad la cantidad de grasa contenida en la mezcla o su factor de higroscopicidad aumenta de tal forma que facilita la formación de grumos, los cuales se acumulan en las aletas del tornillo ocasionando que el motor gire en vacío es decir sin dosificar como se evidencia en las pruebas mostradas en la Tabla 12.

Tabla 22
Pruebas realizadas con densidad a 0,92 g/cm³.

	Tiempo (s)	W1 (g)	W2 (g)	W3 (g)	W4 (g)	W5 (g)	W Prom (g)	Flujo Másico (g/s)
1ra Prueba	10	312,5	307,0	322,5	302,5	328,0	314,5	31,5
	15	365,0	384,0	375,5	373,0	369,5	373,4	24,9
	20	424,5	436,5	441,0	422,5	443,0	433,5	21,7
	25	443,0	438,0	425,0	425,0	447,5	435,7	17,4
	30	319,0	328,0	316,5	318,0	309,0	318,1	10,6
	35	206,0	314,5	247,0	194,5	301,5	252,7	7,2
2da Prueba	Tiempo (s)	W1 (g)	W2 (g)	W3 (g)	W4 (g)	W5 (g)	W Prom (g)	Flujo másico (g/s)
	10	71,5	63,0	73,5	89,0	67,5	72,9	7,3
	15	38,0	25,5	20,0	5,5	0,5	17,9	1,2
	20	0	0	0	0	0	0,0	0,0
	25	0	0	0	0	0	0,0	0,0
	30	0	0	0	0	0	0,0	0,0
35	0	0	0	0	0	0,0	0,0	

Tras las pruebas realizadas, se asegura una correcta dosificación del producto para una densidad igual o menor a **0,86 g/cm³**, por otra parte se determina que para valores de hasta 0,9 g/cm³ la mezcla fluye con mayor dificultad y se concluye que el sistema no trabaja correctamente para densidades iguales o superiores a 0,92 g/cm³, resultando **0,9 g/cm³** el valor límite funcional en el proceso.

6.2. Implementación del sistema de Distribución

6.2.1. Modificaciones de la paleta de distribución de la máquina

La máquina originalmente contaba con una paleta para distribuir la mezcla de forma manual como se observa en la Figura 106, dicha paleta fue modificada removiendo el tubo cilíndrico y reforzando la placa base por una más robusta para acoplar en la misma una placa de duralón y un pistón, dicha modificación se la realizó con el fin de evitar deformaciones que se puedan dar al momento de trabajar en el proceso, lo cual se observa en la Figura 107.



Figura 106. Paleta Original de la máquina.



Figura 107. Paleta modificada.

6.2.2. Sensorización

Para determinar la posición final o inicial del pistón se utilizaron sensores de presencia. En el mercado existen varios tipos de sensores que brindan las prestaciones requeridas pero por confiabilidad y precio los sensores implementados corresponden a la marca FESTO serie H313 que se observan en la Figura 108, los mismos son del tipo magnético y se acoplan directamente sobre la carcasa del pistón.



Figura 108. Sensores FESTO SME-8M- serie H313.

6.2.3. Ensamble sistema de distribución

El ensamble del sistema de distribución corresponde al acople del pistón, paleta modificada, placa de duralón, sensores magnéticos, soporte para pistón y demás elementos de sujeción, estas diferentes partes se las observa en la Figura 109, adicionalmente en la Figura 110 se observa una comparación entre el sistema de distribución simulado y construido.

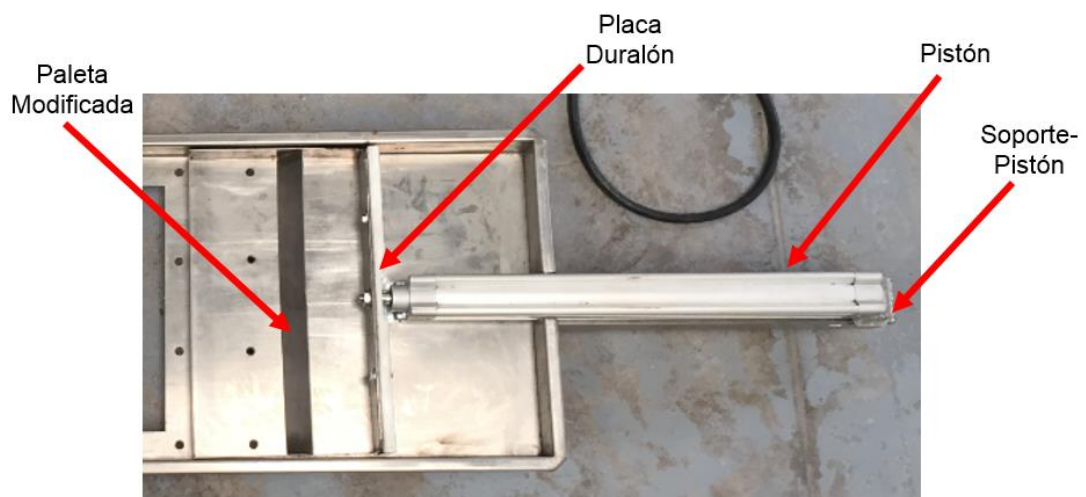


Figura 109. Partes del ensamble del sistema de distribución.

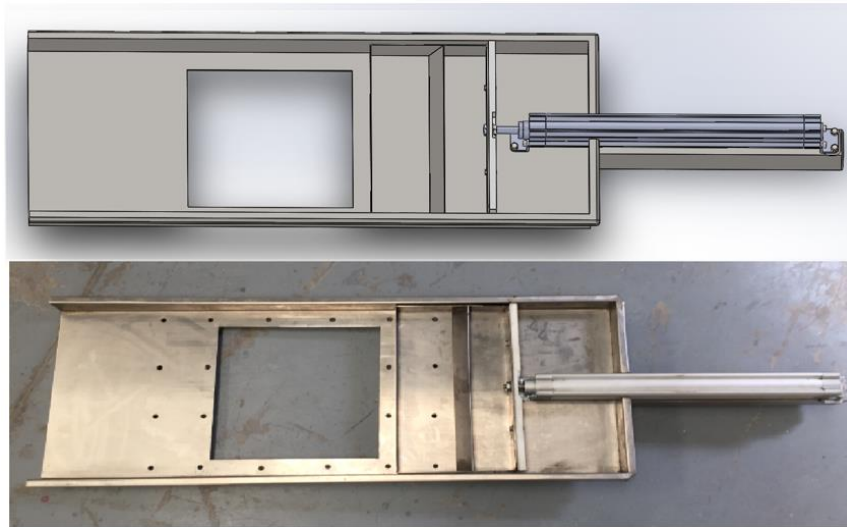


Figura 110. Comparación entre sistema simulado vs construido.

6.2.4. Pruebas de Funcionamiento

Como se observa en el esquema del “ANEXO B”, el sistema neumático para la distribución de la mezcla cuenta con dos estranguladores que le permiten regular la presión de trabajo directa del pistón, esto influye lógicamente en el tiempo que requiere el pistón para cumplir un ciclo. La Tabla 23 muestra las pruebas realizadas en la cual se determina que el tiempo óptimo de ciclo de trabajo del pistón corresponde a 4 seg, es decir 2 segundo para que el embolo salga completamente y dos segundos para que se contraiga, con este tiempo se asegura que la mezcla se deposite uniformemente en las cavidades de la matriz con el fin de afirmar una correcta conformación del dulce de maní en un proceso posterior.

El porcentaje de llenado de la matriz se obtuvo regulando el pistón a un tiempo de ciclo establecido y realizando aproximaciones de llenado de todas las cavidades de la matriz como se observa en la Figura 111, se debe tener en cuenta que así como la densidad era un parámetro de influencia directa en el sistema de dosificación, también tiene un papel fundamental en el sistema de distribución ya que si la mezcla tiene una densidad igual o mayor a $0,92 \text{ g/cm}^3$, esta tiende a formar grumos por su alto índice de grasa y factor de higroscopicidad, lo que impide que dicha mezcla se deposite uniformemente en la matriz. Todas las pruebas de la Tabla 23 se realizaron con una densidad

de trabajo de $0,86 \text{ g/cm}^3$, por lo que se asegura un correcto funcionamiento de máquina siempre que se trabaje con la densidad mencionada y un tiempo de ciclo del pistón igual o mayor a 4 segundos.

Tabla 23

Pruebas de tiempo-sistema de distribución.

Tiempo de ciclo (s)	Porcentaje de llenado de la matriz
2	70%
2,5	88%
3	95%
4	100%
5	100%

Porcentaje de llenado: 70%

Tiempo de ciclo del pistón: 2 seg



Figura 111. Pruebas porcentaje de llenado de la matriz.

6.3. Implementación del Sistema de Control

6.3.1. Montaje y conexión del tablero de control

El sistema de control está comandado por un PLC S7 1200 con CPU 1214C como se estableció en capítulos previos; en la Figura 112 se observa implementado el circuito de control y potencia presentado en la esquematización eléctrica del “ANEXO D”, cabe mencionar que toda la implementación se desarrolló bajo la normativa de código de colores americana y se incluyó marcadores en los cables con el fin de un mejor entendimiento del mismo.

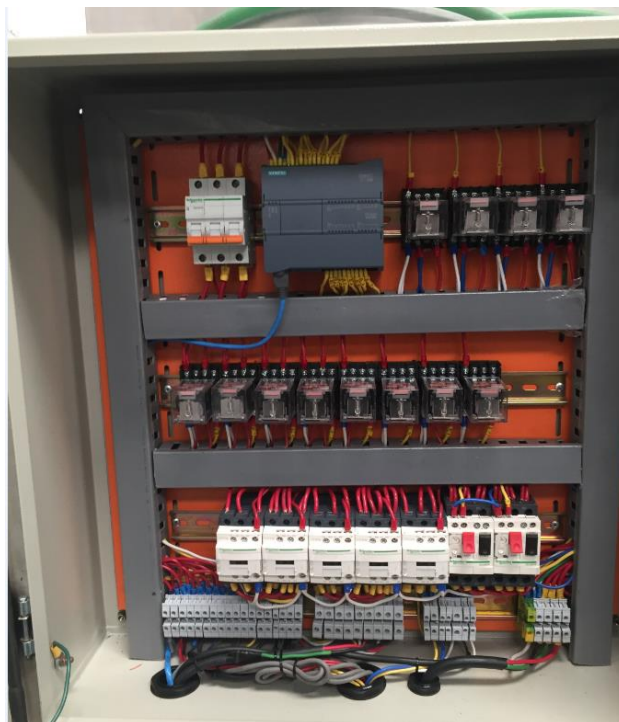


Figura 112. Tablero de control.

6.3.2. Montaje de la pantalla táctil y panel de operación

Para el montaje de la pantalla táctil se utilizó la placa original con la que contaba la máquina en su panel de operación, la luz indicadora y el paro de emergencia se conservaron en el mismo sitio, la modificación que se realizó

fue retirar la botonera con la que contaba la máquina y reemplazarla con la pantalla Siemens Ktp-400, en la Figura 113 se puede observar el antes y después del panel de operación de la máquina.

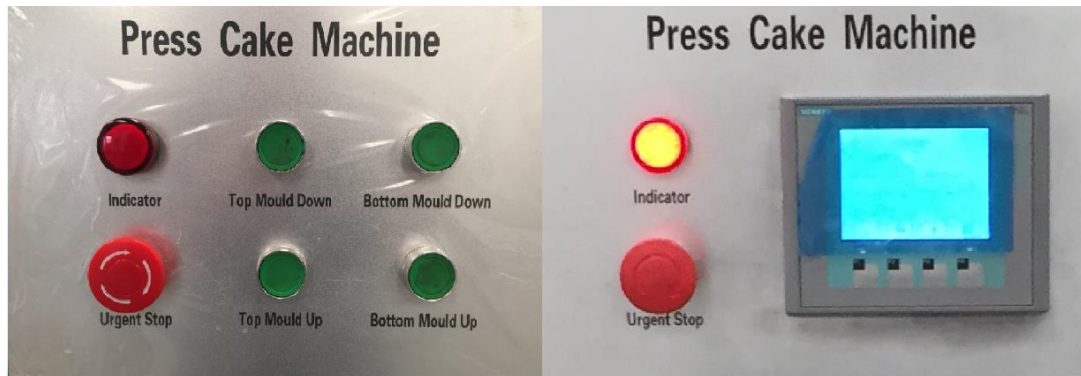


Figura 113. Antes y después del panel de Operación.

6.3.3. Pruebas de Funcionamiento

El sistema de control comandado por el PLC S7 1200 en conjunto con la pantalla KTP-400, requiere de un correcto funcionamiento del tablero de control por lo que se le realizaron pruebas de continuidad en el cableado y pruebas de conectividad con la pantalla a fin de que todo el sistema realizado se encuentre correctamente implementado en función de los diagramas de control y potencia previamente diseñados, estas pruebas mencionadas se observan en la Figura 114.



Figura 114. Pruebas del sistema de control.

6.4. Ensamble de los subsistemas en la máquina

Al tener todos los sub ensambles contruidos y funcionales, se procedió al montaje de los mismos en la máquina, esto incluye el sistema de dosificación, sistema de distribución, tablero de control y panel de operación, todos estos subsistemas se pueden observar en la Figura 115, denotando el antes y después del ensamble.



Figura 115. Antes y después de la prensa electromecánica.

6.5. Pruebas de funcionamiento del sistema en general

Las pruebas realizadas a los subsistemas individuales aseguraron un correcto funcionamiento del sistema en general, por lo tanto no se presentaron novedades al realizar las pruebas del sistema completo. En la Tabla 24 se

observa el tiempo necesario para que la prensa electromecánica realice un ciclo de trabajo para la fabricación de 24 caramelos de maní (ver Figura 116), adicionalmente se indican parámetros de funcionamiento seleccionados en apartados anteriores que aseguran el correcto desempeño del proceso.

Tabla 24
Parámetros y resultados del sistema en general.

Parámetros	
Densidad de la mezcla	0,86 g/cm ³
Tiempo de dosificación	15 s
Tiempo de ciclo del pistón	4 s
Accionamiento Pistón	3 veces
Resultados	
Flujo másico	32,1 g/s
Ciclo de trabajo de la máquina	37 s

La Tabla 24 indica que el tiempo necesario para que la prensa electromecánica conforme 24 dulces de maní en función de los parámetros preseleccionado anteriormente es **37 segundos**. Por requerimientos de producción vistos en el capítulo II se necesita que la máquina realice un ciclo de trabajo en un tiempo no mayor a 0,923 min, por la mejora satisfacen los parámetros proyectados de producción y cumple con los requisitos preestablecidos de diseño.

Por la Tabla 11 y Tabla 24 se puede determinar la Tabla 25, en la que se observa que el error presente es de **9,32 %** con respecto al flujo másico, el cual se considera aceptable debido a que el sistema brinda una optimización de tiempo de 23 segundos, resultado de restar el tiempo límite al cual puede trabajar la máquina con respecto al obtenido, por lo tanto cualquier ajuste en el tiempo de dosificación es posible, reduciendo de esta forma la influencia directa que genera el error obtenido.

Tabla 25
Error y tiempo optimizado en el sistema completo.

	Calculado (g/s)	Real (g/s)	Error (%)
Flujo másico	35,4	32,1	9,32
	Valor máximo	Obtenido	Tiempo optimizado
Tiempo de ciclo de trabajo	60 s	37 s	23 s



Figura 116. Producto final terminado (24 caramelos de maní).

6.6. Rendimiento de la máquina

El rendimiento promedio de la máquina es de alrededor del 95% como se observa en la Tabla 26, este parámetro se obtuvo dividiendo el peso total del producto conformado para el peso correspondiente a la materia prima

ingresada al sistema (mezcla de maní y azúcar), dicho factor indica la cantidad de producto que está siendo conformada con éxito, con el fin de obtener el total de mezcla que debe ser ingresada al sistema para obtener una cantidad de producto terminado.

Tabla 26. Rendimiento de la máquina

Número de Prueba	Ingreso (Kg)	Caramelos (20g c/u)	# de ciclos (24 car/ciclo)	Salida (Kg)	Diferencia (Kg)	Rendimiento	Rendimiento (%)
1	10	480	20,00	9,6	0,4	0,960	96
2	25	1188	49,50	23,7	1,3	0,948	94,8
3	25	1110	46,25	23,8	1,2	0,952	95,2
4	50	2364	98,50	47,3	2,7	0,946	94,6
5	50	2346	97,75	46,9	3,1	0,938	93,8
Rendimiento Promedio						0,949	94,88

Las pérdidas presentadas se deben a tres factores fundamentales. El primero corresponde al porcentaje de la mezcla que se queda atrapada dentro de la tolva como efecto del apelmazamiento generado alrededor y dentro del tornillo (ver Figura 117). El segundo corresponde a la cantidad de mezcla perdida en el sistema de distribución ya que al retorno de la paleta se arrastra una pequeña cantidad de mezcla fuera de la matriz de los dulces (ver Figura 118). El tercero corresponde a la cantidad de mezcla que no se conformó con éxito, esto se produce cuando no existe mezcla suficiente en la paleta, lo cual conlleva que al distribuirla sobre la matriz, esta no alcance a llenar todas las cavidades de la misma y al realizar la compactación varios caramelos no sean conformados con éxito, por lo que se divide mezcla sin conformar al final del proceso (ver Figura 119).



Figura 117. Pérdidas sistema dosificación



Figura 118. Pérdidas sistema distribución



Figura 119. Pérdida por falta de producto

Al analizar el rendimiento promedio de 94,88% expuesto en la Tabla 26, se debe considerar que para producir 50 kg de producto terminado, es necesario ingresar al sistema al menos 52,56 kg. En vista que el sistema está diseñado para almacenar un volumen extra de 20% y el motor tiene un factor de seguridad correspondiente a (1,6), la carga adicional de 2,56 Kg no afecta ni sobre esfuerza el proceso de conformación de dulces de maní, por otra parte se debe tener en cuenta que las pérdidas generadas en el sistema se pueden reprocesar hasta un máximo de dos veces, reduciendo de este modo la pérdida real de mezcla.

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Se modernizó una prensa electromecánica para fabricar dulces de maní en la empresa Agroindustria LCM, mediante la inserción de un sistema automático de dosificación y distribución, comandados mediante un PLC y una pantalla táctil.
- La máquina se encuentra 100% operativa y funcional tras el proceso de modernización, cumpliendo los requerimientos de producción y dotando de cierto grado de autonomía en el proceso, pues únicamente se debe suministrar la mezcla de maní y azúcar en el sistema de dosificación y programar el número de ciclos mediante la HMI para producir dulces de maní, los cuales deben ser retirados por el operador al finalizar cada ciclo de trabajo.
- Para la interacción con el usuario, la máquina cuenta con una pantalla táctil monocromática enlazada con un PLC, donde el usuario puede controlar y monitorizar todo el proceso de conformación de los caramelos de maní. Mediante la pantalla se puede desarrollar tanto un proceso manual como automático e ingresar los distintos parámetros necesarios para la inicialización del proceso.
- Mediante el software CAM y de forma analítica, se determinó que el punto más crítico de la estructura de dosificación y distribución resulta ser el raspador, el cual presenta un factor de seguridad de alrededor 5, con lo cual se asegura que dicho agitador soportara cinco veces la carga nominal a la cual estará sometido, es decir se encuentra sobre dimensionado para afirmar un larga vida útil.
- Los dispositivos seleccionados para la modernización corresponden a un PLC Siemens S7 1200 y una pantalla Siemens KTP-400 para el control y monitoreo. Relés, contactores, guardamotores, brakers y

demás elementos de potencia para el tablero de control. Pistón FESTO DSBC 32x400, electroválvula monoestable, tubo de poliuretano y acoples para el sistema neumático. Todos estos elementos fueron diseñados e integrados previamente mediante software CAD, software propio de siemens y simuladores de FESTO online. Dichos software son especializados para el diseño y selección de elementos necesarios en una modernización.

- La densidad del producto depende de la cantidad de grasa vegetal y la higroscopicidad de la mezcla, cuando cualquiera de estas aumenta, la densidad también lo hace y se produce un fenómeno de apelmazamiento, ocasionando la aparición de grumos, lo mismo que dificulta o impide una correcta dosificación y distribución. La densidad idónea para la correcta funcionalidad de la máquina es de $0,86 \text{ g/cm}^3$.
- Como requerimiento de producción se necesita que la máquina conforme 24 dulces cada 56 (s) aproximadamente (0,923 min), teniendo en cuenta una operación de al menos dos días a la semana donde cada día se desarrolla un turno de 8 horas. Tras la culminación de este proyecto, se implementó un proceso que ofrece los 24 dulces cada 37 (s). Es decir se optimizó alrededor de 34 % del tiempo, con lo cual la prensa solo necesita 5,3 horas para satisfacer la demanda.

7.2. Recomendaciones

- Se recomienda que la planta continúe con el proceso de modernización comenzando por la implementación de un sistema de orientación y distribución de los dulces de maní hacia la máquina empaquetadora “Flow Pack”, con el fin de reducir al mínimo el contacto del operador con el producto, tiempos muertos y asegurar la inocuidad de los alimentos.
- Trabajar con una mezcla de maní y azúcar cuya densidad no supere $0,9 \text{ g/cm}^3$, de lo contrario las partículas que forman la composición tienden a apelmazarse por su alto grado de grasa y nivel higroscópico,

lo que dificulta o impide una correcta dosificación y distribución de la mezcla.

- Realizar un montaje fijo de la máquina al piso donde trabajará, para evitar ruidos y vibraciones que se pueden generar durante el proceso de conformación de los dulces, puesto que estos fenómenos pueden afectar los puntos de sujeción y juntas, de las cuales está constituida el ensamble de la máquina.
- No suministrar presiones superiores a los 6 *bar* al sistema neumático de distribución de la mezcla con el fin de alargar la vida útil de los elementos.
- Con el fin absorber las pérdidas por fricción, cambios de sección y fugas se recomienda que la presión mínima en la entrada del regulador sea al menos 3,5 *bar*.
- La estructura debe estar sometida a una constante limpieza debido a la naturaleza del proceso y el contacto con el producto.

BIBLIOGRAFÍA

- Afif Khouri, E. (2004). *Apuntes de hidráulica para explotaciones forestales*. Oviedo: EDIUONO.
- Águeda Casado, E., Navarro, J., & Gómez Morales, T. (2012). *Sistemas de transmisión de fuerzas y trenes de rodaje*. España: Paraninfo, SA.
- Aguinsaca Durazno, O. F. (2008). *Diseño y Construcción de una máquina dosificadora automática de encimas para balanceado de camarón para la empresa EMPAGRAN S.A.* Latacunga.
- Arbeláez Pérez, Ó. F. (2006). *Laboratorio de Física Mecánica*. Bogotá: Educ.
- ARCSA. (2015). Norma Técnica sustitutiva de Buenas Prácticas de Manufactura para alimentos procesados. *Registro Oficial N° 555*, 48.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (8va ed.). México: McGraw-Hill.
- COLLINGWOOD. (11 de 07 de 2015). *CLLWOOD*. Recuperado el 02 de 07 de 2016, de <http://cllwood.com/dosificador-sin-fin/>
- Ebel, F., Idler, S., Prede, G., & Scholz, D. (12 de 2009). Neumática Electroneumática. *FESTO Didactic*. Recuperado el 20 de 07 de 2016
- Electro Cables C.A. (2016). Características generales de los conductores eléctricos. *Cables*, 12.
- Electrostock. (09 de 02 de 2016). *Electrostock*. Recuperado el 26 de 06 de 2016, de http://www.electrostock.com.ar/estructura/secciones/s_producto.php?mldProducto=147653
- EXAKTAPACK. (10 de 07 de 2016). *EXAKTAPACK*. Recuperado el 22 de 06 de 2016, de <http://www.exaktapack.es/es/productos/equipos-auxiliares/tolvas-vibradoras.html>
- FESTO. (10 de 06 de 2013). Materiales. *Conocimientos profesionales y soluciones para la industria alimentaria y de bebidas*. Recuperado el 02 de 07 de 2016
- FESTO. (23 de 07 de 2016). Cilindros normalizados DSBC, ISO 15552. *FESTO Catálogo*, 10-25. Recuperado el 14 de 06 de 2016
- FESTO. (05 de 02 de 2016). *Ingeniería*. Recuperado el 20 de 07 de 2016, de Manual didáctico: https://www.festo.com/cat/es_es/products_010200
- Gomez, J. (1995). *Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto*. Madrid: E.P.M. S.A.
- Gracia Torres, E. (2012). *Diseño y construcción del sistema de dosificación*. Recuperado el 02 de 07 de 2016

- Grupo AEX. (5 de 11 de 2011). *La guía para elegir tu tolva de almacenamiento*. Recuperado el 21 de 07 de 2016, de <http://www.grupoaex.es/noticias/tolva-almacenamiento/>
- LATINCASA. (2005). • Selección del calibre de un conductor eléctrico en tubería (CONDUIT) de acuerdo con la norma de instalaciones eléctricas Nom-001-sede-2005. *LATINCASA*, 2.
- Martin Sprocket & Gear. (03 de 07 de 2016). Manejo de materiales a granel. *Martin*.
- MEXIMAQ. (2012). Llenadora con Tornillo Helicoidal - TH 1900. *MEXIMAQ Maquinaria para Empaque*. Recuperado el 05 de 07 de 2016, de Llenadora en versión semi automática con un diseño de uso pesado y gran versatilidad.
- MiCRO. (23 de 04 de 2016). Cilindros. *MiCRO*, 10. Recuperado el 15 de 07 de 2016
- Miravete, A., & Larrodé, E. (2004). *Transportadores y elevadores*. Zaragoza, España: REVERTÉ, S. A. Recuperado el 16 de 06 de 2016
- POSTPACKS. (2009). *POSTPACKS*. Recuperado el 2016 de 07 de 02, de <http://www.postpacksl.com/web/horizontal-dosif.php?lang=1>
- PROVINDUS. (2003). Inoxidables - Tubos y conexiones de acero inoxidable. *PROVINDUS*. Recuperado el 07 de 07 de 2016
- Reyes Ibarra, I., & Medina M., G. (2000). *Procesos de manufactura para el administrador*. México: Spanta. Recuperado el 02 de 07 de 2016
- Schneider. (2016). Breakers QOVs y Centros de Carga QOL Square D. *Schneider Electric*, 6.
- Schneider Electric. (2012). Contactors & Overload Relays. *IEC Contactors and starters*, 1.
- Schneider Electric. (2013). Protección de motores. *Control y Protección de Potencia*, 6.
- Schneider Electric. (2016). Guardamotores magnetotérmicos. *Comando y Protección de Potencia*, 20.
- Serrano, A. (2009). *Neumática práctica*. Madrid: Paraninfo, S.A. Recuperado el 10 de 06 de 2016
- TPC. (07 de 09 de 2012). Air Line Equipment. *TPC Motion*.
- URBAR. (10 de 2003). Alimentadores vibrantes electromecánicos. *URBAR ingenieros s.a.* Recuperado el 22 de 06 de 2016