

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA COMPRIMIR CARAMELOS TIPO PASTILLA PARA LA EMPRESA SAJX

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

DE INGENIERO MECATRÓNICO

ESTEBAN ANDRÉS HARO BÁEZ

DIRECTOR: ING. LUIS HIDALGO

Quito, junio, 2014

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2014

Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo Esteban Andrés Haro Báez, declaro que el trabajo aquí descrito es de

mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o

calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas

que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos

correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de

Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional

vigente.

Esteban Andrés Haro Báez

C.I. 1720578358

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título "Diseño y construcción de un sistema para comprimir caramelos tipos pastilla para la empresa Sajx", que, para aspirar al título de Ingeniero Mecatrónico fue desarrollado por Esteban Haro, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

Ing. Luis Hidalgo

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 170772143-5

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo y mi esfuerzo a Dios gracias por bendecirme, y guiarme en cada uno de mis actos.

A mi madre, por creer en mí y por sacarme adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ella, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvo impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y de mi vida, por su amor y amistad incondicional.

A toda mi familia por su voz de aliento, por siempre confiar en mí y ser un pilar fundamental en mi vida.

A todas las personas que forman parte de mi vida, especialmente a una que sin estar presente siempre, es muy importante en mi vida por su gran amor y apoyo incondicional.

A todos mis grandes amigos que fueron importantes en cada etapa de este camino, que confiaron en mí y principalmente me brindaron su gran amistad.

A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su apoyo.

AGRADECIMIENTO

A la ilustre Universidad Tecnológica Equinoccial, en donde conocí grandes personas, grandes amigos y principalmente donde adquirí grandes conocimientos para mi futura vida profesional.

A mi director de tesis y asesores, quienes me ayudaron con sus conocimientos y predisposición para que pueda realizar esta investigación.

A mis compañeros de carrera, amigos de verdad que me ayudaron y siempre estuvieron pendientes de mí, a lo largo de este proceso.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PAGINA
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO DE REFERENCIA	7
2.1 MARCO TEÓRICO	8
2.1.1 CONFITERÍA	8
2.1.1.1 Historia	8
2.1.1.2 Clasificación de productos de confitería	9
2.1.2 FARMACOLOGÍA	10
2.1.2.1 Comprimidos	10
2.1.2.2 Compresión	11
2.1.2.3 Excipientes	13
2.1.2.4 Ciclo de compresión	14
2.1.2.5 Fuerza de compresión	16
2.1.3 MÁQUINAS TABLETEADORA	17
2.1.3.1 Tabletadoras manuales	18
2.1.3.2 Tabletadoras neumáticas e hidráulicas	19
2.1.3.3Tabletadoras rotatorias	19
2.1.3.4 Tabletadoras excéntrica	20
2.1.3.5 Partes de las tabletadoras	22
2.1.3.5.1 Punzones	22
2.1.3.5.2 Matriz	23
2 1 3 5 3 Tolya do alimentación	24

2.1.4 DISEÑO DE ELEMENTOS DE UNA MÁQUINA	24
2.1.4.1 Esfuerzos y deformaciones	25
2.1.4.2 Concentración esfuerzos	27
2.1.4.3 Tipos de carga y relación esfuerzos	27
2.1.4.4 Resistencia a la fatiga	28
2.1.4.4.1 Resistencia a la fatiga real	29
2.1.4.5 Factor de diseño	31
2.1.4.6 Predicción de falla	31
2.1.4.6.1 Método de Goodman	32
2.1.5 ELEMENTOS DE UNA MÁQUINA	34
2.1.5.1Columna	34
2.1.5.1.1 Columna corta	35
2.1.5.1.2 Columnas larga	36
2.1.5.2 Eje	36
2.1.5.3 Rodamientos	38
2.1.5.3.1 Rodamientos de bolas	38
2.1.5.3.2 Rodamientos de rodillos	39
2.1.5.4 Cuñas	39
2.1.5.5 Anillos de retención	40
2.1.6 ACERO	41
2.1.7 DURALÓN	42
2.1.8 MOTOR	43
2.1.8.1 Motores eléctricos	43
2.1.8.1.1 Motores de corriente continua	44
2.1.8.1.2 Motores de corriente alterna	44
2.1.8.1.2.1 Motores trifásicos	44

2.1.9 REDUCTOR DE VELOCIDAD	46
2.1.10 VARIADOR DE FRECUENCIA	46
2.1.10.1 Funcionamiento el variador de frecuencia	47
2.1.11 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES PLC	48
2.1.11.1 Campos de aplicación del PLC	48
2.1.11.2 Estructura de un PLC	49
2.1.11.3 Funcionamiento del PLC	50
2.1.11.3.1 Etapa de auto diagnóstico e inicialización	50
2.1.11.3.2 Etapa de procesamiento	50
2.1.11.3.3 Etapa de Ejecución	51
2.1.12 SENSORES	52
2.1.12.1 Características de los sensores	52
2.1.12.2 Sensores capacitivos	53
2.1.12.2.1 Funcionamiento de un sensor capacitivo	54
2.1.12.2.2 Ventajas y desventajas	55
2.1.12.2.3 Aplicaciones	55
3. METODOLOGÍA	58
3.1 METODOLOGÍA MECATRÓNICA	58
3.1.1 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS	59
3.1.1.1 Mecanismo de transformación de movimiento	59
3.1.1.2 Fuerza de compresión	62
3.1.1.3 Eje de trasmisión principal	65
3.1.1.4 Rodamientos	69
3.1.1.4.1 Rodamiento de los extremos	70
3.1.1.4.2 Rodamiento para el punzón superior	72
3.1.1.4.3 Rodamiento para el punzón inferior	73

3.1.1.5 Actuadores	/4
3.1.1.5.1 Motor	74
3.1.1.5.2 Protecciones	79
3.1.1.5.3 Luces indicadoras	80
3.1.1.6 Sistema de control	81
3.1.1.6.1 Módulo Lógico de Control Programable	82
3.1.1.6.1.1 LOGO!Soft Comfort	84
3.1.1.6.2 Sensor	85
3.1.1.6.3 Pulsadores	87
3.1.1.6.4 Variador de Frecuencia	88
3.1.2 CÁLCULOS	90
3.1.2.1 Cálculos de los punzones	90
3.1.2.1.1 Punzón superior	94
3.1.2.1.1.1 Punzón superior grande	95
3.1.2.1.1.2 Punzón superior pequeño	97
3.1.2.1.2 Punzón inferior	100
3.1.2.1.2.1 Punzón inferior grande	100
3.1.2.1.2.2 Punzón inferior pequeño	103
3.1.2.2 Calculo del eje vertical	105
3.1.2.3 Calculo de soporte rectangular punzón inferior	108
3.1.2.4 Cálculos de la base	112
4. DISEÑO	119
4.1 DISEÑO DEL SISTEMA	119
4.2 DISEÑO MECÁNICO	119
4.2.1 MECANISMO PARA EL DESPLAZAMIENTO DEL PUNZÓN SUPERIOR	124

4.2.1.1 Anillo exterior 6914	125
4.2.1.2 Excéntrica 6914	126
4.2.1.3 Punzón superior	126
4.2.2 MECANISMO PARA EL DESPLAZAMIENTO DEL PU	JNZÓN
INFERIOR	128
4.2.2.1 Anillo exterior 6910	129
4.2.2.2 Excéntrica 6910	130
4.2.2.3 Eje vertical	130
4.2.2.4 Soporte horizontal	131
4.2.2.5 Punzón inferior	132
4.2.3 MECANISMO PARA EL DESPLAZAMIENTO DE LA	TOLVA DE
ALIMENTACIÓN Y EXPULSIÓN	133
4.2.3.1 Leva seguidor	134
4.2.3.2 Sistema de barras	134
4.2.3.3 Sistema de alimentación	135
4.2.4 OTROS ELEMENTOS	136
4.2.4.1 Eje principal	136
4.2.4.2 Matriz	137
4.2.4.3 Base	138
4.2.4.4. Gabinete	139
4.2.5 COMPROBACIÓN DE CARGA	139
4.2.6 ENSAMBLAJE FINAL	144
4. 3 DISEÑO ELÉCTRICO	145
4.4 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PLC	148
4.5 SIMULACIÓN DEL SISTEMA	150
4.7 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO	163

4	4.8 FORMULACIÓN DEL GRANULADO	168
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	169
į	5.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	171
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	177
(6.1 CONCLUSIONES	178
(6. 2 RECOMENDACIONES	180
BII	BLIOGRAFÍA	181
ΑN	IEXOS	187

ÍNDICE DE TABLAS

17101117
Tabla 1. Materiales Eléctricos5
Tabla 2. Materiales mecánicos6
Tabla 3. Otros gastos
Tabla 4. Operaciones para cada método de elaboración de comprimidos13
Tabla 5. Factores de material 29
Tabla 6. Factores de tipo de esfuerzo 29
Tabla 7 . Factores de confiabilidad
Tabla 8. Factores de tamaño30
Tabla 9. Duración recomendada para rodamientos 70
Tabla 10. Características del motor seleccionado
Tabla 11. Características del guarda motor80
Tabla 12. Características del sensor capacitivo
Tabla 13. Datos técnicos del Variador de frecuencia SINAMICS G11089
Tabla 14. Desplazamiento del mecanismo del punzón superior121
Tabla 15. Desplazamiento del mecanismo del punzón superior122
Tabla 16. Cantidad de caramelos producidos en función de la velocidad y cantidad de granulado en una hora
Tabla 17. Nivel de producción del sistema de compresión en la velocidad 1 176
Tabla 18. Nivel de producción del sistema de compresión en la velocidad 3 177

PÁGINA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Primera máquina de comprimir William Brockedon	11
Figura 2. Ciclo de compresión1	14
Figura 3. Etapas en el ciclo de compresión1	15
Figura 4. Fuerzas durante el ciclo de compresión1	16
Figura 5. Tabletadora manual "eureka"1	18
Figura 6. Tabletadora neumática Natoli "NP-RD10"	19
Figura 7. Sistema de compresión tabletadoras rotativas2	20
Figura 8. Tabletadora rotativa Natoli "NP-200"2	20
Figura 9. Sistema de compresión tabletadoras excéntricas	21
Figura 10. Tabletadora excéntrica Emjuvi "MAP"	21
Figura 11. Punzones de diferentes tipos de formas	22
Figura 12. Multipunzon	23
Figura 13. Matrices de diferentes formas	23
Figura 14. Matrices de diferentes formas	24
Figura 15. Diagrama de Goodman para materiales dúctiles	32
Figura 16. Valores de k para diferentes tipos de fijación	34
Figura 17. Rodamientos a bolas. a) Radial de dos hileras, b) axial y c) de contacto angular	38
Figura 18. Rodamientos a rodillos cilíndricos. a) Radial, b) axial y c) axial de dos hileras	
Figura 19. Cuña, h: altura, w; ancho, I; longitud	10
Figura 20. Anillos de retención4	10

PÁGINA

Figura 21. Conexiones en los bobinados trifásicos: a) conexión estrella y conexión triángulo	•
Figura 22. Colocación de puentes para conectar el motor trifásico en estrella o en triángulo	45
Figura 23. Motorreductor modular	46
Figura 24. Funcionamiento de un Variador de frecuencia	47
Figura 25. Estructura de un PLC	49
Figura 26. Sensores capacitivos	53
Figura 27. Diagrama de un sensor capacitivo	54
Figura 28. Control del nivel de líquido en un tanque o en una tubería	56
Figura 29. Control del número de recipientes	56
Figura 30. Detección de envases vacíos en la línea de producción	57
Figura 31. Pasos para el desarrollo de un prototipo	58
Figura 32. Funcionamiento de una biela manivela	60
Figura 33. Mecanismo leva seguidor	61
Figura 34. Diagrama de fuerzas aplicadas	63
Figura 35. Diagrama de reacciones axiales	64
Figura 36. Diagrama de momentos	65
Figura 37. Motoreductor siemens usado en el sistema	77
Figura 38. Conexión triangulo del motor seleccionado	78
Figura 39.Guarda motor SZ S00	80
Figura 40. Luz indicadora roja	81
Figura 41. PLC LOGO 12/24RC	82
Figura 42. Fuente LOGO POWER	83
Figura 43. Módulo de expansión utilizado	83

Figura 44. Interfaz del editor	Logo! Soft Comfort	85
Figura 45. Sensor digital cap	acitivo	86
Figura 46. Pulsador seleccion	nado	87
Figura 47. Pulsador de emer	gencia	87
Figura 48. Variador de frecue	encia SINAMICS G110	88
Figura 49. Diagrama de fuerz	zas aplicadas en el soporte	108
Figura 50. Diagrama de mom	nentos del soporte	111
Figura 51. Diagrama de fuerz	zas aplicado en un el lado de la base	115
Figura 52.Reacciones en la b	oase	115
Figura 53. Arquitectura del si	stema	119
Figura 54. Diagrama del med	canismo para el desplazamiento	120
Figura 55. Ciclo de compresi	ón del sistema espresado numéricame	nte 123
Figura 56. Diseño del mecan	ismo del punzón superior	124
Figura 57. Diseño anillo exte	rior 6914	125
Figura 58. Diseño excéntrica	6914	126
Figura 59. Diseño punzón su	perior grande	127
Figura 60. Diseño del punzór	n superior pequeño	127
Figura 61. Diseño del mecan	ismo del punzón inferior	128
Figura 62. Diseño del Anillo	exterior 6910	129
Figura 63. Diseño excéntrica	6910	130
Figura 64. Eje vertical		131
Figura 65. Soporte Horizonta	ıl	131
Figura 66. Diseño punzón inf	erior grande	132
Figura 67. Diseño punzón inf	erior pequeño	132

Figura 68. Diseño del mecanismo para el desplazamiento de la tolva.	133
Figura 69. Diseño leva seguidor	134
Figura 70. Diseño sistema de barras	135
Figura 71. Diseño del sistema de alimentación	136
Figura 72. Diseño del eje principal	137
Figura 73. Diseño de la matriz	137
Figura 74. Diseño de la base	138
Figura 75. Diseño del gabinete	139
Figura 76. Deformación del punzón superior grande	140
Figura 77. Deformación del punzón superior pequeño	141
Figura 78. Deformación del eje vertical	141
Figura 79. Deformación del soporte vertical	142
Figura 80. Deformación del punzón inferior grande	142
Figura 81. Deformación del punzón inferior pequeño	143
Figura 82. Deformación de la base	143
Figura 83. Diseño final del Sistema Mecánico	144
Figura 84. Diseño Final del Sistema	145
Figura 85. Diseño eléctrico	146
Figura 86. Diagrama esquemático del circuito electrónico	147
Figura 87. Diagrama de flujo del control del proceso del PLC	149
Figura 88. Programa en logo del control del PLC	151
Figura 89. Simulación del programa	152
Figura 90. Maquinado de elementos en el torno	153
Figura 91. Excéntrica 6910	153

Figura 92. Punzón inferior, matriz	154
Figura 93. Punzón superior	154
Figura 94. Anillo 6914, acoplado con rodamiento y anillo de retención	155
Figura 95. Anillo 6910, acoplado con rodamiento y excéntrica	155
Figura 96. Eje principal	156
Figura 97. Barra seguidor	156
Figura 98. Sistema de alimentación y expulsión, tolva	157
Figura 99. Construcción de la base	158
Figura 100. Eje vertical y soporte horizontal a 90 grados	158
Figura 101. Alineación de la bancada	159
Figura 102. Guías	159
Figura 103. Alineación de guías	160
Figura 104. Acople del motor	160
Figura 105. Ensamblaje de comprobación	161
Figura 106. Prueba de funcionamiento manual	161
Figura 107. Base	162
Figura 108. Sistema Mecánico final (vista posterior)	162
Figura 109. Sistema Mecánico final (vista frontal)	163
Figura 110. Conexión del variador	165
Figura 111. Pruebas de funcionamiento sistema eléctrico	165
Figura 112. Tarjeta electrónica (vista posterior)	166
Figura 113. Tarjeta electrónica (vista frontal)	166
Figura 114. Gabinete abierto	167
Figura 115. Gabinete eléctrico	167

Figura 116. Sistema de compresión de caramelos tipo pastilla	170
Figura 117. Integración de los sistemas mecánicos y de control	171
Figura 118. Calibración del sistema mecánico	172
Figura 119. Alimentación de tolva	173
Figura 120. Sistema de compresión en marcha	173
Figura 121. Detección de falta de granulado	174
Figura 122. Pastillas producidas por el sistema de Compresión	175

ÍNDICE DE ANEXOS

PAGIN	IA
ANEXO 1. Módulo de sección y radio de giro	37
ANEXO 2. Acero AISI 705	38
ANEXO 3. Acero ASTM A36	39
ANEXO 4. Acero AISI 304	90
ANEXO 5. Rodamiento 620519	91
ANEXO 6. Rodamiento 691419	92
ANEXO 7. Rodamiento 691019	93
ANEXO 8. Planos anillo 6910	94
ANEXO 9. Planos anillo 691419	95
ANEXO 10. Planos barra tolva	96
ANEXO 11. Planos base tolva19	97
ANEXO 12. Planos base	98
ANEXO 13. Planos excéntrica 6910	99
ANEXO 14. Planos excéntrica 6914	00
ANEXO 15. Plano excéntrica tolva	21
ANEXO 16. Plano eje principal20)2
ANEXO 17. Plano eje vertical)3
ANEXO 18. Plano matriz)4
ANEXO 19. Plano punzón superior pequeño)5
ANEXO 20. Plano punzón superior grande)6
ANEXO 21. Plano punzón inferior pequeño20)7
ANEXO 22. Plano punzón inferior grande	38

ANEXO	23. Plano soporte horizontal2	209
ANEXO	24. Plano gabinete	210
ANEXO	25. Plano ensamblaje mecánico2	211

RESUMEN

La empresa SAJX está en proceso de constitución, la misma que se dedicará a la elaboración de caramelos de muchos tipos entre estos del tipo pastilla los cuales consisten en una mezcla de polvos que son sometidos a presión por un punzón dentro de una matriz mediante una máquina tableteadora, el propósito de este proyecto fue diseñar y construir un sistema que permita elaborar caramelos comprimidos para minimizar el tiempo de producción y así poder ser parte de una serie de procesos para la elaboración de caramelos tipo pastilla. En el primer capítulo se presenta la formulación del problema, el objetivo general y específicos, así mismo se delimito un alcance en base a los requerimientos de la empresa. Posteriormente en el segundo capítulo se realizó un marco teórico con los temas necesarios para poder desarrollar el proyecto, se analizó la fuerza de compresión necesaria para comprimir pastillas, los tipos de formulación de granulado, los conceptos básicos de diseño de máquinas, y de sistemas de control. En el tercer capítulo se delineó la metodología, en donde se estudiaron los requerimientos del proyecto, los materiales, sus propiedades y restricciones de la máquina, estableciendo así parámetros a través de los cálculos para la elección del prototipo correcto. En el cuarto capítulo se diseñó el sistema en función de los resultados obtenidos en los cálculos, así mismo se realizó simulaciones previas a la construcción. En el quinto capítulo se describe el proceso de construcción del sistema, se realizaron las pruebas de funcionamiento del sistema de compresión de caramelos tipo pastilla, lo cual permitió elaborar 3360 pastillas por hora, de 10 mm de diámetro y 5 mm de ancho aplicando una fuerza de 3 KN. El diseño, la construcción y las pruebas de funcionamiento cumplieron con los objetivos establecidos. Finalmente en el sexto capítulo se describen las conclusiones y recomendaciones obtenidas durante el desarrollo del proyecto.

ABSTRACT

Us SAJX is being set up, the same to be devoted to the preparation of sweets of many kinds between these the pill type which consist of a mixture of powders that are under pressure from a punch in a matrix by a machine tableting, the purpose of this project was to design and build a system that can produce compressed candy to minimize production time and thus be part of a series of processes for the manufacture of candy type pill. Problem formulation is presented in the first chapter, the general and specific objectives, also delimit a range is based on the requirements of the company. Later in the second chapter a theoretical framework with the necessary subjects was performed to develop the project, the force required to compress tablets compression rates granule formulation, the basic concepts of machine design and systems analyzed control. In the third chapter the methodology, where the project requirements, materials, properties and constraints of the machine were studied, thus establishing parameters through calculations for choosing correct prototype is outlined. In the fourth section the system is designed based on the results of the calculations and preconstruction same simulations were performed. In the fifth chapter the process of building the system is described, performance testing system compression type wafer candies were made, which allowed developing 3360 tablets per hour, 10 mm in diameter and 5 mm in width by applying a force 3 KN. The design, construction and performance tests met the objectives. Finally, conclusions and recommendations obtained during the development of the project described in the sixth chapter.

	1. INTRODUCCIÓN	

La actividad tecnológica siempre ha influido en el progreso social, económico, industrial del entorno, actualmente la tecnología está comprometida en automatizar procesos en donde la intervención del hombre sea menor es decir disminuir al máximo todos aquellos trabajos laboriosos, pesados y peligrosos, dentro de las ventajas que se pretenden conseguir con la aplicación de una automatización es, disminuir el esfuerzo humano, eliminar aquellos tipos de trabajos que entrañen peligrosidad, mejorar la calidad del proceso y por otra disponer de mayor manejo del tiempo.

Los avances de la tecnología han ido involucrado a todo el entorno desde la comodidad de los hogares, en donde desde un simple control remoto para encender una televisión hasta la posibilidad de controlar la casa desde un teléfono móvil ha creado una cierta comodidad al hombre en sus actividades cotidianas, la tecnología ha ido involucrado las diferentes industrias como la automotriz, farmacéutica, alimenticia en donde se automatizado todo la cadena de producción.

La empresa SAJX está en proceso de constitución, la misma que está enfocada en la industria confitera, la empresa pretende elaborar varios tipos de confites entre estos los caramelos tipo pastilla, durante las últimas tiempos ha existido un gran desarrollo en la elaboración de productos de confitería cuyo principal objetivo es producir sensación agradable al consumidor a través de la unión de las texturas, colores, aromas y principalmente del sabor.

Los confites generalmente son elaborados con diferentes combinaciones de azucares como glucosa, sacarosa, fructosa, lactosa y diversos compuestos que mejoran sus propiedades.

La empresa SAJX en su intención de elaborar varios tipos de productos y al encontrarse en proceso de constitución, tuvo como problema la falta de maquinaria para la elaboración de confites, dentro de esto la empresa necesitaba un sistema que permita la elaboración de caramelos tipo pastilla, mediante la compresión de caramelo, de tal manera que se logre

automatizar y disminuir el tiempo de proceso, se estimó que se produciría 2000 pastillas por hora con un consumo de 4000 gr/h de granulado de caramelo logrando así economizar la mano de obra y tiempos en la producción del producto así como el ahorro en la materia prima, y buena calidad en el producto.

De esta forma se logró ser el sistema piloto de una cadena de procesos automatizados para la elaboración de variedad de caramelos tipo pastilla.

El proyecto tiene como objetivo principal diseñar y construir un sistema de compresión que permita comprimir caramelos tipo pastillas.

El proyecto tuvo como objetivos específicos los siguientes:

- Diseñar y construir el sistema de compresión de caramelos tipo pastilla.
- Diseñar y construir el sistema de control para el sistema de compresión.
- Pruebas de funcionamiento

El alcance del proyecto establece que el sistema permitirá comprimir aproximadamente 2000 pastillas por hora utilizando 4000 gr de caramelo en polvo, el cual estará almacenado en un sistema previo de almacenamiento y mezclado, el mismo que alimentara a la tolva del sistema de compresión para posteriormente caer sobre la matriz de compresión en donde adopta una forma circular debido a que es sometido a presión por un punzón, cuya máxima fuerza estimada por el sistema será de 3 a 5 KN logrando así pastillas con las siguientes características:

- Diámetro estimado 10 (mm)
- Espesor máximo estimado 6 (mm)

El sistema de compresión de caramelos permitió controlar el número de golpes por minuto del punzón es decir el número de caramelos que produce el sistema, de tal manera que permitió configurar las velocidades de trabajo y por ende la cantidad de caramelos producidos.

Así mismo se monitoreó la cantidad de caramelo en polvo en la tolva de alimentación, en el caso que no exista material se activa una luz piloto, indicando la ausencia del material la cual estará encendida hasta que se alimente nuevamente, caso contrario la máquina se detendrá y no se podrá iniciar hasta colocar nuevamente polvo en la tolva, así mismo el sistema posee una parada de emergencia que detendrá inmediatamente al sistema en caso que sea necesario.

Para la elaboración del proyecto se realizó un análisis económico y técnico que estableció que la construcción del sistema era viable técnicamente de acuerdo a los siguientes puntos:

- Los movimientos mecánicos que realiza el sistema son mecánicamente construibles
- Existen los materiales y componentes necesarios en el mercado nacional para su construcción
- El sistema será de fácil manejo y podrá ser operado por cualquier persona
- Existen varios sistemas similares que permiten tener una referencia en su diseño y construcción.

Dentro de la construcción y el diseño del sistema se requirió diversos materiales los cuales fueron escogidos acorde a sus propiedades mecánicas, la máquina de compresión fue hecha de acero inoxidable especialmente las partes que están en contacto con el comprimido de caramelo debido a que se trata de productos alimenticios, las partes que no entraron en contacto con la materia prima fueron construidas de otros materiales de acuerdo al diseño mecánico realizado, todo esto de acuerdo a la disponibilidad de los materiales en el mercado nacional.

Para la construcción de la parte mecánica se requirió el maquinado de diversas piezas a través de máquinas herramientas, así mismo se requirió herramientas computacionales para la previa modelación, como Solid Works, Working model los cuales facilitaron y viabilizaron el diseño acorde a las variables de trabajo necesarias, por la parte de control se utilizó un PLC el cual fue programado en logo confort lo cual permitió controlar e integrar los demás elementos del sistema como el variador de frecuencia el cual permitió variar la velocidad del motor acorde a los niveles de producción requeridos, así mismo el sistema consta de sensor para monitorear los niveles de material, el sistema de control funciona a 220v.

La construcción del sistema al requerir de maquinado de casi la totalidad de sus componentes elevó el costo del mismo así como también por la utilización de diversos componentes electrónicos.

A continuación se detalla los costos de los materiales que se utilizan en el proyecto.

Los materiales utilizados y su costo en la parte de control y eléctrica del proyecto se los puede observar la Tabla 1.

.

Tabla 1. Materiales Eléctricos

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
Plc 12/24 Siemens 8IN- 4OUT	1	100	100,00
Logo power IN 220/110 DC OUT 24AC	1	50	50,00
Módulo exp logo 4E/4S 12/24VDC Variador de Frecuencia 0,5 HP SINAMICS	1	79,74	79,74
G110 220V	1	235	235,00
Guardamotor siemens 3RV201 1,8 a 2,5 l	1	47,55	47,55
Breaker riel din 2A	1	21,87	21,87
Pulsador de emergencia SIEMENS	1	21,9	21,90
Luz piloto led 22mm verde 24VDC	4	3,93	15,72
Luz piloto led 22mm roja 24VDC	1	3,93	3,93
Pulsador verde SIEMENS NO 24VDC	4	9,18	36,73
Pulsador rojo SIEMENS NO 24VDC	1	9,18	9,18
Cable flexible azul 22	10	0,16	1,60
Cable triple 12	3	4,1	12,30
Relé 5v	1	0,74	0,74
Potenciómetro 10 k	1	0,3	0,30
Regulador de Voltaje LM317T	1	0,6	0,60
Compuerta 7404	1	0,55	0,55
Resistencias	3	0,02	0,06
Borneras (2P)	1	0,28	0,28
Borneras (3P)	2	0,35	0,70
Diodo 1N4007	1	0,38	0,38
Transistor 2N3904	1	0,07	0,07
Elaboración de Tarjeta electrónica	1	18,5	18,50
		VALOR TOTAL	657,70

Los materiales utilizados y su costo en la parte Mecánica del proyecto se los puede observar la Tabla 2.

Tabla 2. Materiales mecánicos

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO (USD)	PRECIO TOTAL
	CANTIDAD	UNITARIO (USD)	(USD)
Moto reductor 0,5 hp 53rpm ortogonal	1	345,7	345,7
Gabinete metálico 40x30x 20 cm	1	47,04	47,04
Rodamiento 6205	2	6,5	13
Rodamiento 6914	1	62,35	62,35
Rodamiento 6910	1	30,1	30,1
Planchas 15x300x600mm ASTM A36	2	20	40
Acero AISI 705 50cm 1 1/2"	1	19,3	19,3
Acero inoxidable AISI 304 90 cm 1"	1	68,3	68,3
Acero AISI 1018 3" 20cm	1	25,4	25,4
Anillo de retención 6205	6	0,35	2,1
Anillo de retención 6914	1	6,75	6,75
Anillo de retención 6910	1	3,45	3,45
Planchas Acero inoxidable AISI 304 2x 400x 300mm	2	6,5	6,5
Tolva acero inoxidable AISI 304	1	6	6
Tubo cuadrado 19 mm 1m	1	4	4
Pernos y tuercaM12x40 Acero inoxidable	2	0,8	1,6
Pernos y tuerca M10 x 70 Acero inoxidable	4	0,9	3,6
Perno y tuerca M10x40 Acero inoxidable	1	0,7	0,7
Plancha 8 x400x400 ASTM A36	1	10	10
Plancha 15x200x200 ASTM A36	1	12	12
Plancha 15x100x100 ASTM A36	1	6	6
Tubo 1 1/ 2" 50cm	1	2	2
Nylon 1 1/ 2" 50cm	1	4,3	4,3
Tuercas 1 1/ 2"	2	0,45	0,9
Pintura plateada 1/8	1	6	6
Prisioneros M5 x10	2	0,3	0,6
Prisioneros M12 x15	1	0,4	0,4
		VALOR TOTAL	728,09

Así mismo existieron otros gastos que se tomaron en cuenta para la realización del proyecto los cuales se observan en la Tabla 3.

Tabla 3. Otros gastos

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
Mano de obra, maquinado(fresa , torno) soldadura , pintado , cromado	1	600	600
Otros gastos	1	150	150
		VALOR TOTAL	750

El Sistema tiene un valor total de aproximadamente 2135,29 dólares.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 CONFITERÍA

Actualmente existe un gran desarrollo en la elaboración de productos de confitería esto se debe a la constante evolución de maquinaria y procesos, el principal objetivo de un confite es proporcionar una sensación placentera en el paladar del consumidor.

"La confitería o tecnología de los productos dulces es una área de la tecnología de alimentos. Los productos de confitería son aquellos que tiene como componente básico un edulcorante principalmente azúcar" (A.A.P.P.A, 2003, pág. 131)

2.1.1.1 Historia

La historia de la confitería ha ido ligada al descubrimiento y desarrollo del azúcar, la palabra Azúcar proviene de los árabes los cuales llamaban al azúcar Schukkar o Sukra (Alfaeditorestecnicos, 2006)

Los productos de confitería datan de hace 3000 años lo demuestran escrituras egipcias, así mismo en excavaciones realizadas en las ruinas de Herculaneum se encontró un taller con utensilios y herramientas similares a los que se utilizan actualmente para la elaboración de confites, durante esta época los romanos elaboraban confites que consistían en productos preparados con varias frutas secas, especies, hierbas, y miel la cual era el principal edulcorante (A.A.P.P.A, 2003)

Al finalizar el siglo XIV los persas descubrieron el azúcar de caña y su refinación, los cuales promovieron la elaboración de variedad de dulces preparados a mano, hervidos y moldeados de forma artesanal, más tarde en el periodo de la revolución industrial se empezó a usar equipos de confitería especializados para su elaboración (A.A.P.P.A, 2003)

2.1.1.2 Clasificación de productos de confitería

La elaboración de confites es muy extensa y su elaboración incluso puede depender de muchos factores como el origen, época, religión. No hay limitación al momento de crear nuevos confites, por tal razón se los han clasificado de la siguiente manera de acuerdo a (Jackson, 1990):

- Caramelos Duros: Son caramelos que poseen una estructura vítrea
 y frágil debido a su composición y proceso de elaboración, que
 consiste en realizar una mezcla de azúcar, agua y glucosa que
 posteriormente es sometida a elevadas temperaturas para su
 concentración y eliminación de agua finalmente se le añaden
 saborizantes colorantes para su posterior troquelado y enfriamiento.
 (Gianola, 1983)
- Caramelos Suaves: Este tipo de caramelos poseen una textura blanda y masticable, su elaboración consiste en realizar una emulsión de azúcar, glucosa, leche condensada y grasa que posteriormente es llevada a cocción hasta la temperatura de ebullición necesaria, finalmente se enfría para ser colocada en moldeadoras para darle la forma (Edwards, 2001).
- Gomas de mascar: Son confites que poseen una consistencia gomosa, y elástica obtenida de savia, gelatinizantes, y almidones modificados, los cuales son mezclados, en grandes contenedores rotativos, a altas temperaturas en donde también se añaden endulzantes y aromas, posteriormente son enfriados para pasar por rodillos que la aplanan hasta el ancho deseado para finalmente ser cortado. (Groso, 1964)
- Chocolate: Los confites de este tipo provienen principalmente de los granos que se encuentran en los árboles de cacao, los granos son fermentados mediante el secado que se lo realiza al aire libre posteriormente los granos se tuestan, y a su vez son limpiados retirando su cascara, finalmente son molidos y triturados hasta formar

- un líquido, el cual se vierte en moldes en donde se enfría formando barras de chocolate. (Negri, Buosi, 2006)
- Caramelos comprimidos: Este tipo de caramelos se obtienen por compresión consiguiendo así una textura muy característica que las diferencia de cualquier otro tipo de confite, generalmente son elaborados por una simple mezcla, sin cocción de sus ingredientes, son principalmente fabricados utilizando métodos que generalmente provienen de la industria farmacéutica. (Edwards, 2001)

2.1.2 FARMACOLOGÍA

La farmacología estudia todas las propiedades físicas y químicas, efectos favorables o adversos, y distribución adecuada de un conjunto de compuestos que se les denomina fármacos o principio activo. (Pascuzzo, 2008, pág. 13)

Dado lo anterior un fármaco se puede definir como un elemento químico capaz de interactuar con un sistema biológico, de tal manera que sea capaz de producir efectos medibles o sensibles (Pascuzzo, 2008)

2.1.2.1 Comprimidos

Junto al desarrollo de la tecnología farmacéutica se fueron desarrollando diferentes formas de fármacos los cuales van de acuerdo a las necesidades de cada persona, sin embargo la forma farmacéutica más empleada ha sido los comprimidos debido a sus cualidades, como su aspecto agradable para el consumidor, así como también la precisión de la cantidad de principio activo que se emplea en cada unidad estas formas también se adaptan fácilmente a la producción a gran escala. (Joshi, 2004)

Desde la antigua literatura farmacéutica ya se describía una forma rudimentaria de comprimir medicamentos, que consistía en martillar los

compuestos hasta comprimirlos, este método de cierta forma seria el origen del actual comprimido.

En 1843 William Brockedon fue quien diseñó y construyó la primera máquina de comprimir la cual fue diseñada para producir minas de lápices de grafito, sin embargo un fabricante de medicamentos vio otro uso potencial de la invención, desde entonces la evolución de los comprimidos como forma farmacéutica ha crecido aceleradamente. (Çelik, 1996)



Figura 1. Primera máquina de comprimir William Brockedon (Science Museum, 2013)

"Los comprimidos se les puede definir como preparados sólidos cuyas compuestos han sido previamente reducidas a polvo y su elaboración se realiza industrialmente mediante compresión de las sustancias secas adicionados o no de excipientes y destinados a ser administrados fundamentalmente por vía oral" (Montalvo, 1990, pág. 71)

2.1.2.2 Compresión

En la farmacología la compresión consiste en aplicar una fuerza capaz de aproximar las partículas de tal manera que se cree una fuerza de atracción molecular, cuyo objetivo es dar forma estable a compuestos polvorosos o granulados (UTA, 2008)

De acuerdo a (Navacuez, Hernández, 2002) en la industria farmacéutica existen tres métodos para fabricar los comprimidos:

- Compresión directa: La compresión directa consiste en comprimir directamente el principio activo sólo o mezclado con otro compuesto lo cual permite reducir el número de operaciones requeridas. (Bolhuis, 2006).
- Granulación seca: Este método consiste en compactar previamente compuestos los cuales generalmente son secos, posteriormente son triturados, tamizados y mezclados con lubricantes, para finalmente ser comprimidos. Se aplica este método cuando el comprimido consta de sustancias sensibles a la humedad y al calor. (Navacuez, Hernández, 2002)
- Granulación húmeda: Este método consiste en humedecer la mezcla formado así un granulado amasado el cual posteriormente es secado, tamizado y mezclados con lubricantes, lo cual será secado por segunda vez para finalmente ser comprimido este método se aplica cuando el comprimido consta de compuestos estables al calor y la humedad. (Alfonso, 2003)

Dado lo anterior existe una gran diferencia en el número de operaciones necesarias para la elaboración de comprimidos de acuerdo a cada método como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4. Operaciones para cada método de elaboración de comprimidos

Compresión húmeda	Compresión seca	Compresión directa
Pesar	Pesar	Pesar
Mezclar	Mezclar	Mezclar
Aglutinar	Compactar	Comprimir
Amasar	Triturar	
Tamizar	Tamizar	
Secar	Mezclar	
Mezclar	Comprimir	
Tamizar		
Comprimir		

2.1.2.3 Excipientes

De acuerdo a (Alpizar, Hernández, 2004) los excipientes son componentes que no tienen actividad farmacológica que tiene como función la de proporcionar estabilidad biológica, física y química al fármaco, así como también de favorecer su dosificación, los excipientes deben ser inertes es decir sin sabor y olor así como también de un color compatible con el principio activo, sin embargo principalmente deben ser estables en la fabricación y ser compatibles con los componentes a ser comprimidos.

Para la fabricación de comprimidos existen una gran variedad de excipientes y los más comunes según (Alpizar, Hernández, 2004) son los siguientes:

- **Diluyentes:** Este tipo de excipiente sirve para proporcionar una masa adecuada, es decir ajustar el peso del comprimido. (Alfonso, 2003)
- Aglutinantes: Este tipo de excipiente permite enlazar las partículas logrando así una buena dureza y baja friabilidad a bajas presiones de compresión. (Alfonso, 2003)
- Lubricantes: Este tipo de excipiente permite reducir la fricción que se genera entre el polvo y los punzones al momento de comprimir. (Alfonso, 2003)

• **Correctivos:** Este tipo permite añadir características como color, sabor, y olor al comprimido. (Alfonso, 2003)

2.1.2.4 Ciclo de compresión

El ciclo de compresión es el proceso en donde se elabora el comprimido sin depender el tipo de máquina usada para el mismo, este ciclo consiste en el desplazamiento de un alimentador hacia la matriz, el alimentador contiene el polvo que mediante gravedad fluye dentro de la matriz alimentándola dependiendo las características del comprimido a formar, posteriormente se aplica una presión ejercida por el desplazamiento sincronizado entre un punzón superior que desciende y un punzón inferior que asciende los cuales en un cierto punto comprimen dando forma al comprimido, posteriormente el punzón superior e inferior ascienden hasta llegar a su nivel más alto, cuando el punzón inferior llega a su punto más alto el alimentador se desplaza nuevamente para expulsar el comprimido ya formado y a su vez llenar la matriz de tal manera que el ciclo permanezca continuo. (Marshall, 1983)

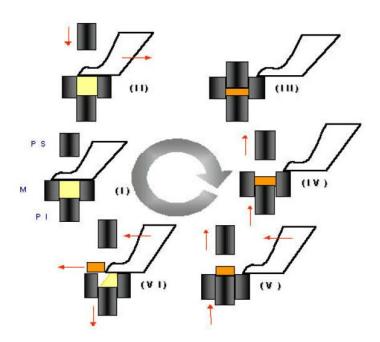


Figura 2. Ciclo de compresión (Tecnun, 2004)

De acuerdo a (Alfonso, 2003) durante el ciclo de compresión se presentan algunas etapas:

- Tiempo de consolidación: Tiempo necesario para conseguir la máxima fuerza.
- **Dwell time:** Tiempo donde se aplica la fuerza máxima.
- Tiempo de contacto: Tiempo de compresión y descompresión.
- Tiempo residual: Tiempo durante el cual el comprimido ya formado está dentro de la matriz.
- Tiempo de eyección: Duración de la eyección.

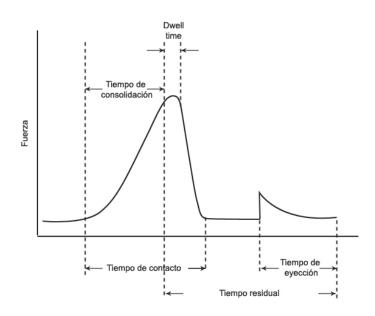


Figura 3. Etapas en el ciclo de compresión (Artalejo, 1995)

En el ciclo de compresión es muy importante el desplazamiento del punzón superior e inferior así como la fuerza de compresión sin embrago desde los inicios siempre se ha planteado la pregunta de cuál es la fuerza necesaria en el proceso de la compresión.

2.1.2.5 Fuerza de compresión

Para la elaboración de una pastilla comprimida es necesario aplicar una fuerza capaz de compactar una formulación sin llegar a su trituración a esta se le denomina fuerza de compresión. (Artalejo, 1995)

A principios de los años 50, Higuchi desarrollo la primera máquina de comprimir tabletas en donde a través de galgas pudo medir las fuerzas que existían en el punzón superior, inferior y matriz durante el ciclo de compresión de un compuesto. (Artalejo, 1995) Los resultados de esta medición se pueden apreciar en la siguiente figura:

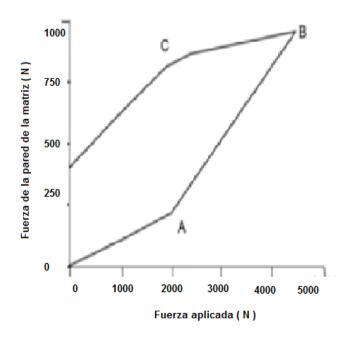


Figura 4. Fuerzas durante el ciclo de compresión (Artalejo, 1995)

- A: Es el punto del límite de deformación elástica del material sometido a compresión.
- **B:** Este punto corresponde al dwell time.
- **C**: Punto en donde el punzón deja de ejercer presión y el comprimido se expande.

La fuerza de compresión ejercida para elaborar una pastilla puede variar dependiendo el tipo de formulación que se va comprimir, así como también a las propiedades físicas (forma, diámetro, espesor) de la pastilla, también puede depender del tipo de máquina a usar.

Según (Sánchez, Iraizoz, Almirall, Jordán y Uribarri, 1995) en su artículo sobre la Influencia de la fuerza de compresión para la elaboración de comprimidos de bisacodilo de 6,4mm de diámetro, cuando se aplicaron fuerzas de compresión superiores a 8,06 KN se afectaron algunas características del principio activo, siendo el rango óptimo de fuerza aplicable de 1,33 a 8,06 KN.

Por otra parte según Guerra (2014) en su trabajo de titulación sobre la elaboración de cubos de panela comprimida, se aplicó una fuerza de 1,8 KN logrando así formar cubos de panela de 20mm de arista de forma óptima.

2.1.3 MÁQUINAS TABLETEADORA

En la industria farmacéutica para la elaboración de comprimidos se necesita maquinaria especializada para todo el proceso, del cual la industria confitera ha adaptado algunas entre ellas las maquinas tabletadoras las cuales esta destinas a la elaboración de caramelos tipo pastilla ya que este tipo de maquina permite comprimir diferentes tipos de polvos y compuestos, los cuales son preparados con métodos similares a los que se utilizan en la industria farmacéutica.

Las máquinas tabletadoras tienen como función comprimir, dar forma y dureza a los compuestos, mediante la aplicación de una fuerza de compresión (Montalvo, 1990)

En 1843 el inglés Brockedon creó la primera máquina de comprimir sin embargo en 1869, en Estados Unidos, el inventor Dunton, patentó una máquina similar a la de Brockedon la cual tenía ciertas mejoras. Entre 1947 y 1949 la empresa F. J. Stokes Machine Company, fabricó una máquina de comprimir excéntrica la cual tenía un funcionamiento manual sin embargo a

inicios de 1950 se incorporó elementos electrónicos dando paso a la automatización de este tipo de máquinas. (Forner, Salazar, 1999)

Actualmente existen diferentes tipos de máquinas tabletadoras las cuales según (Montalvo, 1990) se clasifican en:

- Tabletadoras manuales
- Tabletadoras neumáticas e hidráulicas
- Tabletadoras rotatorias
- Tabletadoras excéntricas

2.1.3.1 Tabletadoras manuales

Las tabletadoras manuales son el tipo de compresoras más sencillas ya que todo su funcionalidad depende de mecanismos que son activados manualmente, la aplicación de la fuerza proviene del movimiento de una palanca manual la cual desplaza un punzón superior hacia la matriz donde se encuentra el compuesto a comprimir, así mismo posee de otras palancas para el punzón inferior y para la tolva, este tipo de máquinas se utiliza para comprimir pastillas en pequeñas cantidades y con compuestos simples. (Artalejo, 1995)

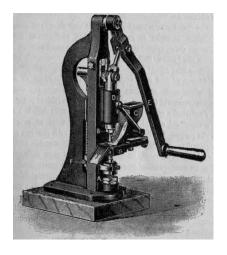


Figura 5. Tabletadora manual "eureka" (Chestofbooks, 2007)

2.1.3.2 Tabletadoras neumáticas e hidráulicas

Las tabletadoras neumáticas son el tipo de compresoras cuya funcionalidad depende del uso de un sistema neumático o hidráulico, este sistema permite desplazar el punzón superior hacia la matriz de esta forma comprimir el compuesto este tipo de máquina se lo utiliza para la investigación y desarrollo de nuevos productos debido a su amplia capacidad de compresión. Esté tipo maquina no es utilizado para grandes producciones. (Natoli, 2010)



Figura 6.Tabletadora neumática Natoli "NP-RD10" (Natoli, 2010)

2.1.3.3Tabletadoras rotatorias

Las tabletadoras rotativas son el tipo de compresoras cuya funcionalidad depende, de sistemas hidráulicos y de motores eléctricos los cuales permiten el movimiento rotativo de un sistema de punzones giratorios los cuales comprimen en una matriz rotativa que contiene varias cavidades de compresión estas máquinas son diseñada para altas velocidades de compresión.

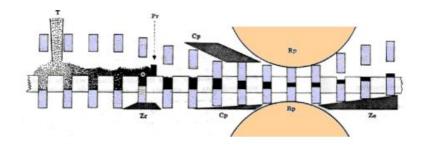


Figura 7. Sistema de compresión tabletadoras rotativas (Palomino, 2010)

Este tipo de máquinas es el más utilizado en plantas de producción farmacéutica debido a sus altas fuerzas de compresión que varían de 3 a 6 toneladas dependiendo el modelo así mismo este tipo de máquinas permite producir a cantidades industriales de pastillas de cualquier tipo de compuesto y de diversas formas y dimensiones. (Forner, Salazar, 1999)



Figura 8. Tabletadora rotativa Natoli "NP-200" (Natoli, 2010)

2.1.3.4 Tabletadoras excéntrica

Las máquinas compresoras excéntricas reciben su nombre por tener una leva que mueve el punzón superior la cual está unida directamente a una

pieza excéntrica, que trasforma el movimiento rotatorio del motor, este tipo de maquinaria se caracteriza por poseer una sola matriz, y un juego de punzones superior e inferior los cuales permite comprimir. (Palomino, 2010)

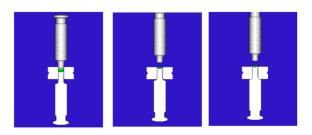


Figura 9. Sistema de compresión tabletadoras excéntricas (Palomino, 2010)

Debido a esto, este tipo de máquinas tiene una producción mediana de 30 hasta 200 comprimidos por minuto, este tipo de máquinas es utilizado en la industria farmacéutica y confitera a nivel de microempresa y a nivel investigativo similar a la manual e hidráulica. (Palomino, 2010)



Figura 10. Tabletadora excéntrica Emjuvi "MAP" (Emjuvi, 2012)

2.1.3.5 Partes de las tabletadoras

Una máquina tabletadora está compuesta generalmente por algunas partes dependiendo el tipo, según (F.F.B, 1995) las más importantes son las siguientes:

- Punzones, inferior y superior.
- Matriz o molde.
- Tolva de alimentación.

2.1.3.5.1 Punzones

Los punzones son elementos que trasmiten la fuerza de compresión al compuesto dándole la forma a la pastilla, por tal motivo es un elemento muy importante en la elaboración de pastillas, según (Palomino, 2010) los punzones son los elementos que más desgaste sufren en el ciclo de compresión por tal motivo el mal estado de un punzón con lleva a la deformación en una pastilla, los punzones tienen formas, longitudes y diámetros variables dependido el comprimido a formar.



Figura 11. Punzones de diferentes tipos de formas (Natoli, 2010)

Existen algunas formas en cuanto a la superficie del punzón lo cual da la forma al comprimido, entre los principales se pueden mencionar: planas, cóncavo, convexo, biselado, esférico entre otros.

Cabe destacar que en una maquina tabletadora se pueden trabajar con algunos punzones dependiendo el tipo de máquina, no es conveniente usar un multipunzón de elevados punzones en una compresora excéntrica ya que puede tener una relación directa con la potencia de la maquina (F.F.B, 1995)



Figura 12. Multipunzon (Natoli, 2010)

2.1.3.5.2 Matriz

La matriz o cámara de compresión es un elemento que permite moldear los compuestos a comprimir, por tal motivo al igual que los punzones son un elemento muy importante para la elaboración de una pastilla, generalmente son de acero resistentes, la matriz consta de una perforación, pasante que debe ensamblar exactamente con los punzones. (Palomino, 2010)



Figura 13. Matrices de diferentes formas (Natoli, 2010)

Generalmente la matriz tiene un ancho de 1 a 2 cm lo cual dependerá de la capacidad de alojamiento deseado así mismo esto puede conllevar a una relación con el espesor del comprimido. (F.F.B, 1995)

2.1.3.5.3 Tolva de alimentación.

La tolva es un elemento móvil que permite almacenar compuesto y a su vez alimentar a la matriz, que generalmente son elaborados de acero inoxidable debido a que almacenan productos alimenticios. (Palomino, 2010)



Figura 14. Matrices de diferentes formas (Natoli, 2010)

La tolva se encuentra generalmente asentada sobre la base que contiene la matriz, mediante un movimiento circular o de vaivén empuja el comprimido terminado, sacándolo a un canal de caída así mismo al pasar por la matriz deposita en la cavidad una cantidad de compuesto para ser comprimido, terminando así el ciclo de compresión. (Palomino, 2010)

2.1.4 DISEÑO DE ELEMENTOS DE UNA MÁQUINA

Al diseño se lo puede definir como un proceso en el cual se escogen y analizan los mejores métodos, herramientas, materiales, para la búsqueda de una solución en cualquier campo, en ingeniería es necesario que el diseño sea practicó, seguro y adecuado sin embargo existen factores que pueden afectarlo, en la siguiente parte se describirán todos los factores que intervienen en el diseño.

2.1.4.1 Esfuerzos y deformaciones

En el diseño de máquinas es muy importante la seguridad de los componentes y sistemas que se vaya diseñar, existen muchos factores que pueden afectar la seguridad, sin embargo uno de los aspectos más complicados y que más pueden alterar el diseño son los esfuerzos a los que están sometidos los elementos de la máquina. (Hamrock, Jacobson, Schmid, 2002)

Según (Mott, 2006) un esfuerzo (σ) es la resistencia interna que entrega una unidad de área de un material contra una carga externa aplicada, siendo positivas en tensión y negativos en compresión, las unidades vienen dadas en psi o Pa, cuando se aplica una carga uniformemente distribuida en su área trasversal se lo calcula con la fórmula del esfuerzo directo para cagas axiales.

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{1.1}$$

Esfuerzo cortante directo (τ) .Este tipo de esfuerzo se produce cuando se aplica una fuerza y esta tiende a cortar al elemento (Mott, 2006)

$$\tau = \frac{F}{A} \tag{1.2}$$

Dónde:

F: Fuerza de corte

A: Área al corte

Esfuerzo debido a flexión. Este tipo de esfuerzo se produce cuando se aplica una fuerza respecto a un punto dado, produciendo así un momento (Mf) este tiende a flexionar al elemento. Las vigas son elementos que generalmente están diseñadas para trabajar en flexión. (Norton, 2009)

$$\sigma = \frac{Mf}{S} \tag{1.3}$$

Dónde:

Mf: Momento flector

S: Módulo de sección

Esfuerzo debido a torsión. Este tipo de esfuerzo se produce cuando se aplica un momento torsional (T) que hace que un elemento tienda a retorcerse sobre su eje central, este esfuerzo provoca un esfuerzo cortante en el elemento, generalmente están sometidos a esfuerzos de torsión los ejes, las manivelas, cigüeñales (Mott, 2006) para calcular el esfuerzo cortante torsional se aplica la siguiente formula:

$$\tau = \frac{\mathbf{T} \times \mathbf{c}}{J} \tag{1.4}$$

Dónde:

T: Momento Torsional

c: Radio de la superficie externa

J: Momento polar de inercia

2.1.4.2 Concentración esfuerzos

En los esfuerzos descritos anteriormente se ha supuesto que las superficies eran uniforme en toda la sección, sin embargo en el diseño de máquinas generalmente es necesario que las superficies sean variables, por ejemplo cuando es necesario emplear cuñas, chaflanes, ranuras, orificios. Esto hace que el esfuerzo que se calcula de forma simple sea menor al esfuerzo real cuando se aplica un factor de concentración de esfuerzos (k_t), sin embrago cabe destacar que este factor varía de acuerdo al tipo de deformación a emplear. (Faires, 2001)

2.1.4.3 Tipos de carga y relación esfuerzos

Cuando un elemento de una máquina se somete a una carga es muy importante considerar factores que son capaces de variar el diseño del elemento, estos factores son la variación de carga y variación del esfuerzo en función del tiempo, según (Mott, 2006) las variaciones de esfuerzos se caracterizan en valores claves:

- Esfuerzo máximo (σ_{max})
- Esfuerzo mínimo (σ_{min})
- Esfuerzo medio (σ_m)
- Esfuerzo alternativo (σ_a)

En donde para calcular los esfuerzos máximos y mínimos se necesita la información conocida en el diseño, mientras que según (Mott, 2006) el esfuerzo medio y alterno se lo calcula de la siguiente manera:

$$\sigma m = \frac{\sigma max + \sigma min}{2}$$
 [1.5]

$$\sigma a = \frac{\sigma max - \sigma min}{2}$$
 [1.6]

Como se mencionó anteriormente otro factor es la variación del esfuerzo en función del tiempo, entre los principales tenemos:

- Esfuerzo estático: Este tipo de esfuerzo ocurre cuando se somete a un elemento a una carga y esta permanece constante. (Faires, 2001)
- Esfuerzo repetido e invertido: Este tipo de esfuerzo ocurre cuando un elemento es sometido a un número de cargas cíclicas de tensión, y de compresión. (Faires, 2001)
- Esfuerzo fluctuante: Este tipo de esfuerzo ocurre cuando aún elemento se le aplica una carga que varía con el tiempo generando un esfuerzo promedio distinto a cero (Norton, 2009)

2.1.4.4 Resistencia a la fatiga (Sn)

La mayoría de fallas que tiene un elemento en una máquina, es en la aplicación de cargas cíclicas que varían en el tiempo, de acuerdo a (Mott, 2006) la fatiga es la cantidad de esfuerzos que puede soportar un elemento en una cantidad de ciclos determinado, la resistencia a la fatiga puede variar acorde al material, sin embargo hay ocasiones que no es tan sencillo encontrar este dato en todos los materiales, por tal motivo según (Mott, 2006) en el test de fatiga de R.R More surgieron aproximaciones las cuales variaban en función de la resistencia a la tensión(Su), la aproximación obtenida en el test fue la siguiente:

$$Sn = 0, 5 \times Su$$
 [1.7]

2.1.4.4.1 Resistencia a la fatiga real (S'n)

Siempre en una máquina un elemento esta propenso a condiciones reales, las cuales pueden ser distintas con las que se determinó a la resistencia a la fatiga, sin embrago existen factores que logran disminuir esta resistencia, estos factores permiten estimar la resistencia real a la fatiga y según (Hamrock, Jacobson, Schmid, 2002) son los siguientes:

• Factores de material (*Cm*)

Tabla 5. Factores de material

Material	Factor
Acero forjado	1
Acero colado	0,80
Acero pulverizado	0,76
Hierro colado maleable	0,80
Hierro colado gris Hierro colado dúctil	0,7 0,66

(Mott, 2006)

• Factor de tipo de esfuerzo (Cst)

Tabla 6. Factores de tipo de esfuerzo

Esfuerzo	Factor
Para esfuerzo flexionante	1
Para tensión axial	0,8

(Mott, 2006)

• Factor de confiabilidad (*Cr*)

Tabla 7. Factores de confiabilidad

Confiabilidad	Factor
50%	1
90%	0,9
99%	0,81
99,90%	0,75

(Mott, 2006)

• Factor de tamaño (*Cs*)

Tabla 8. Factores de tamaño

Rango de tamaño (mm)	Factores
D ≤ 7,62	1
$7,62 < D \le 50$	$(D/7,62)^{-0,11}$
50 < D < 50	0,859 - 0,000837 <i>D</i>

(Mott, 2006)

Tomando en cuenta estos factores según (Hamrock, Jacobson, Schmid, 2002) para calcular el factor de fatiga real se aplica la siguiente formula:

$$S'n = Sn \times Cm \times Cst \times Cr \times Cs$$
 [1.8]

2.1.4.5 Factor de diseño

Este factor se lo puede denominar como una unidad de seguridad relativa de un elemento que es sometido a carga, este factor es aplicado según el caso ya sea a la resistencia del material como a las cargas que se aplican en un elemento, así mismo se usa un factor diseño diferente dependiendo el tipo de elemento. (Hamrock, Jacobson, Schmid, 2002)

2.1.4.6 Predicción de falla

Durante el diseño de una máquina se deben tomar en cuenta que pueden existir fallas en algún elemento que están bajo cargas, dentro los factores que generalmente pueden incurrir en estas fallas puede ser el tipo carga, el material, e incluso el mal análisis realizado para diseño, para evitar y garantizar que alguna falla ocurra existen algunos métodos que permiten evitarlos y según (Norton, 2009) son los siguientes:

- Esfuerzo normal máximo: Se lo emplea cuando hay esfuerzos estáticos uniaxial en materiales frágiles
- Mohr modificado: Se lo emplea cuando hay esfuerzo biaxiales en materiales frágiles
- Resistencia a la fluencia: Se lo emplea cuando hay esfuerzos estáticos uniaxial en materiales dúctiles
- Esfuerzo cortante: Se lo emplea cuando hay esfuerzos biaxiales en materiales dúctiles
- Energía de distorsión: Se lo emplea cuando hay esfuerzos biaxiales,
 triaxiales en materiales dúctiles
- Goodman: Se lo emplea cuando hay esfuerzo fluctuantes en materiales dúctiles
- Gerber: Se lo emplea cuando hay esfuerzo fluctuantes en materiales dúctiles

• **Soberberg:** Se lo emplea cuando hay esfuerzo fluctuantes en materiales dúctiles

2.1.4.6.1 Método de Goodman

El método de Goodman se lo emplea cuando un elemento es sometido a esfuerzos fluctuantes es decir que este se somete a esfuerzos promedio diferente a cero.

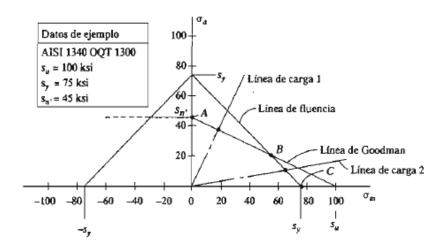


Figura 15. Diagrama de Goodman para materiales dúctiles (Mott, 2006)

En la Figura.15 se puede observar una recta trazada desde la resistencia real estimada (S'n) del material en el eje horizontal esta recta es un punto de referencia en el cual según (Mott, 2006) la combinación de esfuerzo medio y de esfuerzo alternativo que se encuentren arriba de la línea indica la posible falla mientras que las que están abajo indican que no habrá falla por fatiga, sin embargo para representar un esfuerzo más seguro se introduce un factor de diseño, así como también un factor de concentración de esfuerzos teniendo como ecuación de Goodman la siguiente:

$$\frac{1}{N} = \frac{(k_t)\sigma m}{Su} + \frac{\sigma a}{S'n}$$
 [1.9]

Dónde:

N: Factor de diseño

Kt: Factor de concentración de esfuerzos

Su: Resistencia a la tensión

Sy: Resistencia a la fluencia

Cabe mencionar que el método de Goodman también se puede aplicar en elementos que son sometidos a esfuerzos cortantes fluctuantes, la ecuación seria la siguiente:

$$\frac{1}{N} = \frac{\tau m}{Ssu} + \frac{(k_t)\tau a}{S'sn}$$
 [1.10]

Los datos sobre la resistencia al cortante suelen ser complicadas de obtener, sin embargo según (Mott, 2006) se pueden manejar datos estimados como:

$$Ssu = 0.75 \times Su$$
 [1.11]

$$S'sn = 0,577 \times S'n$$
 [1.12]

Dónde:

Ssu: Resistencia en cortante real

S'sn: Resistencia a la fatiga en cortante real

2.1.5 ELEMENTOS DE UNA MÁQUINA

2.1.5.1Columna

La columna es un elemento estructural que está diseñado para soportar cargas axiales de compresión y según (Hamrock, Jacobson, Schmid, 2002) esta no tiende a fallar por aplastamiento si no por inestabilidad elástica o pandeo, lo cual se da dependiendo de a su longitud, forma de fijación y a su sección trasversal, la columna tiende a pandear con respecto a su radio de giro (r) y momento de inercia (I)

Como se mencionó anteriormente una columna tiende a pandear dependiendo a la forma de fijación, esto se refiere a la forma en que se soportan los extremos de la misma.

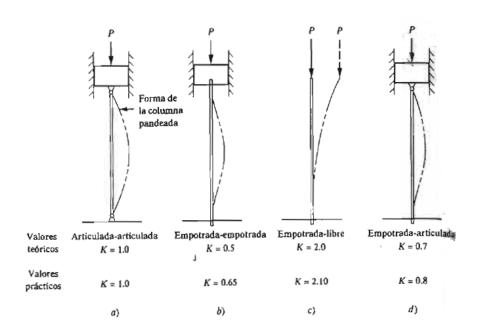


Figura 16. Valores de k para diferentes tipos de fijación (Mott, 2006)

La columna también puede fallar por el largo por lo cual existe un factor que determina si la columna es corta o larga se lo denomina relación de esbeltez y cuya fórmula según (Norton, 2009) es:

$$\frac{\mathbf{k} \times \mathbf{L}}{\mathbf{r}} \tag{1.13}$$

Dónde

k: Constante dependiendo forma de fijación

L: Longitud de la columna

r: Radio de giro

Para determinar si una columna es larga o corta (Mott, 2006) menciona que depende del valor de la relación de esbeltez comparado con la constante de columna (Cc):

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{Sy}}$$
 [1.14]

Teniendo en cuenta que cuando la relación de esbeltez es < cc la columna es corta mientras que si la relación de esbeltez es > cc la columna es larga.

2.1.5.1.1Columna corta

Para determinar la carga crítica de pandeo que puede soportar una columna corta según (Hamrock, Jacobson, Schmid, 2002) se aplica la fórmula de J.B. Johnson la cual es la siguiente:

$$Pcr = A \times Sy \times \left[1 - \frac{Sy \times \left(\frac{k \times L}{r}\right)^{2}}{4 \times \pi^{2} \times E}\right]$$
 [1.15]

Dónde

Pcr: Carga crítica de pandeo

E: Módulo de la elasticidad del material

Sy: Resistencia a la fluencia

2.1.5.1.2 Columnas larga

Para determinar la carga crítica de pandeo que puede soportar una columna larga según (Faires, 2001) se aplica la fórmula de Euler la cual es la siguiente:

$$Pcr = \frac{\pi^2 \times E \times A}{\left(\frac{k \times L}{r}\right)^2}$$
 [1.16]

2.1.5.2 Eje

Un eje es un elemento rotatorio, el cual tiene una sección transversal circular mucho más pequeña en el diámetro que en su longitud, este tipo de elemento se lo emplea para trasmitir movimiento rotario y potencia de un motor, generalmente en un eje van montados elementos que trasmiten de potencia, como poleas, levas engranajes, volantes entre otros, según (Nieto, 2007) estos elementos exponen al eje a diferentes tipos de carga como flexión, torsión, axial, entre otros.

Uno de los factores más importante y comunes en el diseño de ejes es la flexión y torsión, ya que estos son generados por elementos comunes en el diseño, por ejemplo un motor que trasmite potencia causa la torsión en el eje mientras que los elementos comunes que van montados causan flexión.

Tomando en cuenta esto (Mott, 2006) plantea una ecuación de diseño para ejes que son sometidos a este tipo de cargas esta ecuación plante la

hipótesis que sobre el eje hay esfuerzos flexionante invertidos repetidos y esfuerzos cortantes torsionales constantes planteando de esta forma la siguiente ecuación:

$$D = \left[\frac{32 \times N}{\pi} \times \sqrt{\left(\frac{k_t \times Mf}{S'n}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{Sy}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$
 [1.17]

Dónde:

kt: Factor de concentración de esfuerzos

N: Factor de diseño

Mf: Momento flector

T: Momento torsional

Sin embargo en algunos casos, un eje puede ser sometido solo a esfuerzos cortantes en una posición especifica dentro de su superficie, como por ejemplo cuando un rodamiento soporta los extremos de un eje, en este caso (Mott, 2006) plantea una ecuación para diseñar ejes que son sometidos a esfuerzo cortantes verticales.

$$D = \sqrt{\frac{2,94 \times k_t \times V \times N}{S'n}}$$
 [1.18]

Donde

V: Fuerza cortante

2.1.5.3 Rodamientos

Los rodamientos son elementos mecánicos que generalmente se usan en aplicaciones que existe rotación estos elementos son muy importantes ya que permiten la reducción de la fricción entre un eje y los elementos conectados a él, ya sean engranes, poleas, entre otros (Shigley, 2002)

Según (NTN, 2004) los rodamientos se clasifican en dos categorías principales rodamientos de bolas y rodamientos de rodillos sin embargo también se pueden clasificar en función de:

- La geometría de los elementos rodantes: Bolas, rodillos cilíndricos, rodillos esféricos, rodillos cónicos, agujas, etc.
- Las cargas a las que están sometidos: Axial, radial, lineal o combinada.

2.1.5.3.1 Rodamientos de bolas

Los rodamientos de bolas generalmente son los elementos rodantes más usados en el diseño, según (NTN, 2004) se aplican cuando su carga es principalmente radial.

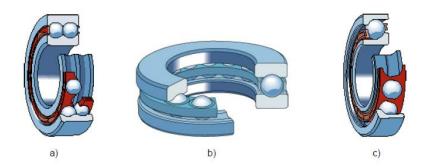


Figura 17. Rodamientos a bolas. a) Radial de dos hileras, b) axial y c) de contacto angular

(Nieto, 2007)

2.1.5.3.2 Rodamientos de rodillos

Este tipo de rodamientos se los utiliza generalmente para cargas radiales, cabe destacar que según (NTN, 2004) este tipo de rodamiento se utiliza cuando se necesita proporcionar una mayor capacidad de carga en el elemento.

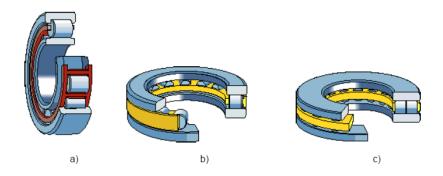


Figura 18. Rodamientos a rodillos cilíndricos. a) Radial, b) axial y c) axial de dos hileras

(Nieto, 2007)

2.1.5.4 Cuñas

La cuña es una elementó cuya función consiste en trasmitir el movimiento entre el eje y el elemento de trasmisión de potencia conectado a través de él lo cual permite que se transmita el par de torsión. (Nieto, 2007)

Este elemento también tiene una función importante ya que actúa como un sistema de seguridad. Generalmente el tamaño de una cuña depende de la velocidad de operación de las maquinas así como del par torsional sin embargo cuando existe un cambio en las condiciones de carga, la cuña tiende a fallar por cortante antes de que falle el eje o el elemento de máquina (Nieto, 2007), las cuñas al ser baratas y ser fácilmente remplazadas son usadas para proteger a los elementos más costos de una máquina.

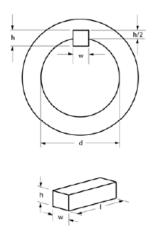


Figura 19. Cuña, h: altura, w; ancho, l; longitud (Nieto, 2007)

2.1.5.5 Anillos de retención

Este elemento es común en un maquina ya que su objetivo es evitar el movimiento axial de una elemento conectado a un eje (Mott, 2006) estos elementos se instalan en ranuras o cajas, dependiendo del tipo de anillo que se utilice externo o interno, sin embargo existen gran variedad de estos elementos que depende de la capacidad de empuje, altura, entre otros, existe una gran variedad de catálogos de fabricantes que contiene las características más importantes para su instalación.

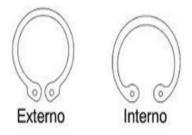


Figura 20. Anillos de retención (Nieto, 2007)

2.1.6 ACERO

El acero según (Giraldo, 2009) es una mezcla de hierro Fe con carbono C que al unirse con un porcentaje menor al 0.2% de carbono procede a llamarse acero, mientras que si el contenido de carbono es mayor al 0.2% se denomina aleación. (Giraldo, 2009)

El acero desde sus inicios ha sido un material de gran trascendencia en la vida del ser humano ya que este lo aplicado en herramientas o accesorios, siendo moldeable a nuestras necesidades y gustos.

Según (Giraldo, 2009) existen muchos tipos de acero y se clasifican de la siguiente manera:

- Aceros estructurales al carbono.
- ✓ Extra-dulces 0.00-0.15%C
- ✓ Dulce 0.15-0.30%C
- ✓ Medio-duce 0.30-0.40%C
- ✓ Medio-duro 0.40-0.60%C
- Aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación.
- ✓ Aceros micro-aleados.
- Aceros al carbono para herramientas y matrices.
- ✓ Tenaces 0.5-0.7%C
- ✓ Duros resistentes al desgaste y tenaces, 0.7-1.0%C
- ✓ Alta dureza y baja tenacidad 1.0-1.4%C
- Aceros aleados para herramientas y para matrices.
- ✓ Aceros para trabajo e frio o indeformable
- ✓ Acero resistente al impacto
- √ Aceros rápidos
- ✓ Aceros para trabajo en caliente
- Aceros para usos especiales
- ✓ Inoxidables
- √ Resistentes a la oxidación a alta temperatura

- ✓ Resistentes al desgaste
- ✓ Para muelles
- ✓ Para usos eléctricos y magnéticos

Cabe mencionar en que el país no existe una gran variedad de aceros ni de formas, entre los aceros principales podemos destacar los siguientes;

- Acero de inoxidable AISI 304: Se lo utiliza para, equipos de procesamiento de alimentos, intercambiadores de calor, contenedores de productos químicos, se lo pueden encontrar en forma, planchas, ejes, ángulos, tubos redondos, y rectangulares. (DIPAC, 2011)
- Acero bonificado AISI 705: Se utiliza en componentes de maquinaria sometidos a grandes esfuerzos como, cuñas, rodillos, piñones, pasadores, tornillos, se lo puede encontrar en secciones circulares. (DIPAC, 2011)
- Acero de trasmisión AISI 1018: Se utiliza también en componentes de maquinaria debido a su facilidad para maquinarlo y soldarlo se lo puede encontrar en secciones circulares. (DIPAC, 2011)
- Acero ASTM A 36: Se utiliza para construcción de puentes y edificios, y para propósitos estructurales en general, se lo puede encontrar en secciones rectangulares. (DIPAC, 2011)

2.1.7 DURALÓN

El Duralón es un polímero de Nylon que tiene una gran cristalinidad y elevado peso molecular, es un material que tiene buenas características físicas y mecánicas, lo cual le hace un material maquinable, por tener alta resistencia mecánica, alta resistencia a la compresión y buena dureza superficial, permitiendo así que sea un buen remplazo a muchos materiales tradicionales como el bronce, aluminio, hierro, entre otros. (Kohan, 2003)

Generalmente en el país se lo encuentra en forma de ejes de diferentes diámetros, así como en planchas de varios espesores.

2.1.8 MOTOR

El motor es una máquina muy utilizada en la industria principalmente fueron diseñados para producir movimiento transformando algún tipo de energía (Hughes, 2006) existen algunos tipos de motores entre los principales:

- Motores térmicos
- Motores de combustión interna:
- Motores de combustión externa
- Motores eléctricos

2.1.8.1 Motores eléctricos

Los motores eléctricos son máquinas que transforman la energía eléctrica en energía mecánica o viceversa, los cuales basan su funcionamiento en principios de electromagnetismo, a través de las corrientes que circulan por conductores situados en un campo magnético que generan una fuerza mecánica. (Hughes, 2006). Los motores eléctricos se pueden clasificar según; modo de uso, tipo de corriente que demandan y algunas características de tipo mecánico, según (Castillo, Marrufo, 2012) se dividen en:

- Motores de corriente continúa
- Motores de corriente alterna:
 - ✓ Motores monofásicos
 - ✓ Motores trifásicos

2.1.8.1.1 Motores de corriente continua

Según (Fitzgerald, 2007) este tipo de motores basan su funcionamiento en los principios de fuerza electromagnética y de fuerza electromotriz inducida. Para llevar a cabo estos principios, los motores de corriente continua constan de:

- Inductor: Su fusión es crear el campo magnético el cual se encuentra alojado en la parte fija del motor, (Fitzgerald, 2007)
- Inducido: Tiene como misión crear campos magnéticos que se opongan a los del motor. (Fitzgerald, 2007)

2.1.8.1.2 Motores de corriente alterna

El principio de funcionamiento se basa en el campo magnético giratorio que crea una corriente alterna, su principio de funcionamiento es similar al de corriente alterna con la diferencia que tanto el inductor como el inducido tienen ranuras donde va introducido un bobinado trifásico formado por tres bobinados monofásicos exactamente iguales. (Castillo, Marrufo, 2012)

2.1.8.1.2.1 Motores trifásicos

En este tipo de motores el bobinado inductor está colocado en el estator el cual está formado por tres bobinados independientes desplazados 120º eléctricos entre sí y alimentados por tres conductores activos R, S y T (Chapman, 2012)

Según (Castillo, Marrufo, 2012) el bobinado trifásico se puede conectar de dos formas estrella y triángulo. En la conexión estrella todos los finales van conectados en un punto común, alimentando el sistema por los otros extremos libres, mientras que la conexión triángulo el final de cada fase va conectado al principio de la fase siguiente, alimentando el sistema por los puntos de unión como se puede apreciar en la figura:

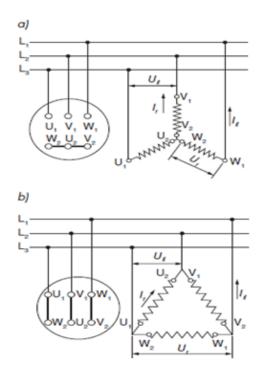


Figura 21. Conexiones en los bobinados trifásicos: a) conexión estrella y b) conexión triángulo.

(Castillo, Marrufo, 2012)

Cabe destacar que al usar cualquiera de las dos conexiones, tanto la potencia, como el par del motor y la velocidad, permanecen invariables, este dos tipos de conexiones se las realiza generalmente sobre la placa de bornes mediante puentes.

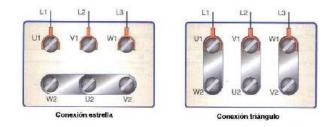


Figura 22. Colocación de puentes para conectar el motor trifásico en estrella o en triángulo

(Castillo, Marrufo, 2012)

2.1.9 REDUCTOR DE VELOCIDAD

Los reductores de velocidad son elementos mecánicos necesarios cuando la velocidad del motor es muy elevada y se requiere una velocidad adecuada para las máquinas o componentes. Estos elementos permiten controlar en algunos casos no solo la velocidad sino también la potencia. En algunas, maquinas se utiliza diferentes tipos de reductores como: poleas, trenes de engranes catalinas, motoreductores entre otros (Chapman, 2012)



Figura 23. Motorreductor modular (Sumitomo, 2014)

2.1.10 VARIADOR DE FRECUENCIA

Con el paso del tiempo los motores eléctricos han sido elementos muy utilizados en la industria por tal motivo se ha ido innovando nuevas técnicas de maniobras de control y de protección, unos de los objetivos que pretendía el control del motor era regular la velocidad sin embargo siempre existió dificultad al momento de usar motores a velocidades variables sin disminuir su eficacia, con la aparición de nuevos elementos esto empezó a quedar atrás y el uso de elementos convertidores de frecuencia para variar la velocidad se ha ido generalizando, a estos elementos se les denomina variadores de frecuencia VDF (Álvarez, 2000). Un variador de frecuencia es un dispositivo que permite transformar una tensión fija con frecuencia

constante a una tensión variable con frecuencia variable, lo cual permite variar la velocidad de un motor, este tipo de elementos van conectados entre la red y el motor (Álvarez, 2000)

El variador de frecuencia también permite tener tiempos de aceleración y retardo ajustables así como en ciertos modelos también permite tener una protección eléctrica contra sobre cargas de corriente. (FLUKE, 2002)

2.1.10.1 Funcionamiento el variador de frecuencia

El funcionamiento de un variador de frecuencia empieza cuando al equipo se le alimenta con un voltaje de corriente alterna el cual es convertido en corriente continua por medio de un puente rectificador, o convertidor este voltaje es filtrado reduciendo así la emisión de variaciones en la señal, posteriormente en la etapa de inversión compuesta por transistores se envían pulsos para generar una frecuencia constante, y cuyo valor promedio tiene la forma de onda senoidal que posteriormente es aplicada en el motor. (Álvarez, 2000)

Finalmente los circuitos de control temporizan la conmutación de los circuitos transportando datos al panel de control del operador.(FLUKE, 2002)

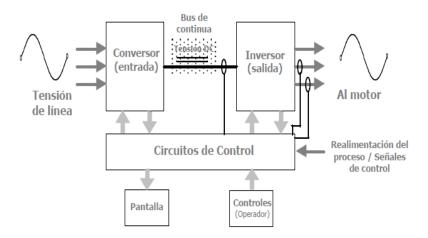


Figura 24. Funcionamiento de un Variador de frecuencia (FLUKE, 2002)

2.1.11 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES PLC

Actualmente en la industria hay procesos automáticos en cada una de sus líneas de producción las cuales se encuentran provistas de modernos dispositivos electrónicos en sus máquinas y procesos de control, cuyo fin es el proporcionar en sus sistemas, alta confiabilidad, gran eficiencia y flexibilidad. Uno de los elementos principales de este tipo de automatización es un dispositivo electrónico llamado Controlador Lógico Programable.

"Los Controladores Lógicos Programables, comúnmente llamados PLC, ofrecen muchas ventajas sobre otros dispositivos de control tales como relevadores, temporizadores electrónicos, contadores y controles mecánicos como del tipo tambor". (Bolton, 2006)

2.1.11.1 Campos de aplicación del PLC

EL PLC debido a sus características posee un campo de aplicación muy extenso, debido a la constante evolución del Hardware y Software esto ha permitido satisfacer las necesidades que se detectan en diferentes procesos e industrias (Milán, 1998)

Generalmente los PLC son empleados en aquellas instalaciones en donde es necesario realizar procesos de maniobra, control, señalización, de tal manera que su aplicación abarca desde procesos de fabricación industrial hasta transformaciones industriales, y control de instalaciones. (Milán, 1998)

Las características de un PLC como dimensiones, facilidades de montaje, posibilidad de almacenar, modificación y alteración de programas, hacen que el PLC sea aplicable en lugares pequeños, así como también en maquinaria de procesos variables, o en estalación de procesos amplios y complejos permitiendo así cambios de procesos de producción periódicamente. (Milán, 1998)

2.1.11.2 Estructura de un PLC

Para comprender el funcionamiento de un PLC es necesario distinguir sus partes, las cual según (Milán, 1998) son las siguientes:

- Interface de entrada: Se encarga de adaptar y codificar las señales provenientes de dispositivos utilizados como entradas. (Milán, 1998)
- Interface de salida: Es la encargada de decodificar las señales emitidas por la CPU, para posteriormente enviarlas a dispositivos utilizados como salidas. (Bolton, 2006)
- Unidad Central de Procesos CPU: Es la encargada de ejecutar el programa de control de un proceso procesando y enviar la información a las salidas (Milán, 1998)
- Fuente de Alimentación: Es la encargada de mantener voltajes necesarios para que funcionen los distintos circuitos, la fuente permite mantener los datos en la memoria cuando se produce un corte en el voltaje. (Milán, 1998)

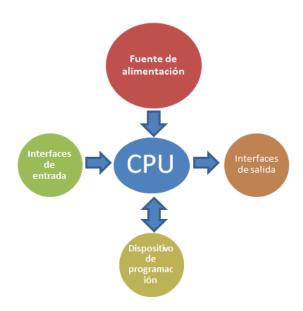


Figura 25. Estructura de un PLC (Milán, 1998)

2.1.11.3 Funcionamiento del PLC

De acuerdo (Vignoni, 2014) el PLC para su funcionamiento depende de etapas o rutinas secuenciales las cuales permite un correcto funcionamiento, estas etapas son las siguientes:

- Etapa de auto diagnóstico e inicialización
- Etapa de procesamiento o ejecución del programa

2.1.11.3.1 Etapa de auto diagnóstico e inicialización

Cuando se enciende un PLC este ejecuta rutinas que verifican ciertos elementos para poder ejecutar el programa elaborado por el usuario, según Vignoni, (2007) son las siguientes:

- Verificación del hardware: En esta rutina el PLC verifica el estado y los errores existentes en algunos elementos como fuente de alimentación, CPU, estado de batería e integridad del programa almacenado en la memoria del PLC. (Vignoni, 2014)
- Inicialización de las imágenes de entrada y salida: En esta etapa es necesario poner en cero las posiciones de las entradas y salida antes de que se actualice el estado. (Vignoni, 2014)
- Inicialización de posiciones de la memoria: En esta etapa se establecen los parámetros iniciales en la memoria, es necesario poner en cero todos los contadores y temporizadores utilizados en el sistema. (Vignoni, 2014)

2.1.11.3.2 Etapa de procesamiento

Una vez concluida la anterior rutina la cual se ejecuta sola una vez, se entra en un proceso cíclico de procesamiento, el cual está constituido por tres pasos (Vignoni, 2014)

- Lectura de las entradas.
- Procesamiento de información, la cual viene dada por la programación hecha por el usuario.
- Modificaciones en las salidas.

El ciclo de escaneo se lo puede definir como tiempo de duración ,cuando este ciclo termina, el PLC inicia uno nuevo partiendo del primer paso ,repitiendo así cíclicamente mientras esté en funcionamiento, así mismo durante este ciclo se ejecutan rutinas de chequeo, y verificación en donde se constata que el programa funcione correctamente caso contrario se detiene. (Milán, 1998)

2.1.11.3.3 Etapa de Ejecución

Posterior a la etapa de procesamiento viene esta etapa en la cual se ejecuta el programa, en donde se pueden presentar las siguientes estructuras de programación (Milán, 1998)

- Ejecución Cíclica Lineal: Ocurre cuando el ciclo de ejecución del programa del usuario se ejecuta línea a línea de forma secuencial. (Milán, 1998)
- Salto Condicional: Ocurre cuando el ciclo de ejecución del programa del usuario permite ir a otras líneas del programa dando saltos dejando líneas sin ejecutar. (Milán, 1998)
- Salto a Subrutina: Ocurre cuando en el programa existen secuencias idénticas, que se repiten muchas veces, permitiendo así escribir una sola vez la secuencia así como también crear una subrutina, la cual puede ser llamada cuando se requiera. (Milán, 1998)
- **Ejecución con Programas Paralelos:** Ocurre cuando se realizan procesos paralelamente, logrando así controlar procesos

completamente diferentes siendo posible usar subrutinas para cada programa en paralelo (Milán, 1998)

2.1.12 SENSORES

Tomando como referencia a (Bolton, 2006) un sensor es un elemento que produce una señal relacionada con la cantidad que se está midiendo. Por ejemplo un sensor de temperatura produce un voltaje que está relacionado con dicho parámetro, a menudo se utiliza el término transductor en vez, de sensor. "Los transductores se definen como el elemento que al someterlo a un cambio físico experimenta un cambio relacionado (Bolton, 2006, pág. 23)

Cabe mencionar que para emplear un sensor se requieren etapas adicionales de acondicionamiento como amplificación y filtraje de la señal.

2.1.12.1 Características de los sensores

Para diseñar un sistema de control se emplean algunos tipos de sensores dependiendo el caso, por tal motivo según (Pallas, 2003)es necesario tomar en cuenta algunas características al momento de elegir el sensor adecuado:

- Tipo de señal que el sensor genera: Los sensores puede generar señales de voltaje, rango de amplitud, respuesta en frecuencia, y precisión necesaria. (Pallas, 2003)
- Calibración del sensor con respecto a la variable física: Es la respuesta que tiene el sensor a los cambios de la variable. (Pallas, 2003)
- Precisión del sensor: Es la capacidad de medir el mismo valor repetidas veces en idénticas condiciones. (Pallas, 2003)
- **Tiempo de respuesta del sensor:** Es el tiempo requerido para responder a un cambio brusco de la variable. (Pallas, 2003)

2.1.12.2 Sensores capacitivos

Este tipo de sensores son muy utilizados en la industria debido a su gran funcionalidad, los sensores capacitivos son aquellos que utilizan un campo eléctrico para detectar objetos en su zona de acción (Kwaśny, Błażejewski, 2005), los sensores capacitivos permiten detectar objetos metálicos como objetos no conductores de corriente como el plástico.



Figura 26. Sensores capacitivos (Rechner, 2003)

Este tipo de sensores permite detectar objetos situados tras una capa de material no conductor, por tal razón los sensores capacitivos generalmente se emplean para detectar líquidos y granulados que se encuentran dentro de una tolva o contenedor, estos sensores generan una señal proporcional a la distancia entre el objeto y el sensor, generalmente la distancia de trabajo de un sensor capacitivo comprende 30 mm dependiendo el tipo de sensor (Kwaśny, Błażejewski, 2005)

Generalmente los sensores capacitivos tienen como estructura principal una cabeza con electrodos, un potenciómetro, un oscilador, un detector y un sistema de salida.

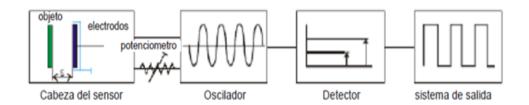


Figura 27. Diagrama de un sensor capacitivo (Kwaśny, Błażejewski, 2005)

Cabe destacar que la capacidad de los sensores capacitivos varía cuando un objeto se aproxima al sensor siendo de esta forma la señal salida es la suma de la capacidad básica del sensor y la variación en la capacidad producida por el objeto detectado. (Kwaśny, Błażejewski, 2005)

2.1.12.2.1 Funcionamiento de un sensor capacitivo

El funcionamiento de un sensor capacitivo se basa en el uso de osciladores, donde la amplitud de oscilación varía cuando se aproxima un objeto entre un electrodo activo y uno puesto a tierra, creando así un campo electrostático disperso, lo cual al ser detectado por el sensor lo trasforma en señal de voltaje siendo la capacidad del sensor dependiente del tipo de objeto a detectar y de su toma de tierra. (Kwaśny, Błażejewski, 2005)

El aumento de capacidad del sensor depende de la constante dieléctrica del objeto, en materiales conductores como el plástico, granulado, vidrio, entre otros la zona de acción es pequeña, mientras que en objetos conductores la zona de acción es mayor, ya que se forman dos condensadores adicionales entre el objeto y el electrodo interno así como entre el objeto y el electrodo externo los cuales se sitúan en serie (Kwaśny, Błażejewski, 2005)

2.1.12.2.2 Ventajas y desventajas

Los sensores capacitivos según (Kwaśny, Błażejewski, 2005) tienen algunas ventajas con respecto a otros sensores entre las principales ventajas podemos mencionar las siguientes:

- Detecta prácticamente todos los materiales.
- No producen campos eléctricos, magnéticos grandes
- Buena confiabilidad.
- No produce el efecto rebote.
- Poco desgaste en los contactos.
- Mayor velocidad de accionamiento que la de los sensores inductivos.

Sin embargo también posee algunas desventajas las principales las siguientes:

- Alta impedancia de salida
- Más caros que los sensores inductivos.
- No poseen una distancia de detección tan grande como los sensores inductivos

2.1.12.2.3 Aplicaciones

Los sensores capacitivos debido a sus grandes características y a su sencillo montaje, son muy utilizados en varias industrias y aplicaciones, a estos sensores se lo utiliza mayoritariamente para:

Controlar el nivel de líquido o granulado en un tanque.

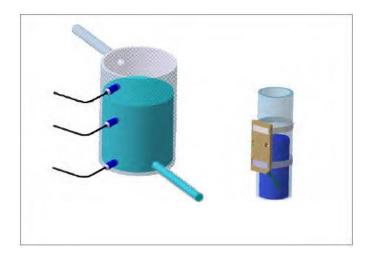


Figura 28. Control del nivel de líquido en un tanque o en una tubería (Kwaśny, Błażejewski, 2005)

• Contar objetos conductores y no conductores

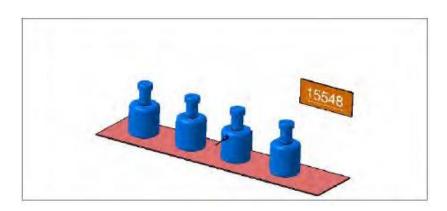


Figura 29. Control del número de recipientes (Kwaśny, Błażejewski, 2005)

• Detectar envases vacíos

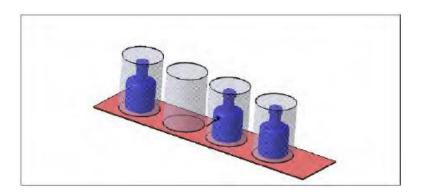
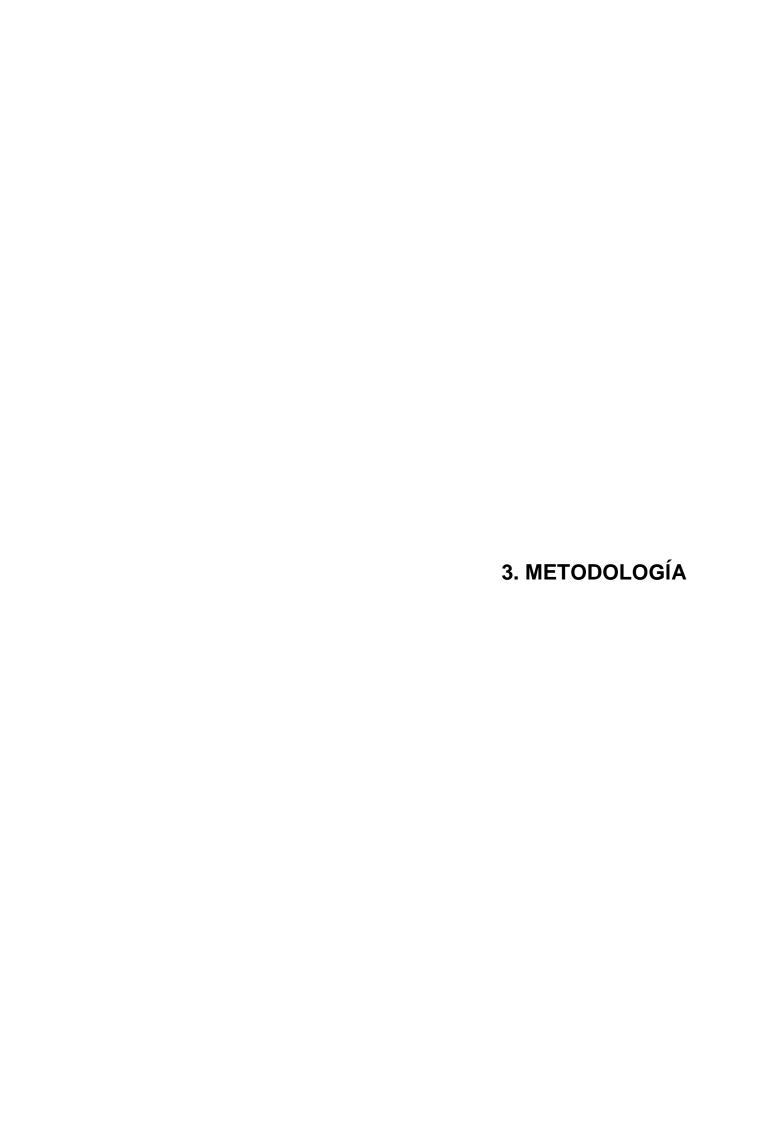


Figura 30. Detección de envases vacíos en la línea de producción (Kwaśny, Błażejewski, 2005)



3.1 METODOLOGÍA MECATRÓNICA

La metodología mecatrónica según Bolton (2006) es empleada para analizar la integración entre sistemas de control, sistemas mecánicos y sistemas eléctricos en el desarrollo de un prototipo, en la metodología mecatrónica es necesario tomar en cuenta los siguientes pasos que se muestra en la Figura 31.

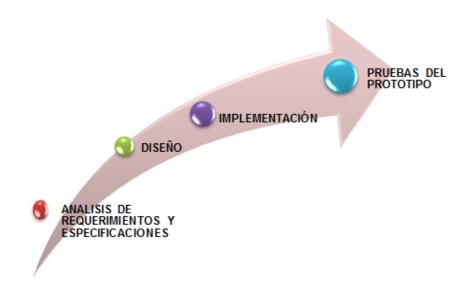


Figura 31. Pasos para el desarrollo de un prototipo

En la fase de análisis de requerimientos se estudian las necesidades de un determinado prototipo, especificando las funciones y características que se desea obtener, posteriormente se realiza un diseño del sistema mecatrónico en el cual se fusionan los aspectos mecánico, electrónico, y control, una vez realizado esta etapa se da paso a la etapa de implementación en donde se elaboran los circuito de interface, las piezas mecánicas y el sistema de control, una vez que estas se encuentran listas se procede con la integración para finalmente realizar las respectivas pruebas de funcionamiento del prototipo.

3.1.1 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

Para la realización del sistema fue necesario tomar en cuenta las características de las pastillas a realizar, así como las características principales del sistema de compresión deseado por la empresa SAJX, estas características son las siguientes;

- Diámetro mínimo de la pastilla 10 mm
- Espesor máximo de la pastilla de 5 mm
- Control de producción del sistema de 1000 a 3000 pastillas por hora
- Monitoreo de cantidad de compuesto en el sistema

En base a estas características se empezó a analizar los requerimientos, los métodos y los materiales adecuados para la elaboración del sistema, fue necesario estudiar los diferentes tipos de movimientos que realiza cada una de las máquinas de compresión existentes en su ciclo de compresión, siendo la más adecuada para tomar como referencia la compresora excéntrica debido a su funcionalidad, capacidad de producción y usos, este tipo de maquina tabletadora posee características similares a las requeridas, en base a esto fue posible especificar los requerimientos y especificaciones para el diseño del sistema de compresión de caramelos tipo pastilla para la empresa SAJX, los requerimientos para el sistema son los siguientes;

- Mecanismo capaz de cumplir el ciclo de compresión
- Control de producción de pastillas
- Monitoreo de cantidad de compuesto en la tolva

3.1.1.1 Mecanismo de transformación de movimiento

Para el diseño del mecanismo capaz de cumplir el ciclo de compresión fue necesario analizar principalmente los mecanismos existentes que permitan

transformar el movimiento circular producido por un motor a un movimiento lineal vertical, el cual permita el desplazamiento de los punzones para la compresión de la pastilla, así como el desplazamiento de la tolva de alimentación.

El mecanismo más común es el biela manivela o excéntrica el cual es capaz de transformar el movimiento circular en un uno alternativo, este sistema está formado por un elemento giratorio denominado manivela que va conectado con una barra rígida llamada biela, la cual va conectada a un embolo o seguidor de tal manera que al girar la manivela la biela retrocede y avanza, produciendo un movimiento lineal, como se observa en la siguiente figura.

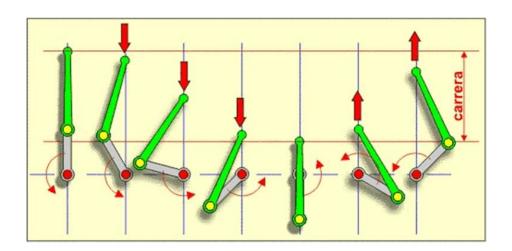


Figura 32. Funcionamiento de una biela manivela (Cejarosu, 2013)

Otro mecanismo que permite transformar el movimiento es el sistema de leva seguidor el cual permite obtener un movimiento lineal alternativo, o uno oscilante, a partir de uno giratorio este tipo de transformación de movimiento es irreversible ya que el movimiento alternativo del seguidor no es capaz de producir el giro del elemento rotatorio.

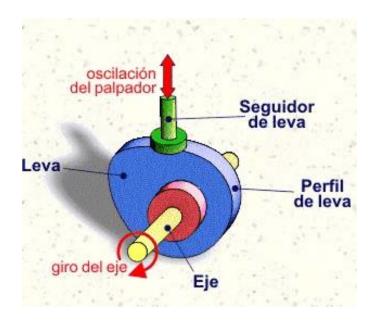


Figura 33. Mecanismo leva seguidor (Cejarosu, 2013)

En el sistema de compresión de pastillas se utilizaron tres tipos de mecanismos similares a los mencionados anteriormente, cabe mencionar que también se contempló la posibilidad de usar un actuador eléctrico o un sistema neumático sin embargo al necesitar una producción de 1000 pastillas mínimo ese tipo de sistemas no lo permitían, los sistemas utilizados son los siguientes:

Mecanismo para el desplazamiento del punzón superior. Este mecanismo permite el desplazamiento lineal vertical del punzón superior, este consiste en una variación del mecanismo biela manivela en donde la manivela es una rueda excéntrica que gira dentro de la biela que en este caso fue un conjunto de un rodamiento con un anillo exterior que lo circunda, el cual se conecta articuladamente con el embolo que en este caso es el punzón superior, el cual se desplaza verticalmente a través de una guía.

- Mecanismo para el desplazamiento del punzón inferior. Este mecanismo permite el desplazamiento lineal vertical del punzón inferior, este consiste en una variación del mecanismo biela manivela, el cual tiene la misma estructura del mecanismo del punzón superior, pero con características distintas de tamaño debido a que su carrera debe ser menor que a la del mecanismo anterior, sin embargo el elemento que cumple la función de embolo no es el punzón inferior sino un eje vertical que va conectado al punzón a través de un soporte horizontal que los conecta, lo cual permite que el eje de desplazamiento del punzón inferior sea el mismo que el del superior.
- Mecanismo para el desplazamiento de la tolva de alimentación y expulsión. Este mecanismo permite el desplazamiento de la tolva, consiste en una leva seguidor en donde la leva al girar permite al seguidor moverse a medida que ella gira, para lograr que el seguidor esté permanentemente en contacto con la leva ,esta tiene un canal en el cual permite al seguidor desplazarse, el seguidor debe su movimiento no solo a la leva sino también a un pivote al cual está conectado, este permite al seguidor moverse pendularmente en función del giro de la leva, el seguidor está conectado a un sistema de palancas articuladas que permiten mover la tolva horizontalmente de forma oscilante para alimentar la matriz y a su vez expulsar la pastilla.

3.1.1.2 Fuerza de compresión

Unos de los requerimientos principales para el funcionamiento del sistema de compresión es la fuerza que este necesitaba para comprimir caramelos, las fuerzas de compresión necesaria como se mencionó en el capítulo anterior puede depender mucho del compuesto a comprimir así como del tipo de compresión que se vaya a utilizar, en este caso la fuerza de compresión máxima que soporta el sistema es de 3 KN, esta fuerza fue

recomendada por la empresa SAJX, y permite la compresión de los compuestos del cual están elaborados los caramelos, cabe mencionar que esta fuerza va acorde a las fuerzas de compresión mencionadas en el capítulo 2.

Esta fuerza de compresión fue un parámetro importante para el diseño y elección de cada uno de los elementos que conforman el sistema, en función de esto se realizó un diagrama para analizar las fuerzas y reacciones que va a soportar el sistema.

En la figura 34 se pueden observar las fuerzas que se van a aplicar para la compresión, en donde la fuerza F_2 es la fuerza que va ejercer el punzón inferior en reacción a la fuerza F_1 , mientras que la fuerza F_1 es la que ejerce el punzón superior que sería la fuerza de compresión de 3KN, estas fuerzas fueron ubicadas en posiciones adecuadas, lo más cercanas posibles a las bases laterales A y B, con el fin disminuir los momentos producidos por las fuerzas.

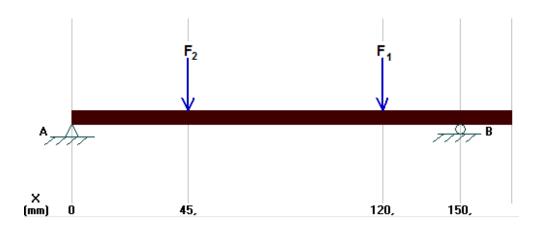


Figura 34. Diagrama de fuerzas aplicadas

Posteriormente se realizó la sumatorias de fuerzas para obtener las reacciones en los extremos A y B obteniendo como resultado lo siguiente:

$$\sum M_{Ax} = \mathbf{0}$$

$$F_2 \times 0.045m - F_1 \times 0.120m + Bz \times 0.150m = 0$$

$$-3000N \times 0.045m - 3000N \times 0.120m + Bz \times 0.150m = 0$$

$$Bz = \frac{135N.m + 360N.m}{0,150m}$$

$$Bz = 3300N$$

$$\sum Fz = 0$$

$$Az - 3000N - 3000N + 3300N = 0$$

$$Az = 2700N$$

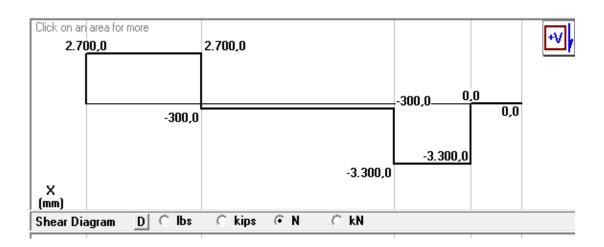


Figura 35. Diagrama de reacciones axiales

En función a estas reacciones axiales fue posible calcular los momentos que se ejercen sobre el sistema, cabe mencionar que las fuerzas y momentos mayoritariamente son aplicados en el eje de trasmisión principal, sobre este elemento se produjeron los siguientes momentos:

$$\sum Mx = 0$$

$$\sum Mx_1 = 0$$

$$Mfx - Az \times 0.045m = 0$$

$$Mfx_1 - Az \times 0.12m + 3000N \times 0.075M = 0$$

$$Mfx = 2700N \times 0.045m$$

$$Mfx_1 = 2700N \times 0.12m - 225N.m$$

$$Mfx = 121.5N.m$$

$$Mfx_1 = 99N.m$$

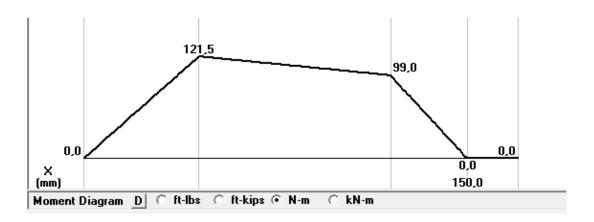


Figura 36. Diagrama de momentos

Todas estas cargas fueron obtenidas en función de la fuerza de compresión y son muy importantes para diseñar el sistema en general, y principalmente el eje.

3.1.1.3 Eje de trasmisión principal

Uno de los elementos más importantes en el funcionamiento del sistema fue el eje principal el cual está sometido a cargas axiales cortantes en los extremos A y B mientras que en los puntos en donde se aplica la fuerza F1 y F2 se producen esfuerzos flexionante y esfuerzo torsionales, como se mencionó en el capítulo anterior los ejes generalmente están sometidos a

estos tipos esfuerzos por tal motivo para dimensionar el eje se aplicaron las fórmulas [1.17] y [1.18]

Sin embargo para diseñar el elemento fue fundamental elegir el material correcto, el material elegido fue el Acero AISI 705, o también llamado SAE 4340 debido a que tiene buenas características mecánicas, y principalmente porque se lo puede encontrar en el mercado nacional.

Para poder aplicar la fórmula [1.17] fue necesario calcular la resistencia a la fatiga con respecto a la resistencia a la tracción Su del material elegido la cual se la puede encontrar en el catálogo de propiedades del material en el anexo 2.

$$Sn = 0, 5 \times Su$$

$$Sn = 0.5 \times 980.66 \times 10^6 Pa$$

$$Sn = 490330000 Pa$$

Posteriormente se calculó la resistencia a la fatiga real definiendo y calculando los factores en función de las tablas mostradas anteriormente.

- Para el factor de tipo de esfuerzo (Cst) se definió el valor que corresponde a esfuerzo flexionante de la tabla.6
- Para el factor de tamaño (Cs) se estimó un diámetro provisional de 25 mm, este diámetro se encuentra en el rango de la fórmula de la tabla 8 dando como resultado lo siguiente:

$$Cs = (\frac{D}{7,62})^{-0.11}$$

$$Cs = \left(\frac{25}{7,62}\right)^{-0.11}$$

Cs = 0.8775

• Para el factor de confiabilidad (Cr) se definió el valor que

corresponde a una confiabilidad del 99% de la tabla 7

• Para los factores de material (Cm) se definió el valor que corresponde

al acero forjado de la tabla 5.

Una vez definidos estos valores se calcula la resistencia a la fatiga real.

 $S'n = Sn \times Cm \times Cst \times Cr \times Cs$

 $S'n = 490330000Pa \times 1 \times 1 \times 0.81 \times 0.8775$

S'n = 348514305,8Pa

Para diseñar el eje fue necesario tomar el valor más alto de momento flector obtenido anteriormente, sin embargo también fue necesario calcular el torque al cual iba ser sometido el elemento, pero al no saber el diámetro del eje se estimó que el mismo iba a tener un diámetro provisional de 25mm.

 $T = F \times d$

 $T = 3000N \times 0.0125m$

T = 37.5N.m

Finalmente el eje al no ser una superficie uniforme debido a que en el existen cuñas los cuales permitieron conectar y proteger a los mecanismos que provocan esfuerzos al eje, fue necesario definir un valor de

67

concentración de esfuerzo, el valor elegido fue de 2 ya que se según (Mott, 2006) este valor es el recomendable cuando se utilizan cuñas como las que se utilizaron en el sistema, así mismo el valor recomendable para el factor de diseño N para elementos con las características y condiciones similares al del eje fue de 2, con todos estos datos se procedió a calcular el diámetro del eje para momentos flexionantes y torsionales aplicando la fórmula [1.17]

$$D = \left[\frac{32 \times N}{\pi} \times \sqrt{\left(\frac{k_t \times Mf}{S'n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{Sy} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = \left[\frac{32 \times 2}{\pi} \times \sqrt{\left(\frac{2 \times 121.5N.m}{348514305,8Pa} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{37,5N.m}{686,46 \times 10^6 Pa} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = \left(\frac{32 \times 2}{\pi} \times 6,9885 \times 10^{-7}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$D = (1,4237 \times 10^{-5})^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 0.02423m$$

$$D = 24,23mm$$

El diámetro del eje obtenido fue menor al diámetro provisional que se seleccionó para calcular, lo cual nos indicó que el valor provisional era correcto, también fue necesario diseñar el elemento para las cargas axiales en los extremos, se aplicó la fórmula [1.18] en donde la fuerza es la reacción Bz.

$$D = \sqrt{\frac{2,94 \times k_t \times V \times N}{S'n}}$$

$$D = \sqrt{\frac{2,94 \times 2 \times 3300N \times 2}{348514305,8Pa}}$$

D = 0.0106m

 $D = 10,6 \, mm$

3.1.1.4 Rodamientos

Para el sistema de compresión se necesitaron tres tipos de rodamientos, los cuales fueron elegidos en base a la necesidades del sistema, como tipo de cargas y dimensiones, los elegidos fueron rodamientos rígidos de bolas, ya que estos poseen características que les permite soportar cargas radiales y axiales en cualquier dirección, así como también cargas complejas que puedan resultar de la combinación de estas fuerzas.

Para elegir el rodamiento según (Mott, 2006) se debe tomar en cuenta la duración de diseño, así como la capacidad de carga básica dinámica, estos parámetros se los puede calcular con las siguientes fórmulas;

$$Ld = h \times n \times 60 \frac{min}{h}$$
 [1.19]

Dónde:

Ld: Duración de diseño

h: Duración en horas del rodamiento

n: revoluciones por minuto

$$C = Pd \times \left(\frac{Ld_1}{10^6}\right)^{\frac{1}{k}}$$
 [1.20]

Dónde:

C: Capacidad de carga básica dinámica

Pd: Carga de diseño

Para determinar el número de horas de uso de los rodamientos, se tomó como referencia la siguiente tabla en donde se muestran la duración de horas recomendadas en los rodamientos acorde a la aplicación.

Tabla 9. Duración recomendada para rodamientos

	DURACIÓN EN
APLICACIÓN	HORAS
Electrodomésticos	1000-2000
Motores de aviación	1000-4000
Automotores	1500-5000
Equipos agrícolas	3000-6000
Elevadores, ventiladores industriales, trasmisiones	
de usos simples	8000-15000
Maquinas industriales en general	20000-30000
Bombas y compresoras	40000-50000
Equipo critico en funcionamiento durante 24 h	100000-200000

(Mott, 2006)

3.1.1.4.1 Rodamiento de los extremos

Este rodamiento va a estar empotrado en los dos extremos de la base, y fueron seleccionados en función a la carga que iban soportar, las cuales son las reacciones en los extremos A y B como se calculó anteriormente, la fuerza en el extremo B es mayor que la fuerza del extremo A, por tal razón se tomó a la fuerza Bz para elegir el rodamiento

Para calcular la duración de diseño se aplicó la fórmula [1.19] tomando el número de horas de la tabla 9, de una máquina industrial.

$$Ld = h \times n \times 60 \frac{min}{h}$$

$$Ld = 20000h \times 56 \times 60 \frac{min}{h}$$

Ld = 67200000rev

Cabe mencionar que el valor de (n) con el cual se calculó, es el valor máximo de rpm que entrega el motorreductor seleccionado.

Para determinar la capacidad de carga dinámica básica se aplica la fórmula [1.20] con un valor de k=3 debido que se trata de un rodamientos bolas.

Pd = Bz

$$C = Pd \times \left(\frac{Ld_1}{10^6}\right)^{\frac{1}{k}}$$

$$\mathbf{C} = 3300N \times \left(\frac{67200000rev}{10^6}\right)^{\frac{1}{3}}$$

C = 13416.4319N

Este valor obtenido se comparó con los valores de catálogos de rodamiento del anexo 5, siendo el más acorde el rodamiento 6205 el cual posee las siguientes características:

$$d_i = 25mm \qquad \qquad C_d = 14KN$$

$$C = 13416,4319N < C_d$$

Al ser la carga calculada menor que la carga que soporta el rodamiento, indico que este rodamiento es el idóneo para nuestro sistema no solo por la carga sino también por el diámetro interior que va acorde al diámetro del eje calculado anteriormente.

3.1.1.4.2 Rodamiento para el punzón superior

Este rodamiento es parte del mecanismo para el desplazamiento del punzón superior este se encuentra dentro del anillo de este mecanismo, fue seleccionado en función a la carga que iban soportar, principalmente la fuerza de compresión F_1 .

La duración de diseño que se aplicó para seleccionar este rodamiento fue la misma del rodamiento de los extremos así como también el rpm.

Mientras que para determinar la capacidad de carga dinámica básica se aplicó la fuerza F_1 , el valor de k fue similar al anterior al tratarse de un rodamiento de bolas

$$Pd = F_1$$

$$C = Pd \times \left(\frac{Ld_1}{10^6}\right)^{\frac{1}{k}}$$

$$\mathbf{C} = 3000N \times \left(\frac{67200000rev}{10^6}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C = 12196,7562N$$

Este valor obtenido se comparó con los valores de catálogos de rodamiento del anexo 6, siendo el más acorde el rodamiento 6914 el cual posee las siguientes características.

$$d_{i2} = 70 \text{ mm}$$
 $C_{d2} = 23,7KN$ $C = 12196,7562N < C_{d2}$

Al ser la carga calculada menor que la carga que soporta el rodamiento, indica que este rodamiento es el idóneo para nuestro sistema cabe destacar que existen rodamientos que pueden soportar la carga que se calculó, sin embargo debido a las características del mecanismo del cual fue forma parte se seleccionó este rodamiento así como también por la existencia en el mercado nacional

3.1.1.4.3 Rodamiento para el punzón inferior

Este rodamiento es parte del mecanismo para el desplazamiento del punzón inferior este se encuentra dentro del anillo de este mecanismo, fue seleccionado en función a la carga que iban soportar, principalmente la fuerza F_2 .

Para elegir este rodamiento tanto la duración de diseño como la capacidad de carga son las mismas que la del rodamiento 6914, sin embargo al ser parte del mecanismo de desplazamiento para el punzón inferior, fue necesario elegir otro tipo con características fiscas distintas principalmente el diámetro interior.

El valor de la capacidad de carga obtenido anteriormente para el rodamiento de 6914 se comparó con los valores de catálogos de rodamiento del anexo 7, siendo el más acorde el rodamiento 6910 el cual posee las siguientes características:

$$d_{i3} = 50mm$$
 $C_{d3} = 13,4KN$ $C = 12196,7562N < C_{d3}$

Al ser la carga menor que la carga dinámica que soporta el rodamiento, indica que este rodamiento es el idóneo para nuestro sistema.

3.1.1.5 Actuadores

Dentro de los requerimientos del sistema los actuadores cumplen una función muy importante ya que son elementos encargados de transformar cualquier tipo de energía para activar un proceso, los tipos de actuadores que se utilizaron para el desarrollo del sistema de compresión de pastilla fueron los siguientes:

3.1.1.5.1 Motor

El motor es un elemento muy importante en el funcionamiento del sistema ya que es el que trasmite el movimiento circular a los mecanismo de desplazamiento los cuales lo trasforman en movimiento lineal, así mismo el motor trasmite el torque y la velocidad, parámetros importantes en funcionamiento del sistema.

Para determinar la potencia del motor se deben aplicar las siguientes formulas:

$$Pm = \frac{Po}{\eta}$$
 [1.21]

Donde

Pm: Potencia del motor

Po: Potencia a trasmitir

 $\eta\,$: Eficiencia del motor

$$Po = T \times \omega$$
 [1.22]

Donde

Po: Potencia a trasmitir

ω: Velocidad angular máxima

T: Momento torsor

Para seleccionar el motor adecuado para el sistema se tomó el número de revoluciones por minuto máximo de trabajo (n) que se estimaba para el diseño, cabe mencionar que el rpm estimado es pequeño con relación a al rpm que poseen los motores trifásicos por tal motivo se necesitó seleccionar un motorreductor, el (n) seleccionado fue similar con el que se seleccionó los rodamientos, una vez que se definió este valor se calculó la velocidad angular de la siguiente manera:

$$\omega = n \times \frac{2 \times \pi}{60}$$

$$\omega = 56 \times \frac{2 \times \pi}{60}$$

$$\omega = 5,8643 \frac{rad}{seg}$$

Una vez obtenida la velocidad angular se calculó la potencia a trasmitir con la formula [1.22] en donde el momento torsor es el mismo con el que se dimensiono el eje principal:

$$Po = T \times w$$

$$Po = 37,5N. \, m \times 5,8643 \frac{rad}{seg}$$

Po = 219,9114W

Po = 0.2199KW

Transformado a hp

$$Po = 0.2947hp$$

Con este resultado se aplica la fórmula [1.21] para calcular la potencia del motor para una eficacia del 90%

$$Pm = \frac{Po}{\eta}$$

$$Pm = \frac{0,2947hp}{0,90}$$

$$Pm = 0.3274hp$$

En función a este valor se buscó la mejor opción en el mercado nacional, sin embargo al no haber un motor de esas características se adquirió, motor SIEMENS de 1/2 hp, trifásico mientras que para reducir la velocidad se seleccionó un reductor de velocidad TRANSTECNO CM040 de 56rpm ortogonal los cuales integrados cumplen ampliamente los requerimientos necesarios

En la siguiente figura se muestra el motor y reductor adquirido para realizar el proyecto.



Figura 37. Motoreductor siemens usado en el sistema

A parte de los parámetros antes mencionados se seleccionó este motor debido a que posee algunas características importantes que según (SIEMENS, 2004)

- Posee un aislamiento del bobinado para la protección contra los esfuerzos eléctricos, térmicos y mecánicos.
- Este tipo de motor es totalmente cerrado, y posee un rotor de jaula de ardilla, con ventilación externa.
- La carcasa, son de fundición en hierro.
- La fabricación del motor es modular, por esta razón puede ser entregada por piezas para ser montada.
- Este tipo de motor es capaz de funcionar en ambiente con humedad relativa comprendida entre el 30 y el 95%.
- El rendimiento del motor en una velocidad nominal es del 98.

El reductor tiene las siguientes características según (TRANSTECNO, 2010) son las siguientes:

- Con el fin de mejorar el nivel de ruido, rendimiento y duración, el eje tornillo sinfín está fabricado en acero tratado, mientras que la corona está fabricada en aleación de bronce.
- Posee una capa de pintura epoxy la cual elimina los efectos negativos protege la carcasa de la oxidación.
- Las superficies de apoyo del reductor están mecanizadas para obtener una perfecta planicidad durante el montaje.
- Los reductores son entregados con lubricante sintético, no se requiere ningún mantenimiento.

El motor para la conectividad posee seis bornes (U1, V1, W1, U2, V2, W2) las cuales pueden conectarse en Δ o Y según sea necesario.



Figura 38. Conexión triangulo del motor seleccionado

Para el sistema se conectó al motor en triángulo tomando en cuenta la tabla 10 en donde se observa las características del motor, se conectó de esta forma debido a que la señal que envía el variador de frecuencia es de 220 AC.

Tabla 10. Características del motor seleccionado

HZ	VOLTAJE	
Frecuencia	Triangulo	Estrella
60	220	400
60	240	415
60	260	440
60	265	460
60	280	480

3.1.1.5.2 Protecciones

Para proteger a los motores siempre es recomendable colocar un guarda motor ya que son limitadores de corriente que protegen al motor en su arranque garantizando la desconexión segura en caso de un cortocircuito o sobrecarga.

En este caso se utilizó el CIRCUIT-BREAKER SZ S00 ya que el mismo posee características acorde a las requeridas, cabe mencionar en este caso el guarda motor fue utilizado no solamente para proteger al motor, si no como una protección general, la cual es alimentada con 220V AC alimentando al variador de frecuencia, el mismo que a su vez se encarga de alimentar al motor, de esta forma el guarda motor permite el aislamiento fiable de los equipos del sistema.



Figura 39.Guarda motor SZ S00 (SIEMENS, 2014)

En la siguiente tabla se pueden observar las características principales del guarda motor.

Tabla 11. Características del guarda motor

CARACTERÍSTICAS		
Número de polos	3	
Resistencia contra los choques	25g / 11 ms	
Temperatura durante funcionamiento	ºC -20 +60	
Pérdida de Potencia Activa	8.7 W	
Voltaje de Operación	690 V	
Corriente Operacional	1,8 -2,5 A	
Frecuencia de Operación	50/60 Hz	
Marca del Producto	SIRIUS	

3.1.1.5.3 Luces indicadoras

Para el sistema se utilizó cuatro luces indicadoras de 24V de color verde y una roja, las cuales fueron conectadas a diferentes salidas del PLC y módulo

de expansión, de tal manera que cada una tenga la función de indicar procesos diferentes, mencionados a continuación:

- La primera luz verde indica que el primer pulsador ha sido activado, seleccionando la primera velocidad de trabajo.
- La segunda luz verde indica que el segundo pulsador ha sido activado, seleccionando la segunda velocidad de trabajo.
- La tercera luz verde indica que el tercer pulsador ha sido activado, seleccionando la tercera velocidad de trabajo.
- La cuarta luz verde indica que el sistema esta encendido.
- La quita luz roja indica que no existe material en el tolva de alimentación.

Las luces indicadoras utilizadas fueron del tipo que se muestra en la figura 40.



Figura 40. Luz indicadora roja

3.1.1.6 Sistema de control

En el sistema de compresión de pastillas fue muy importante tener un sistema de control que permita integrar, controlar y permitir el funcionamiento del sistema, logrando principalmente seleccionar el nivel de producción en función de la velocidad así como un control de nivel de

granulado. El sistema de control que permitió el correcto funcionamiento del sistema de compresión estuvo compuesto de los siguientes elementos:

3.1.1.6.1 Módulo Lógico de Control Programable

Uno de los elementos principales dentro del sistema de control es el PLC el cual es el encargado de integrar y hacer funcionar los elementos del sistema de compresión de caramelos, para el proyecto se utilizó el PLC Siemens LOGO 12/24 RC el cual fue elegido debido a su costo, fácil manejo modular, y principalmente por el conocimiento obtenido anteriormente en la universidad sobre este tipo de PLC.

Los PLC LOGO 12/24RC permiten la automatización amplia y fiable de diversos sistemas ya que poseen 8 funciones lógicas básicas y aproximadamente 35 funciones especiales, lo cual hace que este tipo de PLC sea de fácil manejo permitiendo de esta manera reemplazar a un gran número de dispositivos de control, en la figura 41 se puede observar el PLC utilizado, el cual consta en su parte superior de entradas, en la parte inferior de salidas, y en la parte central tiene una pantalla para la visualización de los comandos modificables a través de los botones que se encuentran a la par.



Figura 41. PLC LOGO 12/24RC (SIEMENS, 2003)

Para el sistema de control se utilizó una fuente LOGO POWER la cual permitió proteger y energizar al PLC, ya que esta fuente tiene una entrada de 100-240 V AC y una salida de 24DC V lo cual permitió una fácil conexión con todos los demás elementos del sistema de control



Figura 42. Fuente LOGO POWER (SIEMENS, 2003)

En el sistema de control se utilizó un módulo de expansión debido a que se necesitaba una salida más, que las que tiene normalmente el PLC por tal razón se usó un módulo de expansión como el de la figura:



Figura 43. Módulo de expansión utilizado (SIEMENS, 2003)

Las principales características que tiene el PLC usado son las siguientes según (SIEMENS, 2003)

- Posee 8 entradas digitales, expandible hasta 24.
- Posee 4 entradas analógicas, expandibles hasta 8
- Posee 4 salidas digitales, expandible hasta 16
- Trabajan con diferentes voltajes 12 V (DC), 24 V (AC/DC)
- El software que se utiliza para su programación es de fácil aprendizaje.
- Se puede alternar 2 idiomas de programación.

Para programar el PLC se los puede realizar tanto con diagramas ladder (escalera o de contactos) o en diagrama de bloques, y en su editor "Logo! Soft Comfort", en este caso se realizó con la segunda opción.

3.1.1.6.1.1 LOGO!Soft Comfort

Para programar el PLC se utilizó la programación en bloques, la cual es posible a través del editor Logo! Soft Comfort el cual debe estar instalado en un computador con características básicas, este programa es de fácil manejo ya que permite realizar diagramas simplemente escogiendo y arrastrando las diferentes funciones que se vayan a utilizar, así mismo este programa permite realizar una simulación del diagrama de bloques realizado. En la figura 44 se puede observar la interface del programa sin ningún diagrama de bloques realizado, en donde en el lado izquierdo se encuentran las funciones, y en la derecha el plano donde se conectan y se forman los diagramas de bloques.

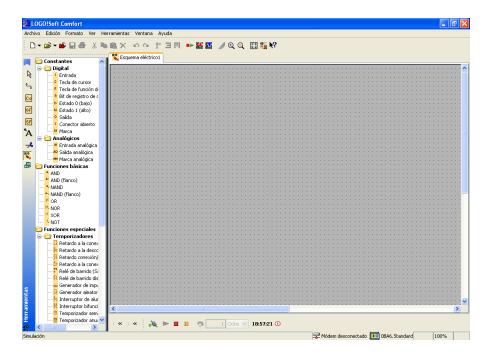


Figura 44. Interfaz del editor Logo! Soft Comfort

3.1.1.6.2 Sensor

El sistema requería de un dispositivo sensorial que se encargue de controlar el nivel de granulado en la tolva de alimentación, este sensor está conectado a la entrada del PLC el cual monitorea si existe granulado en la tolva, dando una señal en el caso que el granulado se agote para posteriormente detener la maquina en el caso que no se coloque más granulado en la tolva.

El sensor que se utilizó fue un sensor digital capacitivo Serie 80 - PNP, este está equipado con un potenciómetro que permite ajustar la distancia detección según la aplicación, una de los motivos principales por lo cual se seleccionó este sensor fue que este permitía ser instalado de forma no enrasada, es decir que permitía que el medio a ser detectado en este caso el granulado, este en contacto con la superficie activa del sensor.

Este sensor se encuentra en estado normalmente abierto, es decir que cuando entra en contacto con granulado este contacto se cierra, al no

detectar se abre y manda una señal para avisar que se debe colocar más granulado en la tolva, el tiempo que el sensor necesita para estar listo para el funcionamiento después de conectar la tensión de servicio es muy bajo esta en el rango de los milisegundos siendo un parámetro importante para su selección, el sensor utilizado se muestra en la siguiente figura 45.



Figura 45. Sensor digital capacitivo

Las características principales del sensor seleccionado se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 12. Características del sensor capacitivo

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
CARACTERISTICAS TECNICAS		
Distancia de conmutación	2 mm	
Versión eléctrico	3 pines DC	
	Normalmente abierta	
Salida	(N.A.)	
Frecuencia máx. de		
conmutación	60 Hz	
Forma constructiva	M 8 x 1	
Tensión de servicio	5 V	
Intensidad máx de salida	150 mA	

3.1.1.6.3 Pulsadores

En el sistema se utilizaron cuatro pulsadores verdes y un rojo los cuales se utilizaron para enviar señales al PLC al ser activados, mandando una señal de activación de cualquiera de las velocidades seleccionadas, estos pulsadores trabajan a 24V y están conectados directamente a las entradas del PLC, la figura 46 se muestra el pulsador seleccionado

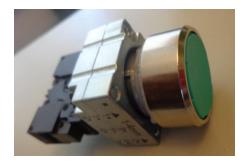


Figura 46. Pulsador seleccionado (SIEMENS, 2008)

Así mismo en el sistema también se utilizó otro tipo de pulsador de emergencia de 220 V el cual tenía el fin de parar la máquina al ser activado en algún caso de apremio, el pulsador de emergencia seleccionado se muestra en la siguiente figura.



Figura 47. Pulsador de emergencia (SIEMENS, 2008)

3.1.1.6.4 Variador de Frecuencia

Uno de los elementos principales en el sistema de control fue el variador de frecuencia, el mismo que fue utilizado para regular la velocidad del motor trifásico, este elemento permitió tener un control de las tres velocidades deseadas.

El variador que se seleccionó fue el SINAMICS G110 de 0,5 HP debido a sus buenas características de control con respecto al motor seleccionado, este tipo de variador es controlado por microprocesadores y utilizan tecnología transistor semiconductor de última generación, por tal motivo son útiles y versátiles, una de las principales razones por la cual se seleccionó este tipo de variador fue que permite estar integrado a sistemas de control, similares al de este proyecto, principalmente por su compatibilidad con el PLC seleccionado anteriormente, el variador seleccionado se muestra en la siguiente figura:



Figura 48. Variador de frecuencia SINAMICS G110 (SIEMENS, 2004)

El variador SINAMICS G110 según (SIEMENS, 2004) tiene como principales características las siguientes:

- Permite una sencilla conexión de los cables, bornes de control sin tornillos
- Compacto
- Fácil manejo al momento de configurar
- Fácil integración en sistemas de automatización
- Posee altas frecuencias de pulsación para un funcionamiento silencioso del motor.
- Permite tener una protección para sobretensión o subtensión, cortocircuitos y protección para temperatura del motor.

En la siguiente tabla se muestran los datos técnicos del variador seleccionado.

Tabla 13. Datos técnicos del Variador de frecuencia SINAMICS G110

DATOS TÉCNICOS	
Potencia	de 0,55 a 0,75 kW
Intensidad de entrada	de 7,7 a 10 A
Intensidad salida	de 3,2 a 3,9 A
Frecuencia de red	de 47 a 63 Hz
Frecuencia de salida	de 0 a 650 Hz
Frecuencias fijas	3, parametrizables
Funciones de freno	Por inyección de corriente continua, frenado
Frenado	combinado
Funciones de	Subtensión, sobretensión, cortocircuito, vuelco
protección	del motor

(SIEMENS, 2004)

Para la conectividad el variador consta de una serie de bornes, en los cuales se conectó cada una de las señales utilizadas, para el sistema de control se conectó en los bornes 3, 4 y 5 las señales, las cuales permitieron dar las diferentes velocidades al motor, estas fueron conectadas a las salidas del PLC, así mismo el borne 7 se utilizó como un punto común, siendo el encargado de dar energía a una salida del PLC permitiendo dar una frecuencia de movimiento para el motor, para energizar el variador el mismo consta de dos bornes L1, L2, en donde se conectó un voltaje de entrada de 220AC, así mismo este variador posee 3 bornes U, V, W en donde se conectó el motor para que pueda ser encendido.

3.1.2 CÁLCULOS

Para el correcto funcionamiento del sistema fue necesario realizar los cálculos que garanticen el funcionamiento de cada uno de los elementos que forman el sistema de compresión.

3.1.2.1 Cálculos de los punzones

Unos de los elementos mecánicos principales en el sistema de compresión son los punzones ya que estos son los elementos que aplican la fuerza de compresión dándole la forma a la pastilla, los punzones en el sistema son sometidos a compresión, por tal motivo para diseñar estos elementos se tomó como referencia el diseño de una columna y todos los factores que sobre esta actúan.

En el sistema de compresión existen dos punzones que están compuestos de dos partes, lo cual permite que sean cambiables de acuerdo a los diámetros de pastilla que se desee realizar, estos elementos son parte de los mecanismos de desplazamiento antes mencionados, cumpliendo la función de un embolo que está conectado a la biela a través de un pasador,

por tal motivo para dimensionar los punzones fue necesario primero calcular este elemento el cual es común ya sea para el punzón superior e inferior.

Los punzones y el pasador al ser parte del sistema de compresión están expuestos a esfuerzos fluctuantes que varían de 0KN (*Fmin*) cuando el punzón se encuentra en un punto sin ejercer fuerza sobre el compuesto, a 3000N (*Fmax*) cuando el punzón comprime al compuesto formando la pastilla, en función a esto se calculó la fuerzas media y alternativa de la siguiente manera.

$$Fm = \frac{Fmax + Fmin}{2}$$

$$Fa = \frac{Fmax - Fmin}{2}$$

$$Fm = \frac{3000N + 0}{2}$$

$$Fa = \frac{3000N - 0}{2}$$

$$Fm = 1500N$$

$$Fa = 1500N$$

Posteriormente se calculó la resistencia a la fatiga con respecto a la resistencia a la tracción Su del material elegido para el pasador, el cual fue el mismo del eje principal.

$$Sn = 0.5 \times Su$$

 $Sn = 0.5 \times 980.66 \times 10^{6} Pa$
 $Sn = 490330000 Pa$

Con este valor se calculó la resistencia a la fatiga real definiendo y calculando los factores en función de las tablas mostradas anteriormente.

- Para el factor de tipo de esfuerzo (Cst) se definió el valor que corresponde a esfuerzo flexionante de la tabla 6.
- Para el factor de tamaño (Cs) se estimó un diámetro provisional menor o igual a 7,62 mm, este diámetro se encuentra en el rango de la fórmula de la tabla 8, teniendo un valor de 1.
- Para el factor de confiabilidad (*Cr*) se definió el valor que corresponde a una confiabilidad del 99,9% de la tabla 7.
- Para los factores de material (Cm) se definió el valor que corresponde al acero forjado de la tabla 5.

Una vez definidos estos valores se calcula la resistencia a la fatiga real.

$$S'n = Sn \times Cm \times Cst \times Cr \times Cs$$

$$S'n = 490330000Pa \times 1 \times 1 \times 0.75 \times 1$$

$$S'n = 367747500Pa$$

El pasador al ser un elemento que está sometido a esfuerzos cortantes fluctuantes se aplicó el método de Goodman para este tipo de caso, para determinar los datos sobre la resistencia al cortante al ser complicadas de obtener, se usó las fórmulas [1.11] y [1.12] en donde:

$$Ssu = 0.75 \times Su$$

$$Ssu = 0,75 \times 980,66 \times 10^6 Pa$$

$$Ssu = 735495000Pa$$

$$S'sn = 0,577 \times S'n$$

$$S'sn = 0,577 \times 367747500Pa$$

S'sn = 212190307, 5Pa

El pasador al conectar al punzón y a la biela, a través de dos soportes estuvo sometido a esfuerzo cortante doble por tal motivo para calcular el esfuerzo cortante de este elemento se planteó la siguientes ecuaciones.

$$\tau m = \frac{Fm}{2A} \qquad \qquad \tau a = \frac{Fa}{2A}$$

Finalmente al tener todos los datos de la formula [1.10] del método de Goodman para esfuerzos cortantes fluctuantes, se remplazó las ecuaciones de esfuerzos medio y alternativo antes planteadas para posteriormente calcular el área del pasador con un valor de kt = 1 debido a que el pasador tiene un diámetro uniforme, mientras que para el factor de diseño N se utilizó un valor de 4 el cual según (Mott, 2006) es recomendable para elementos sometidos esfuerzos fluctuantes cortantes.

$$\frac{1}{N} = \frac{\tau m}{Ssu} + \frac{(k_t)\tau a}{S'sn}$$

$$\frac{1}{N} = \frac{Fm}{2A \times Ssu} + \frac{(k_t)Fa}{2A \times S'sn}$$

$$A = \frac{N}{2} \left(\frac{Fm}{Ssu} + \frac{(k_t)Fa}{S'sn} \right)$$

$$A = \frac{4}{2} \left(\frac{1500N}{735495000Pa} + \frac{1 \times 1500N}{212190307,5Pa} \right)$$

$$A = 1,182171 \times 10^{-5}m^2$$

Al calcular el valor del área del pasador fue posible, calcular el diámetro de la siguiente manera

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 1,182171 \times 10^{-5} m^2}{\pi}}$$

$$D = 4,816mm$$

Este valor calculado es la medida mínima para del diámetro del pasador y del agujero de los punzones y bielas del mecanismo de desplazamiento, en función a este valor se dimensionaron los punzones, principalmente la parte grande que está conectada a la biela a través del pasador.

Los punzones, tanto el superior como el inferior están formados de dos partes, grande y pequeña, siendo la pequeña la parte desmontable que da forma a la pastilla y la grande la que se conecta con la biela a través del pasador dimensionado

Para diseñar los dos punzones el material elegido fue el Acero inoxidable AISI 304, debido a que tiene buenas características mecánicas, y principalmente porque los punzones son elementos que van a estar en contacto con el compuesto, siendo el acero inoxidable un material adecuado para este tipo de aplicaciones sin que haya contaminación.

3.1.2.1.1 Punzón superior

Este elemento es parte del sistema de desplazamiento del punzón superior, cumple la función de un émbolo que se me mueve verticalmente lo cual le

permite comprimir la pastilla dándole la forma, este punzón fue hecho de acero inoxidable AISI 304, consta de dos componentes los cuales son los siguientes:

3.1.2.1.1.1 Punzón superior grande

Como se mencionó anteriormente los punzones son sometidos a compresión, por tal motivo a este elemento se lo diseño como columna.

El primer paso para diseñar este elemento fue saber si el mismo es columna corta o larga como se explicó en el capítulo 2, para conocer esto fue necesario comparar el valor de la relación de esbeltez con la constante de columna (Cc), para determinar la relación de esbeltez se aplicó la fórmula [1.13] y fue necesario conocer el radio de giro del elemento, en este caso se tomó un diámetro superior al del pasador antes calculado, para determinar el radio de giro se aplicó la fórmula para elementos cilíndricos del anexo 1 .

$$r=\frac{D}{4}$$

$$r = \frac{0,020m}{4}$$

$$r = 5 \times 10^{-3} m$$

Una vez obtenido el radio de giro se procedió a calcular la relación de esbeltez y la constante de columna, donde para calcular la relación de esbeltez se asignó una longitud, así mismo se tomó un valor de k de la figura 16 para un tipo de fijación empotrada-articulada, que es el que corresponde para este punzón, mientras que para la constante de columna se tomó el módulo de la elasticidad y resistencia a la fluencia del anexo 4 del acero inoxidable AISI 304.

Comparación de la relación esbeltez con la constante de columna

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{Sy}}$$

$$\frac{k \times L}{r}$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 207 \times 10^9 Pa}{235 \times 10^6 Pa}}$$

$$\frac{0.8 \times 0.13m}{5 \times 10^{-3}m}$$

$$Cc = 131,861$$

$$> 20,8$$

El resultado de la comparación de la relación esbeltez con la constante de columna nos indicó que al punzón es una columna corta, para poder aplicar la fórmula [1.15] de J.B. Johnson para columnas cortas fue necesario determinar el área de la siguiente manera.

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi (0,020m)^2}{4}$$

$$A = 3,14 \times 10^{-4} m^2$$

Una vez calculado el área se aplicó la fórmula [1.15] para determinar la carga crítica de pandeo que puede soportar este punzón

$$Pcr = A \times Sy \times \left[1 - \frac{Sy \times \left(\frac{k \times L}{r}\right)^{2}}{4 \times \pi^{2} \times E}\right]$$

$$Pcr = 3.14 \times 10^{-4} m^{2} \times 235 \times 10^{6} Pa \times \left[1 - \frac{235 \times 10^{6} Pa \times \left(\frac{1 \times 0.13 m}{5 \times 10^{-3} m}\right)^{2}}{4 \times \pi^{2} \times 207 \times 10^{9} Pa}\right]$$

$$Pcr = 72871,9592N$$

Con el fin de asegurar el funcionamiento del punzón se aplicó un factor de diseño, con el cual se garantizó que la fuerza de compresión que soporta este punzón sea segura, al aplicar este factor de diseño a la carga critica calculada anteriormente, se obtuvo la carga admisible.

$$Pa = \frac{Pcr}{N}$$

$$Pa = \frac{72871,9592N}{3}$$

$$Pa = 24290,653N$$

La carga admisible que soporta este punzón es mucho mayor que la fuerza de compresión de 3KN, lo cual nos indica que el punzón puede funcionar correctamente.

3.1.2.1.1.2 Punzón superior pequeño

Este elemento es la parte desmontable y fue diseñado con el mismo método del punzón grande, primero se comparó el valor de la relación de esbeltez con la constante de columna (Cc), para determinar si la columna es larga o corta, posteriormente se determinó la relación de esbeltez aplicando la fórmula [1.13] en donde fue necesario conocer el radio de giro del elemento, en este caso se tomó el diámetro de la pastilla que se desea formar, para determinar el radio de giro se aplicó la fórmula para elementos cilíndricos del anexo 1.

$$r = \frac{D}{4}$$

$$r = \frac{0.010m}{4}$$

$$r = 2.5 \times 10^{-3} m$$

Una vez obtenido el radio de giro se procedió a calcular la relación de esbeltez y la constante de columna, donde para calcular la relación de esbeltez se asignó una longitud, así mismo se tomó un valor de k de la figura 16 para un tipo de fijación empotrada-empotrada, que es el que corresponde para este punzón, mientras que la constante de columna es similar al punzón superior grande.

Comparación de la relación esbeltez con la constante de columna

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{Sy}}$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 207 \times 10^9 Pa}{235 \times 10^6 Pa}}$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 207 \times 10^9 Pa}{235 \times 10^6 Pa}}$$

$$Cc = 131,861$$

$$5,2$$

El resultado de la comparación de la relación esbeltez con la constante de columna nos indicó que al punzón es una columna corta, fue necesario determinar el área de la siguiente manera, para posteriormente aplicar la fórmula de columna corta.

$$A=\frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \ (0,010m)^2}{4}$$

$$A = 7,853 \times 10^{-5} m^2$$

Una vez calculado el área se aplicó la fórmula [1.15] para determinar la carga crítica de pandeo que puede soportar este punzón

$$Pcr = A \times Sy \times \left[1 - \frac{Sy \times \left(\frac{k \times L}{r}\right)^{2}}{4 \times \pi^{2} \times E}\right]$$

$$Pcr = 7,853 \times 10^{-5} m^2 \times 235 \times 10^6 P \times \left[1 - \frac{235 \times 10^6 Pa \times \left(\frac{0,65 \times 0,020 m}{2,5 \times 10^{-3}} \right)^2}{4 \times \pi^2 \times 207 e^9 Pa} \right]$$

$$Pcr = 18440.200N$$

Finalmente se aplicó un factor de diseño, con el cual se garantizó que la fuerza de compresión que soporta este punzón sea segura.

$$Pa = \frac{Pcr}{N}$$

$$Pa = \frac{18440.200N}{3}$$

Pa = 6146,7333N

La carga admisible que soporta este punzón es mayor que la fuerza de compresión de 3KN, lo cual nos indica que este elemento puede funcionar correctamente.

3.1.2.1.2 Punzón inferior

Este elemento es parte del sistema de desplazamiento del punzón inferior, se mueve, paralelamente al eje vertical que cumple la función de émbolo, estos están conectados por un soporte vertical el cual permite que el punzón este en el eje de desplazamiento del punzón superior, este punzón esta hecho de acero inoxidable AISI 304, y consta de dos componentes los cuales son los siguientes:

3.1.2.1.2.1 Punzón inferior grande

El primer paso para diseñar este elemento fue saber si el mismo es columna corta o larga, para conocer esto fue necesario comparar el valor de la relación de esbeltez con la constante de columna (Cc), para determinar la relación de esbeltez se aplicó la fórmula [1.13] y fue necesario conocer el radio de giro del elemento, en este caso se tomó un diámetro similar al del punzón superior grande antes calculado, para determinar el radio de giro se aplicó la fórmula para elementos cilíndricos del anexo 1.

$$r=\frac{D}{4}$$

$$r = \frac{0,020m}{4}$$

$$r = 5 \times 10^{-3} m$$

Una vez obtenido el radio de giro se procedió a calcular la relación de esbeltez y la constante de columna, donde para calcular la relación de esbeltez se asignó una longitud, así mismo se tomó un valor de k de la figura 16 para un tipo de fijación empotrada-empotrada, que es el que corresponde para este punzón, mientras que para la constante de columna se tomó el módulo de la elasticidad y resistencia a la fluencia del anexo 4 del acero inoxidable AISI 304.

Comparación de la relación esbeltez con la constante de columna

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{Sy}}$$

$$\frac{k \times L}{r}$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 207 \times 10^9 Pa}{235 \times 10^6 Pa}}$$

$$\frac{0,65 \times 0,075m}{5 \times 10^{-3}m}$$

$$Cc = 131,861$$
> 9,75

El resultado de la comparación de la relación esbeltez con la constante de columna nos indicó que al punzón es una columna corta, fue necesario determinar el área de la siguiente manera.

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi (0,020m)^2}{4}$$

$$A = 3.14 \times 10^{-4} m^2$$

Una vez calculado el área se aplicó la fórmula [1.15] para determinar la carga crítica de pandeo que puede soportar este punzón.

$$Pcr = A \times Sy \times \left[1 - \frac{Sy \times \left(\frac{k \times L}{r}\right)^{2}}{4 \times \pi^{2} \times E}\right]$$

$$Pcr = 3.14 \times 10^{-4} m^2 \times 235 \times 10^6 Pa \times \left[1 - \frac{235 \times 10^6 Pa \times \left(\frac{0.65 \times 0.075 m}{5 \times 10^{-3} m}\right)^2}{4 \times \pi^2 \times 207 \times 10^9 Pa}\right]$$

Pcr = 72983,1282N

Con el fin de asegurar el funcionamiento del punzón se aplicó un factor de diseño, con el cual se garantizó que la fuerza de compresión que soporta este punzón sea segura, al aplicar este factor de diseño a la carga critica calculada anteriormente, se obtuvo la carga admisible.

$$Pa = \frac{Pcr}{N}$$

$$Pa = \frac{72983,1282N}{3}$$

Pa = 24327,7094N

La carga admisible que soporta este punzón es mucho mayor que la fuerza de compresión de 3KN, lo cual nos indica que el punzón puede funcionar correctamente.

3.1.2.1.2.2 Punzón inferior pequeño

Este elemento es desmontable del punzón inferior, primero se comparó el valor de la relación de esbeltez con la constante de columna (Cc), para determinar si la columna es larga o corta, posteriormente se determinó la relación de esbeltez aplicando la fórmula [1.13] en donde fue necesario conocer el radio de giro del elemento, en este caso se tomó el diámetro de la pastilla que se desea formar, para determinar el radio de giro se aplicó la fórmula para elementos cilíndricos del anexo 1.

$$r=\frac{D}{4}$$

$$r = \frac{0,010m}{4}$$

$$r = 2.5 \times 10^{-3} m$$

Una vez obtenido el radio de giro se procedió a calcular la relación de esbeltez y la constante de columna, donde para calcular la relación de esbeltez se asignó una longitud, así mismo se tomó un valor de k de la figura 16 para un tipo de fijación empotrada-empotrada, que es el que corresponde para este punzón, mientras que la constante de columna es similar al punzón superior grande.

Comparación de la relación esbeltez con la constante de columna

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{Sy}} \qquad \frac{k \times L}{r}$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 207 \times 10^9 Pa}{235 \times 10^6 Pa}}$$

$$0,65 \times 0,025m$$

$$2,5 \times 10^{-3}m$$

$$Cc = 131,861$$
> 6,5

El resultado de la comparación de la relación esbeltez con la constante de columna nos indicó que al punzón es una columna corta, fue necesario determinar el área de la siguiente manera.

$$A=\frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \times (0,010m)^2}{4}$$

$$A = 7.853 \times 10^{-5} m^2$$

Una vez calculado el área se aplicó la fórmula [1.15] para determinar la carga crítica de pandeo que puede soportar este punzón

$$Pcr = A \times Sy \times \left[1 - \frac{Sy \times \left(\frac{k \times L}{r}\right)^{2}}{4 \times \pi^{2} \times E}\right]$$

$$Pcr = 7,853 \times 10^{-5} m^2 \times 235 \times 10^6 P \times \left[1 - \frac{235 \times 10^6 Pa \times \left(\frac{0,65 \times 0,025 m}{2,5 \times 10^{-3}} \right)^2}{4 \times \pi^2 \times 207 \times 10^9 Pa} \right]$$

Pcr = 18432.1283N

Finalmente se aplicó un factor de diseño, con el cual se garantizó que la fuerza de compresión que soporta este punzón sea segura.

$$Pa = \frac{Pcr}{N}$$

$$Pa = \frac{18432.1283N}{3}$$

$$Pa = 6144,0427N$$

La carga admisible que soporta este punzón es mayor que la fuerza de compresión de 3KN, lo cual nos indica que este elemento puede funcionar correctamente.

3.1.2.2 Calculo del eje vertical

Este elemento cumple la función de un embolo para el sistema de desplazamiento del punzón inferior, este elemento al igual que los punzones fue diseñado como columna debido a que sobre el actuaban fuerzas de compresión fue elaborado de acero inoxidable AISI304, El primer paso para diseñar este elemento fue saber si el mismo es columna corta o larga como se explicó en el capítulo 2, para conocer esto fue necesario comparar el valor de la relación de esbeltez con la constante de columna (Cc), para determinar la relación de esbeltez se aplicó la fórmula [1.13] y fue necesario conocer el radio de giro del elemento, en este caso se tomó un diámetro superior al del pasador antes calculado, para determinar el radio de giro se aplicó la fórmula para elementos cilíndricos del anexo 1

$$r=\frac{D}{4}$$

$$r = \frac{0,020m}{4}$$

$$r = 5 \times 10^{-3} m$$

Una vez obtenido el radio de giro se procedió a calcular la relación de esbeltez y la constante de columna, donde para calcular la relación de esbeltez se asignó una longitud, así mismo se tomó un valor de k de la figura 16 para un tipo de fijación empotrada-articulada, que es el que corresponde para este elemento, mientras que para la constante de columna se tomó el módulo de la elasticidad y resistencia a la fluencia del anexo 4 del acero inoxidable AISI 304.

Comparación de la relación esbeltez con la constante de columna

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{Sy}}$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 207 \times 10^9 Pa}{235 \times 10^6 Pa}}$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 207 \times 10^9 Pa}{235 \times 10^6 Pa}}$$

$$Cc = 131,861$$

$$0.8 \times 0.27m$$

$$5 \times 10^{-3}m$$

$$86.4$$

El resultado de la comparación de la relación esbeltez con la constante de columna nos indicó que este elemento es una columna corta.

$$A=\frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi (0,020m)^2}{4}$$

$$A = 3.14 \times 10^{-4} m^2$$

Una vez calculado el área se aplicó la fórmula [1.15] para determinar la carga crítica de pandeo que puede soportar este punzón.

$$Pcr = A \times Sy \times \left[1 - \frac{Sy \times \left(\frac{k \times L}{r}\right)^{2}}{4 \times \pi^{2} \times E}\right]$$

$$Pcr = 3.14 \times 10^{-4} m^2 \times 235 \times 10^6 Pa \times \left[1 - \frac{235 \times 10^6 Pa \times \left(\frac{0.8 \times 0.27m}{5 \times 10^{-3} m}\right)^2}{4 \times \pi^2 \times 207 \times 10^9 Pa}\right]$$

Pcr = 69829,9307N

Con el fin de asegurar el funcionamiento de este elemento se aplicó un factor de diseño, con el cual se garantizó que la fuerza de compresión que soporta este punzón sea segura, al aplicar este factor de diseño a la carga crítica calculada anteriormente, se obtuvo la carga admisible.

$$Pa = \frac{Pcr}{N}$$

$$Pa = \frac{69829,9307N}{3}$$

Pa = 23276,6435N

La carga admisible que soporta este elemento es mucho mayor que la fuerza de 3KN que soporta este elemento, lo cual nos indica que este elemento puede funcionar correctamente.

3.1.2.3 Calculo de soporte rectangular punzón inferior

Este elemento permite que el punzón inferior y el eje vertical se conecten entre sí, permitiendo el desplazamiento del punzón inferior en función de su mecanismo de desplazamiento, debido a su forma y función fue diseñado como una viga ya que sobre él se aplicó una fuerza (F_1) , con respecto a un punto dado, que en este caso fue la junta (C), entre el eje vertical y el soporte, esto produjo un momento (Mf) el cual tiende a flexionar al elemento.

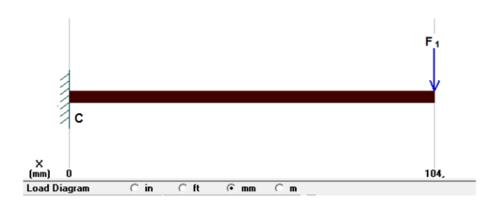


Figura 49. Diagrama de fuerzas aplicadas en el soporte

Este elemento está expuesto a esfuerzos flexionante fluctuantes que varían de (σmin) cuando el punzón se encuentra en un punto sin ejercer fuerza a un (σmax) cuando el punzón comprime al compuesto formando la pastilla, para determinar el esfuerzo debido a flexión en este elemento se utilizó la fórmula [1.3] en donde para determinar el módulo de sección se seleccionó del anexo 1 para un elemento rectangular, una vez definido esto se plantearon las siguientes ecuaciones.

$$\sigma = \frac{Mf}{S}$$

$$S = \frac{B \times H^2}{6}$$

Remplazando

$$\sigma max = \frac{6Mf}{B \times H^2}$$

$$\sigma min = 0$$

En función a esto se planteó las fórmulas de esfuerzos medio y alternativo de la siguiente manera.

$$\sigma m = \frac{\sigma max + \sigma min}{2}$$

$$\sigma a = \frac{\sigma max - \sigma min}{2}$$

$$\sigma m = \frac{\frac{6M}{B \times H^2} + 0}{2}$$

$$\sigma a = \frac{\frac{6M}{B \times H^2} - 0}{2}$$

$$\sigma a = \frac{\frac{3M}{B \times H^2}}{2}$$

$$\sigma a = \frac{3M}{B \times H^2}$$

Posteriormente se calculó la resistencia a la fatiga con respecto a la resistencia a la tracción Su del material elegido para el soporte, el cual fue el acero AISI A 36 debido a que a este tipo de material se encuentra en formas de planchas rectangulares, tiene buenas características mecánicas y es asequible en el mercado nacional.

$$Sn = 0, 5 \times Su$$

$$Sn = 0.5 \times 400 \times 10^{6} Pa$$

Sn = 200000000 Pa

Con este valor se calculó la resistencia a la fatiga real definiendo y calculando los factores en función de las tablas mostradas anteriormente

 Para el factor de tipo de esfuerzo (Cst) se definió el valor que corresponde a esfuerzo flexionante de la tabla.6

 Para el factor de tamaño (Cs) se estimó una altura provisional menor o igual a 7,62 mm, este diámetro se encuentra en el rango de la fórmula de la tabla 8 dando como resultado lo siguiente:

 Para el factor de confiabilidad (*Cr*) se definió el valor que corresponde a una confiabilidad del 99,9% de la tabla 7

 Para el factores de material (Cm) se definió el valor que corresponde al acero forjado de la tabla 5

Una vez definidos estos valores se calcula la resistencia a la fatiga real

 $S'n = Sn \times Cm \times Cst \times Cr \times Cs$

 $S'n = 2000000000Pa \times 1 \times 1 \times 0.75 \times 1$

S'n = 150000000Pa

Para diseñar el soporte también fue necesario calcular el valor del momento flector provocado por la fuerza (F_1)

 $Mf = F \times d$

 $M = 3000N \times 0.104m$

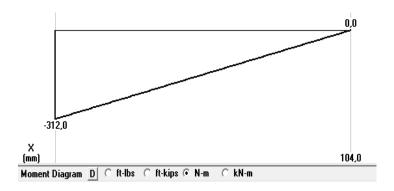


Figura 50. Diagrama de momentos del soporte

Finalmente al tener todos los datos de la fórmula [1.9] del método de Goodman para esfuerzos fluctuantes, se remplazó las ecuaciones de esfuerzos medio y alternativo antes planteadas para posteriormente calcular la altura del soporte con un valor de kt = 1 debido a que el soporte tiene un área uniforme, mientras que para el factor de diseño N se utilizó un valor de 2,5 el cual según Mott (2014) es recomendable para elementos sometidos esfuerzos fluctuantes por flexión.

$$\frac{1}{N} = \frac{\sigma m \times k_t}{S'n} + \frac{\sigma a}{Su}$$

$$\frac{1}{N} = \frac{k_t \times \frac{3M}{B \times H^2}}{S'n} + \frac{\frac{3M}{B \times H^2}}{Su}$$

$$\frac{1}{2,5} = \frac{1 \times \frac{3 \times 312N.m}{0.104m \times H^2}}{150000000Pa} + \frac{\frac{3 \times 312N.m}{0.104m \times H^2}}{400 \times 10^6 Pa}$$

$$H = \mathbf{0}, \mathbf{01436} \ m$$

$$H = 14,36 mm$$

Este valor es la altura mínima que soporta el elemento con estas características, al ser expuesto a las cargas aplicadas.

3.1.2.4 Cálculos de la base

Este elemento es muy importante ya que en él se asientan todos los elementos del sistema de compresión, entre ellos el eje sobre los extremos A y B, que son los lados de la base, para dimensionar este elemento se tomó como referencia, las características dimensionales de los elementos que se encuentran sobre él, en función a esto se buscó un material que tenga estas características, siendo el más adecuado el acero estructural AISI A 36 debido a que este se lo encuentra en planchas, una vez que se definió la forma del elemento se procedió a verificar si el diseño podría soportar las cargas que sobre el actual, sobre este elemento actuaron principalmente las reacciones en Az y Bz calculadas anteriormente, tomando el valor de Bz ya que es el más alto, esta fuerza del extremo Bz expone al elemento a compresión por tal motivo, se lo diseño como una columna, sin embargo para evitar que este elemento sea muy pesado se lo diseño con 4 soportes 2 en cada lado.

El primer paso para diseñar los lados de la base fue saber si el mismo es columna corta o larga, para conocer esto fue necesario comparar el valor de la relación de esbeltez con la constante de columna (Cc), para determinar la relación de esbeltez se aplicó la fórmula [1.13] fue necesario conocer el radio de giro del elemento, en este caso se tomó el radio de giro mínimo de un rectángulo ya que en este, el elemento tiende a fallar, para determinar el radio de giro se aplicó la fórmula para elementos rectangular del anexo 1.

$$r_Y = \frac{B}{\sqrt{12}}$$

$$r = \frac{0,0150m}{\sqrt{12}}$$

$$r = 4.33 \times 10^{-3} m$$

Una vez obtenido el radio de giro se procedió a calcular la relación de esbeltez y la constante de columna, donde para calcular la relación de esbeltez se asignó una longitud, así mismo se tomó un valor de k de la figura 16 para un tipo de fijación empotrada-libre, que es el que corresponde para este elemento, mientras que para la constante de columna se tomó el módulo de la elasticidad y resistencia a la fluencia del anexo 3del acero ASTM A 36.

Comparación de la relación esbeltez con la constante de columna

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{Sy}}$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 207 \times 10^9 Pa}{235 \times 10^6 Pa}}$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 207 \times 10^9 Pa}{235 \times 10^6 Pa}}$$

$$2 \times 0.1875m$$

$$4,33 \times 10^{-3}$$

$$86,60$$

El resultado de la comparación de la relación esbeltez con la constante de columna nos indicó que este elemento es una columna corta.

$$A = B \times H$$

$$A = 0.015m \times 0.150m$$

$$A = 2.25 \times 10^{-3} m^2$$

Una vez calculado el área se aplicó la fórmula [1.15] para determinar la carga crítica de pandeo que puede soportar este lado del elemento

$$Pcr = A \times Sy \times \left[1 - \frac{Sy \times \left(\frac{k \times L}{r}\right)^{2}}{4 \times \pi^{2} \times E}\right]$$

$$Pcr = 2,25 \times 10^{-3} m^2 \times 250 \times 10^6 Pa \times \left[1 - \frac{250 \times 10^6 Pa \times \left(\frac{2 \times 0,1875 m}{4,33 \times 10^{-3} m}\right)^2}{4 \times \pi^2 \times 207 e^9 Pa}\right]$$

Pcr = 433431,817N

Con el fin de asegurar el funcionamiento de este elemento se aplicó un factor de diseño

$$Pa = \frac{Pcr}{N}$$

$$Pa = \frac{433431,817N}{3}$$

$$Pa = 144477,272N$$

La carga admisible que soporta este elemento es mucho mayor que la fuerza de Bz a la que es expuesto este elemento, lo cual nos indica que este parte del elemento puede funcionar correctamente.

Para diseñar los soportes de cada lado fue necesario calcular las reacciones a cada lado de los extremos de la base, ya que en este punto se localizaron los soportes

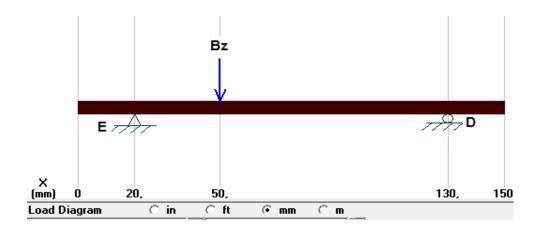


Figura 51. Diagrama de fuerzas aplicado en un el lado de la base

Posteriormente se realizó la sumatorias de fuerzas para obtener las reacciones en los extremos Ez y Dz obtenido como resultado lo siguiente

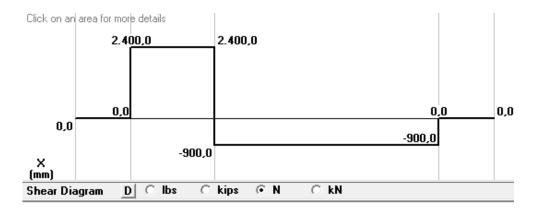


Figura 52. Reacciones en la base

$$\sum M_{Ax} = 0$$

$$-3300N \times 0,030m + Bz \times 0,110m = 0$$

$$Dz = \frac{99N.m}{0,110m}$$

Dz = 900N

$$\sum Fz = 0$$

$$Ez - 3300N + 900N = 0$$

Ez = 2400N

Estas fuerzas de los extremos Ez y Dz exponen a los soportes a compresión, siendo Ez el valor tomado como referencia para el diseño. El primer paso para diseñar los soportes de la base fue saber si el mismo es columna corta o larga, para conocer esto fue necesario comparar el valor de la relación de esbeltez con la constante de columna (Cc), para determinar la relación de esbeltez se aplicó la fórmula [1.13] fue necesario conocer el radio de giro del elemento, en este caso se tomó el radio de giro mínimo de un rectángulo ya que en este, el elemento tiende a fallar, para determinar el radio de giro se aplicó la fórmula para elementos rectangular del anexo 1

$$r_Y = \frac{B}{\sqrt{12}}$$

$$r = \frac{0,0150m}{\sqrt{12}}$$

$$r = 4{,}33 \times 10^{-3}m$$

Una vez obtenido el radio de giro se procedió a calcular la relación de esbeltez y la constante de columna, donde para calcular la relación de esbeltez se asignó una longitud, así mismo se tomó un valor de k de la figura 16 para un tipo de fijación empotrada-empotrada, que es el que corresponde para este elemento, mientras que para la constante de columna se tomó el módulo de la elasticidad y resistencia a la fluencia del anexo 3 del acero ASTM A 36.

Comparación de la relación esbeltez con la constante de columna

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{Sy}}$$

$$\frac{k \times L}{r}$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 207 \times 10^9 Pa}{235 \times 10^6 Pa}}$$

$$\frac{2 \times 0,19m}{4,33 \times 10^{-3}}$$

$$Cc = 123,246$$
> 87,759

El resultado de la comparación de la relación esbeltez con la constante de columna nos indicó que este elemento es una columna corta.

$$A = B \times H$$

$$A = 0.015m \times 0.040m$$

$$A = 6 \times 10^{-4} m^2$$

Una vez calculado el área se aplicó la fórmula [1.15] para determinar la carga crítica de pandeo que puede soportar este lado del elemento

$$Pcr = A \times Sy \times \left[1 - \frac{Sy \times \left(\frac{k \times L}{r}\right)^{2}}{4 \times \pi^{2} \times E}\right]$$

$$Pcr = 6 \times 10^{-4} m^2 \times 250 \times 10^6 Pa \times \left[1 - \frac{250 \times 10^6 Pa \times \left(\frac{2 \times 0,19m}{4,33 \times 10^{-3}} \right)^2}{4 \times \pi^2 \times 207 \times 10^9 Pa} \right]$$

$$Pcr = 114657,881N$$

Con el fin de asegurar el funcionamiento de este elemento se aplicó un factor de diseño

$$Pa = \frac{Pcr}{N}$$

$$Pa = \frac{114657,881N}{3}$$

$$Pa = 38219,293N$$

La carga admisible que soporta este elemento es mucho mayor que la fuerza de Ez a la que es expuesto este elemento, lo cual nos indica que este parte del elemento puede funcionar correctamente.

.

4. DISEÑO

4.1 DISEÑO DEL SISTEMA

El diseño del sistema está sujeto a los cálculos realizados, así como también a los requerimientos establecidos, este sistema tiene una arquitectura en donde los elementos interactúan entre sí en la siguiente figura se puede observar la arquitectura del sistema.

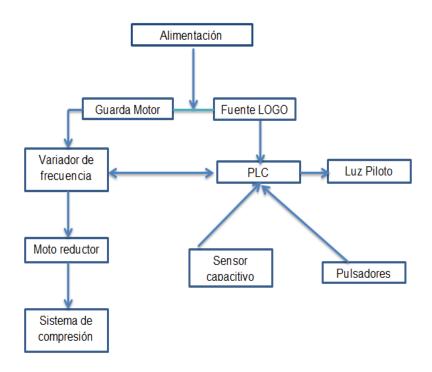


Figura 53. Arquitectura del sistema

4.2 DISEÑO MECÁNICO

Previo a la construcción del sistema de compresión de caramelos tipo pastillas se diseñó cada uno de los elementos mecánicos del sistema tomando como referencia los cálculos y requerimientos mencionados en el capítulo anterior.

Para cumplir el ciclo de compresión se diseñó el sistema que permita este proceso, analizando el desplazamiento de los mecanismos antes explicados, los cuales permiten el desplazamiento lineal vertical de los punzones

Se analizó dinámicamente el movimiento de estos mecanismos de tal manera poder realizar un diseño en donde los punzones y la tolva cumplan el ciclo de compresión, en la figura 54 se observa un diagrama del mecanismo de desplazamiento en donde el punto Y es el centro del eje principal, el punto X es el centro de la excéntrica, el cual gira con respecto al punto Y generando un ángulo \propto , el cual al variar permite al lado h variar en función del ángulo, lo cual permite finalmente obtener el desplazamiento con respecto a un punto Z.

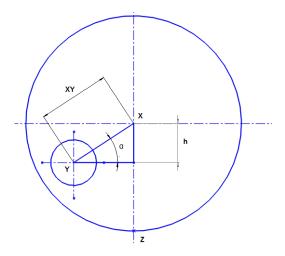


Figura 54. Diagrama del mecanismo para el desplazamiento

Se puede observar que se forma un triángulo, en función a esto se usó la función trigonométrica seno para calcular el lado h el cual varía en función del ángulo \propto .

$$h = XY \times \sin\alpha \tag{1.23}$$

Para calcular el desplazamiento con respecto al punto Z se obtuvo la fórmula que nos permitió obtener el desplazamiento de los punzones.

$$Desplazamiento = XY - h [1.23]$$

Posteriormente se aplicó la formula [1.23] con un valor de XY constante de 20 mm que es la excentricidad necesaria para que el punzón cumpla el ciclo de compresión, en la tabla 14 se observan los datos obtenidos de desplazamientos con respecto a la variación del ángulo.

Tabla 14. Desplazamiento del mecanismo del punzón superior

MECANISMO PUNZÓN SUPERIOR								
∝(°)	XY(mm)	sin ∝	h (mm)	DESPLAZAMIENTO (mm)				
0	20	0,00	0,00		20,00			
15	20	0,26	5,18		14,82			
30	20	0,50	10,00		10,00			
45	20	0,71	14,14		5,86			
60	20	0,87	17,32		2,68			
75	20	0,97	19,32		0,68			
90	20	1,00	20,00		0,00			
105	20	0,97	19,32		0,68			
120	20	0,87	17,32		2,68			
135	20	0,71	14,14		5,86			
150	20	0,50	10,00		10,00			
165	20	0,26	5,18		14,82			
180	20	0,00	0,00		20,00			
195	20	-0,26	-5,18		25,18			
210	20	-0,50	-10,00		30,00			
225	20	-0,71	-14,14		34,14			
240	20	-0,87	-17,32		37,32			
255	20	-0,97	-19,32		39,32			
270	20	-1,00	-20,00		40,00			
285	20	-0,97	-19,32		39,32			
300	20	-0,87	-17,32		37,32			
315	20	-0,71	-14,14		34,14			
330	20	-0,50	-10,00		30,00			
345	20	-0,26	-5,18		25,18			
360	20	0,00	0,00		20,00			

Para obtener el desplazamiento del punzón inferior se aplicó la formula [1.23] con un valor de XY constante de 10mm que es la excentricidad necesaria para que el punzón inferior se desplace y cumpla el ciclo de compresión, en la siguiente tabla se observan los datos obtenidos de desplazamiento.

Tabla 15. Desplazamiento del mecanismo del punzón superior

MECANISMO PUNZÓN INFERIOR									
∝(°)	XY (mm)	sin ∝	h (mm)	DESPLAZAMIENTO (mm)					
0	10	0,00	0,00	10,00					
15	10	0,26	2,59	7,41					
30	10	0,50	5,00	5,00					
45	10	0,71	7,07	2,93					
60	10	0,87	8,66	1,34					
75	10	0,97	9,66	0,34					
90	10	1,00	10,00	0,00					
105	10	0,97	9,66	0,34					
120	10	0,87	8,66	1,34					
135	10	0,71	7,07	2,93					
150	10	0,50	5,00	5,00					
165	10	0,26	2,59	7,41					
180	10	0,00	0,00	10,00					
195	10	-0,26	-2,59	12,59					
210	10	-0,50	-5,00	15,00					
225	10	-0,71	-7,07	17,07					
240	10	-0,87	-8,66	18,66					
255	10	-0,97	-9,66	19,66					
270	10	-1,00	-10,00	20,00					
285	10	-0,97	-9,66	19,66					
300	10	-0,87	-8,66	18,66					
315	10	-0,71	-7,07	17,07					
330	10	-0,50	-5,00	15,00					
345	10	-0,26	-2,59	12,59					
360	10	0,00	0,00	10,00					

En función a estos valores obtenidos de desplazamiento se seleccionó el ángulo de iniciación de los dos mecanismos, los cual permiten cumplir el

ciclo de compresión, en la siguiente figura se puede observar los ángulos de iniciación de los mecanismos y el desplazamiento de los punzones durante el ciclo de compresión

F	PUNZÓN SUPI	ERIOR	PUNZÓN INFERIOR			
Angulo	Dirección	Desplazamiento	Desplazamiento	Dirección	Angulo	
270		40	10	Î	360	
285		39,32	7,41		15	
300		37,32	5		30	
315		34,14	2,93		45	
330		30	1,34		60	
345		25,18	0,34		75	
360	Ц	20	0		90	
15		14,82	0,34		105	
30		10	1,34		120	
45		5,86	2,93		135	
60		2,68	5		150	
75		0,68	7,41		165	
90		0	10		180	
105		0,68	12,59		195	
120		2,68	15		210	
135		5,86	17,07		225	
150		10	18,66		240	
165		14,82	19,66		255	
180		20	20		270	
195		25,18	19,66		285	
210		30	18,66		300	
225		34,14	17,07	4 6	315	
240		37,32	15		330	
255		39,32	12,59		345	
270		40	10		360	

Figura 55. Ciclo de compresión del sistema expresado numéricamente

En la figura anterior se observa que el mecanismo para el punzón superior empieza en 270 grados mientras que el inferior en 360 lo cual permite la compresión, en la zona naranja existe la compresión del compuesto mientras que en la zona roja la expulsión de la pastilla, y la zona amarrilla corresponde a la zona de alimentación.

En función a estos valores de desplazamiento y cálculos realizados anteriormente se diseña cada uno de los elementos mecánicos del sistema.

4.2.1 MECANISMO PARA EL DESPLAZAMIENTO DEL PUNZÓN SUPERIOR

Este mecanismo permite el desplazamiento del punzón superior consta de algunos elementos los cuales permiten su correcto funcionamiento posee elementos que se encuentran ya construidos como, anillo de retención pernos y tuerca, los cuales fueron seleccionados de acuerdo a las características físicas de los otros componentes, se utilizó TOOLBOX de Solid Works para seleccionar el elemento correcto, mientras que el rodamiento se lo selecciono en función a los cálculos presentados en el capítulo anterior, en la figura 56 se observa el diseño del mecanismo.



Figura 56. Diseño del mecanismo del punzón superior

Los elementos diseñados con los que consta este mecanismo son los siguientes.

4.2.1.1 Anillo exterior 6914

Este elemento está hecho de Acero AISI 1018, permite contener el rodamiento 6914, lo cual permite que el rodamiento gire y cumpla la función de una biela, así mismo consta de dos brazos con una perforación en el cual se coloca el pasador, el cual permite a este elemento conectarse articuladamente con el punzón superior, la perforación va en función del diámetro mínimo del pasador y del diámetro del punzón superior calculado anteriormente.



Figura 57. Diseño anillo exterior 6914

Este elemento consta de una ranura en la cual se coloca el anillo de retención, seleccionado en el TOOLBOX de Solid Works el cual permite escoger el elemento adecuado para cada aplicación, recomendando las medidas de diámetro y profundidad del canal.

4.2.1.2 Excéntrica 6914

Este elemento permite trasmitir el movimiento circular del eje principal, cumple la función de una manivela, está hecho de acero AISI 1018, este elemento está diseñado en función de las características del diámetro interno del rodamiento 6914 ya que este está empotrado dentro del rodamiento.



Figura 58. Diseño excéntrica 6914

Este elemento posee una perforación con el diámetro del eje principal, la cual se encuentra a 270 grados del centro de la excéntrica y está ubicada excéntricamente a de 20mm, lo cual permite cumplir con los desplazamientos calculados anteriormente.

La excéntrica y el eje principal, están conectados a través de una chaveta, lo cual permite trasmitir el movimiento, por tal motivo a este elemento se lo diseña con una ranura, en donde se coloca la chaveta.

4.2.1.3 Punzón superior

Este elemento consta de dos partes desmontables lo cual permite que cuando se requiera cambiar de forma de comprimido se cambie la parte pequeña, la parte grande de este elemento va acoplado con el anillo exterior

a través del pasador, esta parte cumple la función de un embolo, está hecho de acero inoxidable AISI 304, y posee una cavidad roscada para poder acoplarse con la parte pequeña sus dimensiones van en función de la carga máxima que soporta calculada anteriormente



Figura 59. Diseño punzón superior grande

La parte pequeña está hecha de acero inoxidable AISI 304 es la parte desmontable del punzón, la cual entra en contacto con el compuesto aplicando la fuerza de compresión, posee una parte roscada que permite acoplarse con la parte grande, así mismo esta rosca permite calibrar la penetración del punzón en la matriz variando así el espesor del caramelo.



Figura 60. Diseño del punzón superior pequeño

4.2.2 MECANISMO PARA EL DESPLAZAMIENTO DEL PUNZÓN INFERIOR

Este mecanismo permite el desplazamiento del punzón inferior consta de algunos elementos que se encuentran ya construidos similares a los del mecanismo para el punzón superior pero con diferentes medidas, los mismos fueron seleccionados de acuerdo a las características físicas de los otros componentes, se utilizó TOOLBOX de Solid Works para seleccionar el elemento correcto, mientras que el rodamiento se lo selecciono en función a los cálculos presentados en el capítulo anterior, en la figura 61 se observa el diseño del mecanismo.

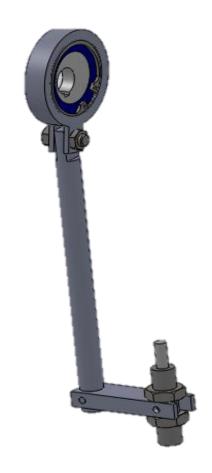


Figura 61. Diseño del mecanismo del punzón inferior

Los elementos diseñados con los que consta este mecanismo son los siguientes.

4.2.2.1 Anillo exterior 6910

Este elemento está hecho de Acero AISI 1018, permite contener el rodamiento 6910, lo cual permite que el rodamiento gire y cumpla la función de una biela, así mismo consta de dos brazos con una perforación en el cual se coloca el pasador, el cual permite a este elemento conectarse articuladamente con un eje vertical, la perforación va en función del diámetro mínimo del pasador y del diámetro del eje vertical calculado anteriormente.



Figura 62. Diseño del Anillo exterior 6910

Este elemento consta de una ranura en la cual se coloca el anillo de retención, seleccionado en el TOOLBOX de Solid Works.

4.2.2.2 Excéntrica 6910

Este elemento permite trasmitir el movimiento circular del eje principal, cumple la función de una manivela, está hecho de acero AISI 1018, este elemento está diseñado en función de las características del diámetro interno del rodamiento 6910 ya que este está empotrado dentro del rodamiento.



Figura 63. Diseño excéntrica 6910

Este elemento posee una perforación con el diámetro del eje principal, se encuentra a 360 grados del centro de la excéntrica y está ubicada excéntricamente a 10mm, lo cual permite cumplir con los desplazamientos calculados anteriormente.

La excéntrica y el eje principal, están conectados a través de una chaveta, lo cual permite trasmitir el movimiento, por tal motivo a este elemento se lo diseña con una ranura.

4.2.2.3 Eje vertical

Este elemento cumple la función de un embolo que va conectado al punzón a través de un soporte horizontal que los conecta, lo cual permite que el eje

de desplazamiento del punzón inferior sea el mismo que el del superior, está hecho de acero inoxidable AISI 304, este elemento va acoplado con el anillo exterior 6910 a través del pasador, sus dimensiones van en función de la carga máxima que soporta calculada anteriormente.



Figura 64. Eje vertical

4.2.2.4 Soporte horizontal

Este elemento permite conectar el eje vertical con el punzón inferior permitiendo que el punzón inferior este en el mismo eje de desplazamiento del punzón superior logrando así la compresión, este elemento esta hecho del acero AISI A 36, sus dimensiones van en función de la carga máxima que soporta calculado anteriormente.

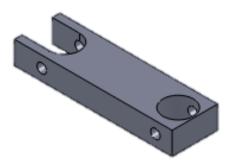


Figura 65. Soporte Horizontal

4.2.2.5 Punzón inferior

Este elemento consta de dos partes desmontables lo cual permite que cuando se requiera cambiar de forma de comprimido se cambie la parte pequeña, la parte grande de este elemento va acoplado con el soporte horizontal a través de pernos, lo cual permite regular y calibrar el punzón con la matriz, este elemento está hecho de acero inoxidable AISI 304, y posee una cavidad roscada para poder acoplarse con la parte pequeña sus dimensiones van en función de la carga máxima que soporta calculada anteriormente.



Figura 66. Diseño punzón inferior grande

La parte pequeña está hecha de acero inoxidable AISI 304 es la parte desmontable del punzón, la cual entra en contacto con el compuesto aplicando la fuerza de compresión, posee una parte roscada que permite acoplarse con la parte grande, sus dimensiones van en función de los cálculos anteriormente presentados.



Figura 67. Diseño punzón inferior pequeño

4.2.3 MECANISMO PARA EL DESPLAZAMIENTO DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN Y EXPULSIÓN

Este mecanismo permite el desplazamiento de la tolva, consiste en una leva seguidor en donde la leva al girar permite al seguidor moverse a medida que ella gira, para lograr que el seguidor esté permanentemente en contacto con la leva ,esta tiene un canal en el cual permite al seguidor desplazarse, el seguidor debe su movimiento no solo a la leva sino también a un pivote al cual está conectado, este permite al seguidor moverse pendularmente en función del giro de la leva, el seguidor está conectado a un sistema de barras articuladas que permiten mover la tolva horizontalmente de forma oscilante para alimentar la matriz y a su vez expulsar la pastilla, en la figura 68 se observa el diseño del mecanismo.

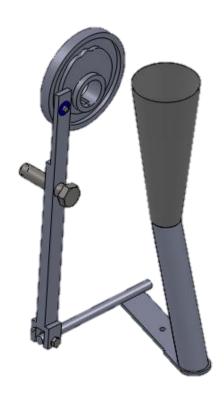


Figura 68. Diseño del mecanismo para el desplazamiento de la tolva

Los elementos que forman parte del mecanismo son los siguientes:

4.2.3.1 Leva seguidor

Este elemento permite trasmitir el movimiento circular del eje principal, cumple la función de una leva seguidor, está hecho de acero AISI 1018, este elemento posee una perforación con el diámetro del eje principal, la cual se encuentra en un ángulo opuesto a la de le excéntrica 6910 es decir a 180 grados y está ubicada excéntricamente a 10mm.



Figura 69. Diseño leva seguidor

La leva seguidor y el eje principal están conectados a través de dos pasadores, este elemento posee un canal con una serie de variaciones en su punto más alto lo cual provoca que el seguidor al momento de desplazarse por esa superficie vibre, lo cual ayuda al compuesto dentro de la tolva caer con mayor facilidad sobre la matriz.

4.2.3.2 Sistema de barras

Este sistema contiene dos barras una horizontal y otra vertical las cuales están conectadas articuladamente a través de un pasador, la barra horizontal posee un seguidor el cual gira en función de la leva y un pivote que se encuentra en un lado de la base, lo cual permite sostener la barra y principalmente permite que se mueva pendularmente, permitiendo así

trasmitir un movimiento vertical a la barra que va conectada a la tolva de alimentación.

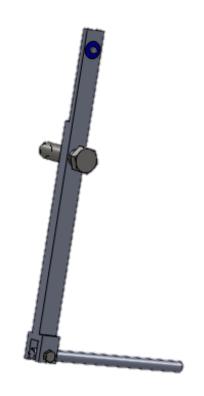


Figura 70. Diseño sistema de barras

4.2.3.3 Sistema de alimentación

Este sistema consta de dos elementos, una barra que recibe el movimiento vertical del sistema anterior y una tolva en donde se almacena el polvo, la barra costa de un pivote el cual se encuentra en la bancada de la base lo cual permite variar el movimiento vertical recibido del sistema de barras a un movimiento pendular, logrando así el desplazamiento final deseado para la alimentación y expulsión de caramelo.

Esta barra tiene un tubo inclinado al extremo contrario de la conexión con el sistema de barras, el cual permite ser el canal de alimentación entre la tolva y la matriz.



Figura 71. Diseño del sistema de alimentación

La tolva se encuentra conectada al tubo inclinado, lo cual permite depositar el polvo a través del mismo para posteriormente alimentar la matriz, la tolva posee un orifico en el cual se colocara el sensor para poder monitorear el polvo, cabe mencionar que la tolva, es el elemento que permite conectar el sistema de compresión con un sistema previo de almacenamiento y mezclado de polvo, por tal razón la tolva fue diseñada principalmente en función del tamaño del sistema de compresión mas no de su capacidad de almacenamiento.

4.2.4 OTROS ELEMENTOS

El sistema de compresión consta de otros elementos que son importantes para su funcionamiento los cuales son los siguientes:

4.2.4.1 Eje principal

Este elemento es uno de los elementos más importantes en el funcionamiento del sistema ya que es el que trasmite el movimiento del

motor, está sometido a cargas axiales cortantes, esfuerzos flexionante y esfuerzo torsionales, este elemento está hecho de Acero AISI 705, y sus dimensiones van en función de los cálculos realizados anteriormente, posee canales para los anillos de retención y canales para las chavetas, cabe mencionar que en el diseño fue necesario aumentar su longitud para poder ser acoplarlo con el motor, teniendo un diámetro menor en la parte que se acopla con el motor debido al diámetro de la caja de reducción del motor.



Figura 72. Diseño del eje principal

4.2.4.2 Matriz

Este elemento es en donde el sistema de alimentación descarga el polvo para posteriormente ser comprimido, tiene una perforación circular de 10 mm de diámetro lo cual vendría a ser el diámetro de la pastilla, este elemento es desmontable para su limpieza y para cambiar de matriz si se desea otra forma u otra medida de comprimido



Figura 73. Diseño de la matriz

4.2.4.3 Base

Este elemento es donde se asientan todos los elementos mecánicos antes expuestos del sistema de compresión, está hecho principalmente de acero estructural AISI A 36 en plancha, está diseñado en función a los cálculos antes mencionados así como en función de las dimensiones de los demás componentes, posee una bancada en donde se acopla la plancha de acero inoxidable en la cual se asienta el sistema de alimentación así mismo es donde se asienta la matriz, la base también tiene un sistema de guías las cuales permiten el desplazamiento horizontal de los punzones, estas guías en su parte interior están elaboradas de nylon lo cual permiten evitar el rozamiento con los punzones así como también permite tener exactitud en el desplazamiento.

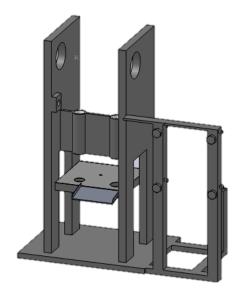


Figura 74. Diseño de la base

La bancada va acopla a una bandeja la cual permite que las pastillas caigan a un recipiente, la base también posee una estructura lateral en donde se acopla y se ancla el motorreductor así evitar vibraciones, consta de 4 perforaciones en donde se colocan los 4 pernos con los cuales se sujeta el motor.

4.2.4.4. Gabinete

Este elemento es donde se colocan cada uno de los componentes eléctricos que forman parte del sistema de control y eléctrico, está diseñado en función de las dimensiones de cada uno de los elementos de control, posee perforaciones que están distribuidos estética y funcionalmente para colocar los pulsadores, luz piloto y paro de emergencia.

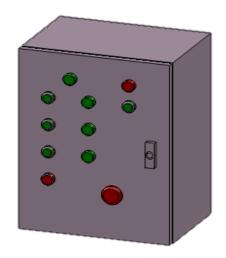


Figura 75. Diseño del gabinete

4.2.5 COMPROBACIÓN DE CARGA

Una vez diseñado se realizó una simulación en la herramienta de Solid Works SIMULATIONXPRES con lo que se buscaba comprobar los cálculos antes presentados, esta simulación se realizó a los elementos del sistema principalmente a los que están expuestos a grandes cargas, siendo la zona azul la zona más segura mientras que la zona roja es donde podría fallar el elemento.

Punzón superior grande

La carga crítica máxima con la que se diseñó no deforma al elemento, así mismo el resultado de esta simulación nos da como resultado un factor de seguridad mínimo de 6,35 siendo mayor con el que se diseñó de 3, lo cual nos garantiza una confiabilidad en el diseño, en la siguiente figura se observa el resultado de la simulación en donde se observa cómo se deformaría el elemento al ser sometido a cargas mayores a las calculadas anteriormente.

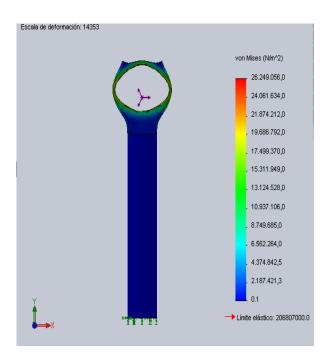


Figura 76. Deformación del punzón superior grande

Punzón superior pequeño

la carga crítica máxima que soporta este elemento no deforma al elemento, así mismo nos indica que el factor de seguridad más bajo es de 3,65 siendo mayor con el cual se diseñó.

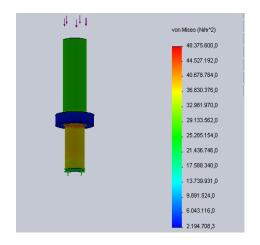


Figura 77. Deformación del punzón superior pequeño

Eje vertical

La carga crítica máxima que soporta el eje vertical no deforma al elemento, así mismo nos indica que el factor de seguridad más bajo es de 6,1 siendo mayor con el cual se diseñó de 3.

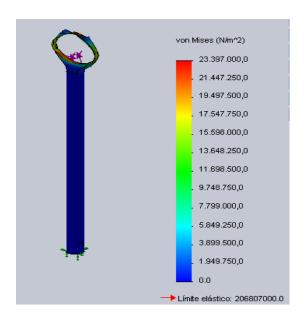


Figura 78. Deformación del eje vertical

Soporte horizontal

La carga crítica máxima que soporta el soporte horizontal no deforma al elemento, así mismo nos indica que el factor de seguridad más bajo es de 2,9 siendo mayor con el cual se diseñó de 2,5.

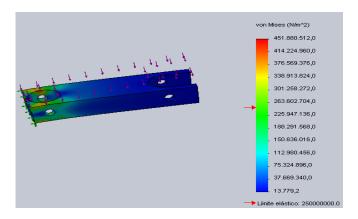


Figura 79. Deformación del soporte vertical

Punzón inferior grande

La carga crítica máxima que soporta este elemento no deforma al elemento, así mismo nos indica que el factor de seguridad más bajo es de 6,6 siendo mayor con el cual se diseñó de 3.

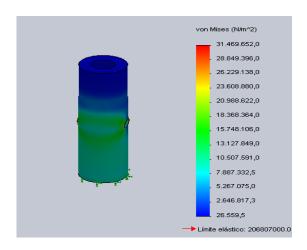


Figura 80. Deformación del punzón inferior grande

Punzón inferior pequeño

La carga crítica máxima que soporta este elemento no deforma al elemento, así mismo nos indica que el factor de seguridad más bajo es de 3,5 siendo mayor con el cual se diseñó de 3.

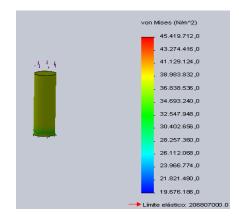


Figura 81. Deformación del punzón inferior pequeño

Base

La carga crítica máxima que soporta los extremos de la base no deforma al elemento, así mismo nos indica que el factor de seguridad más bajo es de 8,2 siendo mayor con el cual se diseñó de 3.

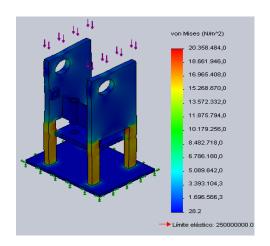


Figura 82. Deformación de la base

4.2.6 ENSAMBLAJE FINAL

Una vez diseñado cada uno de los componentes mecánicos se realizó el acople de cada uno de los elementos, el acople y el diseño de todos los elementos se lo realizo en Solid Works, en la siguiente figura se ve el acople mecánicofinal.

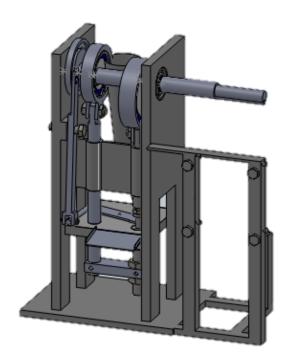


Figura 83. Diseño final del Sistema Mecánico

Una vez que se acopló todo el sistema mecánico se realizó un estudio de movimiento en Solid Works simulando el movimiento de todo el sistema, para esto se seleccionó un motor con las características del motor seleccionado de tal forma que se verifico el correcto funcionamiento mecánico del sistema, en la siguiente figura se observa el diseño final acoplado el gabinete y el motoreductor.

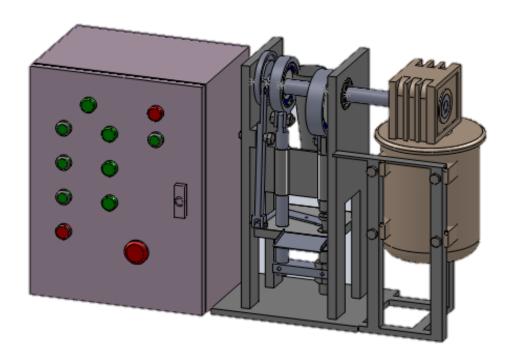


Figura 84. Diseño Final del Sistema

4. 3 DISEÑO ELÉCTRICO

El diseño eléctrico se lo realizo en función a las características de cada uno de los elementos eléctricos, así como también de los requerimientos del sistema.

En la figura siguiente se puede observar el esquema eléctrico de todo el sistema

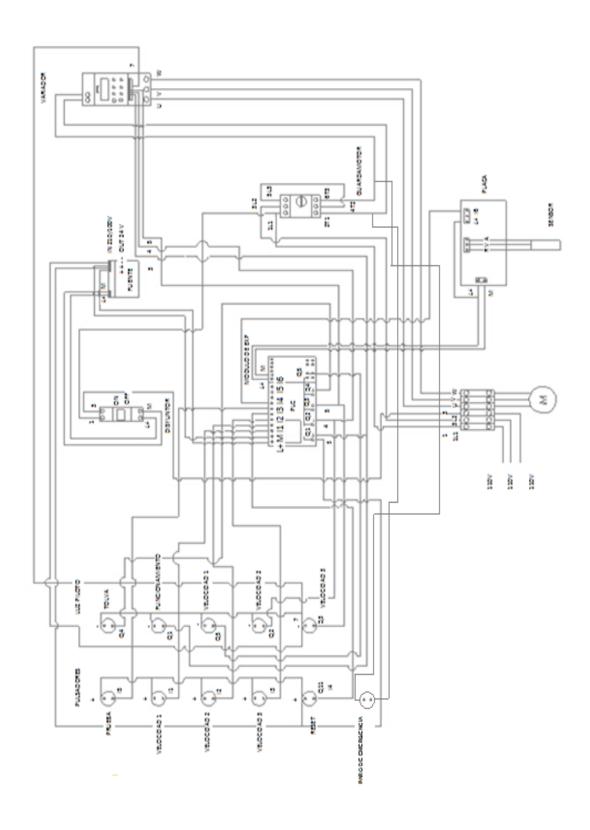


Figura 85. Diseño eléctrico

La alimentación inicial del sistema es de 220V AC trifásica, en donde se toma dos polos 1 y 3 los cuales van conectados a un disyuntor el cual cumple la función de un ON/ OFF, posteriormente este alimenta a la fuente LOGO la cual trasforma a 24V DC permitiendo alimentar al PLC, en donde van conectados los pulsadores y sensor en las entradas, mientras que las luces piloto y las señales de entrada 3,4,5 del variador a las salidas del PLC y módulo de expansión, por otra parte se toma un polo en común de la alimentación de la fuente 1 y el polo restante 2 para alimentar al quardamotor, el cual en sus salidas va conectado al variador de frecuencia con la finalidad de proteger al variador y al motor, finalmente las salidas del variador de frecuencia U,V,W van conectados al motor en conexión triangulo como fue mencionado anteriormente, todo este diseño eléctrico permite energizar y poner en correcto funcionamiento al sistema de control, sin embrago también fue necesario diseñar una placa electrónica para el sensor ya que el mismo funciona a 5 V en la siguiente figura se observa el diseño de la placa.

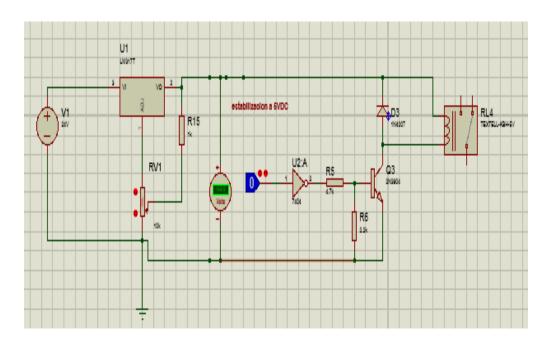


Figura 86. Diagrama esquemático del circuito electrónico.

El diseño fue realizado en función de la alimentación inicial provenientes de la fuente logo así como al voltaje de funcionamiento del sensor.

El diseño consta de dos zonas, la zona izquierda permite regular le voltaje de alimentación inicial de 24V DC, a 5V DC trasformado por el LM317, de esta zona se toma los 5V para energizar al sensor, la zona de la derecha permite mandar la señal de activación del sensor, en esta zona se colocó un relé ya que este al ser un dispositivo que funciona como un interruptor acciona el contacto del sensor al detectar polvo así mismo el diseño consta de una compuerta lógica NOT ya que como se mencionó anteriormente el sensor se encuentra en estado normalmente abierto, es decir que cuando el sensor detecta polvo manda una señal de 0, y lo que se necesitaba en la entrada del PLC es 1, lo cual indicaría que si existe material, la compuerta lógica NOT permitió realizar esta operación ya que cuando su entrada está en 0, su salida está en 1. Esto permite al sensor mandar la señal adecuada al PLC para realizar el monitoreo correcto del sistema de alimentación así como la correcta integración con el diseño eléctrico antes mencionado.

4.4 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PLC

Una vez hecho el diseño eléctrico y mecánico fue necesario realizar un diagrama de flujo del funcionamiento del sistema, de tal manera poder realizar la programación y simulación del programa del PLC con mayor facilidad, en la siguiente figura se puede observar una representación gráfica ordenada de las de actividades y operaciones que en el sistema de compresión se debe seguir.

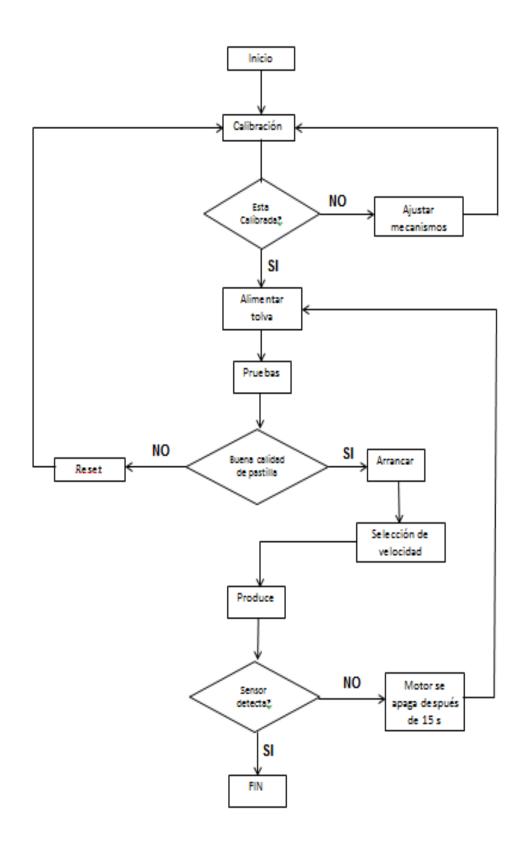


Figura 87. Diagrama de flujo del control del proceso del PLC

4.5 SIMULACIÓN DEL SISTEMA

Una vez que se realizó el diseño eléctrico y el diagrama de flujo se desarrolló y simuló el programa para el sistema, para esto se utilizó la herramienta LOGO!Soft Comfort V7.

El programa se lo realizó en función a los requerimientos del sistema de control para esto se utilizaron los siguientes bloques existentes en LOGO!Soft Comfort V7.

- Entradas. En el programa se utilizaron 6 entradas, una para cada velocidad, una para el reset, una para el botón de prueba y el último para el sensor.
- Salidas. Se utilizaron 5 salidas una para cada entrada del variador lo cual activo cada uno de las velocidades, una para la luz de puesta en marcha y otra para indicar si hay o no comprimido en el sistema de alimentación.
- Retardo a la desconexión. Se utilizó un bloque de este tipo debido a que se necesitaba que el sensor al dejar de detectar polvo se desconecte después de un cierto tiempo
- **OR.** Se utilizó este tipo de bloque ya que permite activar una salida cuando se active cualquiera de sus entradas.
- AND. Se utilizó este tipo de bloque ya que permite activar una salida siempre y cuando todas sus entradas estén activadas.
- Relés auto enclavadores. Se utilizó este bloque debido a que se necesitaba mantener una salida activada hasta que otra señal active su segunda entrada, la cual vendría a ser prácticamente un reset.

Con todos los bloques antes mencionados aplicados de manera conjunta se logró realizar el programa para el sistema de control, en la siguiente figura se puede observar el programa ya finalizado.

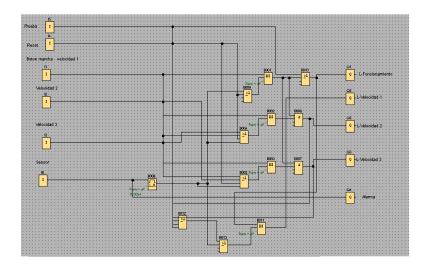


Figura 88. Programa en logo del control del PLC

El programa permite seleccionar tres velocidades, siendo necesariamente la velocidad 1 la entrada de activación de todo el sistema, es decir que el sistema no puede empezar a funcionar cuando se activa las demás velocidades sin embargo es posible realizar pruebas a través de pulsos con el pulsador de prueba, así mismo se colocó un botón de reset y paro para todas la velocidades cabe mencionar que este paro solo es de control, el programa permite visualizar que la maquina esta marcha así como también en que marcha se encuentra funcionado, por la parte del sensor el programa permite activar una luz cuando el mismo deja de detectar material, esta luz permanecerá encendido hasta que se detecte polvo nuevamente caso contrario la máquina se parara después de 20 segundos, cabe mencionar que el programa solo permite activar una velocidad a la vez previniendo así una posible mala manipulación, en el siguiente figura se muestra un ejemplo de la simulación en donde cuando se activa la primera velocidad se

enciende la luz de funcionamiento y la luz de la velocidad 1 así como también se observa que el sensor esta detectado polvo.

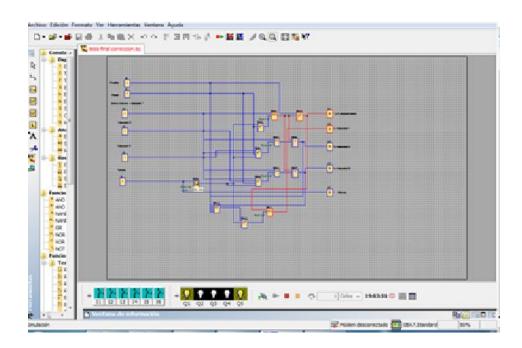


Figura 89. Simulación del programa

4.6 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO

Una vez de haber finalizado con todos los diseños, y simulaciones se procedió a la construcción del sistema en función al diseño y a los calculados anteriormente presentados, para la construcción de todo el sistema fue necesario el uso de máquinas herramientas como torno, para operaciones de desbaste, refrentado, chavetas internas, canales entre otros, así mismo fue necesario el uso de fresa para la ratificación de superficies planas, chaveteras entre otros.

Los primeros elementos que se empezaron a construir fueron los que necesitaban ser trabajados en el torno como excéntricas, punzones, anillos, eje principal y matriz, en la siguiente figura se observa la elaboración de una de las excéntricas.



Figura 90. Maquinado de elementos en el torno

Una vez realizado los trabajos en el torno en función a los diseños se empezó a realizar los trabajos adicionales de cada una de las piezas como perforaciones, destajes, canales, chaveteros, roscas entre otros.



Figura 91. Excéntrica 6910

Durante la construcción fue muy importante ir comparando las medidas entre los elementos, en el caso de la matriz y los punzones al ser elementos que requerían mucha precisión se fue probando poco a poco hasta llegar a lo requerido.



Figura 92. Punzón inferior, matriz

Cabe mencionar que en el caso de los punzones al ser de acero inoxidable, al maquinar se lo realizo con mayor cuidado debido a que este es un poco más difícil de ser trabajado.



Figura 93. Punzón superior

En el caso de los anillos fue necesario soldar los dos brazos que permiten acoplarse con los punzones a través del pasador, así mismo para acoplar el anillo con el rodamiento y este con la excéntrica se utilizó una prensa para poder acoplaros de forma correcta sin dañar los rodamientos.



Figura 94. Anillo 6914, acoplado con rodamiento y anillo de retención



Figura 95. Anillo 6910, acoplado con rodamiento y excéntrica

Una vez realizados estos elementos se empezó a trabajar con el eje principal, este elemento consta de chaveteros para cada uno de los anillos, así como también de un chavetero en la parte más delgada para poder acoplarse con el motoreductor, esto fue realizado en la fresa mientras que los canales para los anillos de retención los cuales evita el movimiento vertical de los anillos fueron hechos en el torno.



Figura 96. Eje principal

Unas vez construidos los elementos para el desplazamiento de los punzones se empezó a construir los elementos para el movimiento de la tolva, en la siguiente figura se puede observar la barra seguidor en donde se observa que consta de un pequeño rodamiento lo cual permite que seguidor gire con mayor facilidad en función al giro de la leva.



Figura 97. Barra seguidor

Para el sistema de alimentación fue necesario utilizar la suelda TIG para poder soldar los elementos de acero inoxidable que forman parte de este sistema de barras, así mismo fue necesario comprar una tolva ya hecha por motivos de facilidad, a este elemento se le realizó una perforación para poder insertar el sensor de monitoreo de polvo.



Figura 98. Sistema de alimentación y expulsión, tolva

Para la constricción de la base fue necesario cortar las bases lateras mediante oxicorte debido al espesor de las planchas, posteriormente se rectificó en la fresa y se eléboro las perforación en donde se acoplan los rodamientos 6905, procedimiento similar se utilizó con la bancada en donde se realizó las perforaciones para acoplar la matriz así como la perforación para el paso del eje vertical, el soporte horizontal se cortó con oxicorte y se lo rectificó con el torno debido a su tamaño.

Una vez construidos estos elementos se procedió armar la base en función del diseño, estos elementos son acoplados entre sí mediante suelda eléctrica.

Lo primero que se realizó fue soldar las bases con mucha precisión las cuales fueron calibradas entre sí mediante nivel.



Figura 99. Construcción de la base

Posteriormente se alineó con el eje principal verificando el procedimiento anterior, después se procedió a alinear la bancada a la altura indicada, cabe mencionar que fue necesario primero insertar el eje vertical soldado con el soporte horizontal a 90 grados por motivos de facilidad al armado



Figura 100. Eje vertical y soporte horizontal a 90 grados

Para alinear la bancada fue necesario alinearlo con los punzones, en función al diseño, posteriormente procedió a soldar la bancada a las bases laterales.



Figura 101. Alineación de la bancada

Finalmente para la construcción de la base fue necesario alinear las guías de los punzones, estos elementos son fundamentales en el funcionamiento del sistema, poseen un su interior un bocín de Nylon el cual permite el correcto desplazamiento de los punzones sin vibraciones y excesivo rozamiento.



Figura 102. Guías

Al momento de soldar las guías fue necesario que los punzones estén dentro de él, fue necesario lubricar con la finalidad que el Nylon no se deforme al momento de estar expuesto al calor.



Figura 103. Alineación de guías

Una vez alineado y soldado tanto guías como bancada se procedió a retirar los elementos desmontables con la finalidad de no dañar al momento de soldar la estructura, que permite anclar y acoplar al motor, y el soporte para el pivote de la barra del sistema de alimentación.



Figura 104. Acople del motor

Finalmente al tener construidos todos los elementos, se ensamblo todo el sistema mecánico.



Figura 105. Ensamblaje de comprobación

Una vez que se comprobó el correcto funcionamiento del sistema sin carga se realizó una prueba de funcionamiento con carga pero de forma manual, el resultado fue acorde a lo esperado.



Figura 106. Prueba de funcionamiento manual

Una vez que se comprobó el correcto funcionamiento del sistema se procedió a desarmar nuevamente todo el sistema para pasar a la fase de acabados en donde se pintó la base, y se cromó los anillos y barra pivote de alimentación por cuestiones estéticas.



Figura 107. Base

Una vez dado acabados se armó nuevamente el sistema con todos los elementos de sujeción pernos anillos de retención estipulados en el diseño así como también se acoplo, el motor, y la bandeja.



Figura 108. Sistema Mecánico final (vista posterior)

Se colocó señalización para indicar el peligro al manipular la máquina cuando el sistema está en funcionamiento, así como la asepsia que debe tener el usuario, al manipular la máquina.



Figura 109. Sistema Mecánico final (vista frontal)

4.7 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

La constricción del sistema eléctrico va en función del esquema eléctrico antes presentando, durante el armado del tablero eléctrico fue necesario ir conectado elemento por elemento, sin descuidar el espacio que ocupaba cada elemento procurando que entren todos los elementos en el gabinete de forma ordenada y estratégica de tal forma que sea accesible conectar y desconectar los elementos.

Una vez conectados todos elementos fue necesario configurar el variador de frecuencia en función a los requerimientos, datos del motor así como a las frecuencias que se deseaba que el motor trabaje.

Primero se realizó una puesta en servicio rápida (P0010=1), esta es una prestación del variador que permitió de una forma rápida y segura, configurar al variador en función de las características del motor, cabe mencionar que es indispensable que el motor se encuentre conectado al variador cuando se realizar esta configuración también es necesario tener el panel operador para realizar dicha configuración, una vez que se puso en marcha se activaron cada de una de las tres entradas del variador con las siguientes prestaciones:

- P0702 Función de la entrada digital 1. Se configuró esta prestación para que el motor gire a 20Hz siendo la velocidad número 1 que se activa en el borne 3
- P0703 Función de la entrada digital 2. Se configuró esta prestación para que el motor gire a 40Hz siendo la velocidad número 2 que se activa en el borne 4
- P0704 Función de la entrada digital 3. Se configuró esta prestación para que el motor gire a 60Hz siendo la velocidad número 3 que se activa en el borne 5

Para que estas entradas se activen fue necesario tener el borne número 7 como punto común.



Figura 110. Conexión del variador

También fue necesario pasar el programa de logo desde la computadora al PLC a través del cable de comunicación, cabe mencionar que para realizar todas estas operaciones fue necesario tener energizado todo el esquema eléctrico tomando en cuenta que se necesita una toma trifásica



Figura 111. Pruebas de funcionamiento sistema eléctrico

Como se mencionó anteriormente para energizar e integrar el sensor con el sistema eléctrico fue necesario construir las placas electrónicas en función del diseño.



Figura 112. Tarjeta electrónica (vista posterior)

Esta placa consta en la parte izquierda de un borne de dos que es donde entran los 24V de la fuente, en la parte central consta de un borne de tres en donde el primer terminal se tienen los 5V ya trasformados y es en donde se conecta el terminar rojo del sensor, en el segundo borne se tiene el punto común y es en donde se conecta el terminal verde del sensor finalmente en el tercer borne la señal proveniente de la zona de activación, esta zona consta de un borne de dos en donde se energiza con 24V y se conecta la entrada del PLC destinada para el sensor.



Figura 113. Tarjeta electrónica (vista frontal)

Una vez configurado, programado, armado y construido cada uno de los elementos se procedió a realizar la prueba de funcionamiento de todo el sistema de control, cabe destacar que es necesario conectar al motor de tal forma que el sentido de giro sea horario, sentido necesario para la compresión, en la siguiente figura se muestra el esquema electico armado.



Figura 114. Gabinete abierto



Figura 115. Gabinete eléctrico

El gabinete finalmente consta de las siguientes prestaciones:

- Luz piloto verde L1. Indica que el sistema está funcionando independientemente la velocidad de trabajo.
- Luz piloto verde L2. Indica que se encuentra en funcionamiento la velocidad número uno a 20 Hz.
- Luz piloto verde L3. Indica que se encuentra en funcionamiento la velocidad número dos a 40Hz.
- Luz piloto verde L4. Indica que se encuentra en funcionamiento la velocidad número tres a 60Hz.
- Luz piloto roja L5. Indica que no existe material en la tolva, la cual se desactiva al momento de nuevamente llenar la tolva.
- Pulsador verde P1. Permite activar el motor a pulsos para realizar calibraciones y pruebas.
- Pulsador verde P2. Permite encender todo el sistema y a su vez activar la velocidad número 1.
- Pulsador verde P3. Permite activar la velocidad número dos.
- Pulsador verde P4. Permite activar la velocidad número tres.
- Pulsador rojo P5. Permite realizar un paro de control y a su vez resetear todas las velocidades
- Paro de emergencia E. Permite parar completamente el sistema.

4.8 FORMULACIÓN DEL GRANULADO

Uno de los factores más importantes que ayuda al correcto funcionamiento de sistema de compresión fue la formulación del granulado con el cual se comprimió, en este caso se realizó una fórmula de compresión húmeda la cual tuvo como características principales la fluidez y buen nivel de compactación factores importantes al comprimir, la formulación contiene los siguientes compuestos.

- Panela. Cumplió la función de dar el sabor, tiene una concentración del 80%.
- Estereato de magnesio. Permitió que el granulado no se pegue a las paredes de la matriz tuvo una concertación del 5%.
- **Talco.** Permitió dar fluidez al granulado, tuvo una concentración del 2%.
- Almidón. Permitió dar volumen así como también ayudo a la aglutinación del granulado, tuvo una concentración del 10%.
- Aceite vegetal. Permitió aglutinar y lubricar al granulado tuvo una concentración del 3%.

Para lograr las características apropiadas del granulado fue necesario realizar la formulación con la vía húmeda en donde primero se mezcló la panela, almidón y aceite en las concentraciones antes explicadas, se tamizo esta mezcla para posteriormente ser secada durante 3 horas, posteriormente se tamizado nuevamente y se añadió las proporciones indicadas de EM y talco, finalmente realizado estos procedimientos el granulado está listo para ser comprimido.



Una vez construido el sistema mecánico y el sistema de control se procedió a intégralos, en la siguiente figura se puede observar el sistema de compresión de caramelos tipo pastillas.



Figura 116. Sistema de compresión de caramelos tipo pastilla

El sistema de compresión tuvo como características principales las siguientes:

- Fuerza de compresión de 3 KN
- Posee tres velocidades (19, 38,56 rpm)
- Esta hecho mayoritariamente de acero inoxidable AISI 304
- Tiene como dimensiones 620x430x190 mm
- Punzones y matriz para pastillas de 10mm de diámetro y hasta 10mm de ancho
- Motor ½ hp
- Sistema eléctrico a 220 V AC trifásico

• Paro de emergencia

5.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Finalmente se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento con la finalidad de validar el sistema, para poder realizar las pruebas fue necesario contar con un lugar en donde se disponga de una alimentación trifásica, al alimentar el sistema es necesario prender el disyuntor seguido del guardamotor para así energizar a todo el sistema de control, en la siguiente grafica se puede observar los dos sistemas integrados antes de energizar el sistema de control.



Figura 117. Integración de los sistemas mecánicos y de control

Una vez que se energizó el sistema de control inmediatamente se prende la luz piloto L5 lo cual indica que no existe polvo sobre la tolva, posteriormente se calibro y ajusto cada uno de los elementos mecánicos como punzones matriz sistema de alimentación y expulsión, para esto se necesitó llaves de

acuerdo a la numeración de cada tuerca, una vez hecho esto se realizó una prueba sin carga con el pulsador P1 el cual permite encender el motor por pulsos a una velocidad baja de tal manera que se verificó si el sistema mecánico está perfectamente calibrado.



Figura 118. Calibración del sistema mecánico

Después que se calibró el sistema mecánico se procedió a colocar el granulado en la tolva, una vez que se llenó hasta el nivel mínimo de detección del sensor la luz piloto se apaga indicando que es posible empezar a trabajar con carga.

La tolva tiene una capacidad de carga de aproximadamente de 180 gr, cabe mencionar que el sistema de compresión al ser parte de una cadena de procesos, necesita de sistemas previos para poder producir en gran cantidad.



Figura 119. Alimentación de tolva

Al alimentar la tolva fue posible empezar a realizar las pastillas, cabe destacar que la única forma de activar y poner en marcha al sistema es necesario activar el pulsador P2 que activa la velocidad 1 después de esto es posible activar cualquiera de las velocidades requeridas, en las pruebas de funcionamiento realizadas se probó cada una de las velocidades.



Figura 120. Sistema de compresión en marcha

Una vez que se empezó a producir las pastillas después de cierto tiempo la luz L5 se encendió lo cual indico que el nivel de granulado en la tolva esta debajo del nivel mínimo de detección, sin embargo para que realmente el sistema de alimentación se vacié es necesario que pasen 20 segundos, durante ese tiempo el sistema de compresión permaneció encendido hasta que nuevamente sea alimentando, caso contrario se para completamente.



Figura 121. Detección de falta de granulado

Posteriormente se realizó una prueba del pulsador P5 el cual permitió resetear las velocidades de funcionamiento así como también permitió parar la máquina pero no inmediatamente debido a que es un paro de control, cuando se necesitó parar el sistema de compresión de forma inmediata por alguna emergencia se debe accionar el pulsador de emergencia el cual para inmediatamente sin importar en la velocidad en la que se encuentra trabajando.

El sistema de compresión permitió elaborar las siguientes cantidades de caramelos en función de la velocidad y de la cantidad de granulado.

Tabla 16. Cantidad de caramelos producidos en función de la velocidad y cantidad de granulado en una hora

PARAMETROS	VELOCIDAD 1	VELOCIDAD 2	VELOCIDAD 3
Frecuencia	20hz	40hz	60hz
Velocidad	19rpm	38 rpm	56 rpm
Pastillas por hora	1140	2240	3360
Cantidad de granulado	1145 gr	2245 gr	3365 gr

Las pastillas producidas por el sistema de compresión tuvieron las siguientes características:

Espesor: 5mm

Diámetro: 10mm

Peso:1 gr

• Dureza : Aceptable



Figura 122. Pastillas producidas por el sistema de Compresión

Finalmente la prueba de funcionamiento permitió verificar el funcionamiento total del sistema de compresión, teniendo un funcionamiento correcto acorde a los diseños antes presentados

Así mismo esta prueba de funcionamiento permitió medir el nivel de producción de la máquina en un día, con lo cual se pudo realizar una estimación y análisis de los niveles de producción por cada velocidad logrando así realizar un análisis financiero de la producción de la máquina, tomando en cuenta que el valor de 2000 gr de granulado es de 3,80 ctvo, y se estima que la empresa va a vender las pastillas en paquetes de 15 en un valor de 25ctv.

En la siguiente tabla se puede observar la cantidad de paquetes producidos en la velocidad 1, así como el consumo de polvo y el valor monetario de los paquetes al ser vendidos durante diferentes periodos de tiempo.

Tabla 17. Nivel de producción del sistema de compresión en la velocidad 1

VELOCIDAD 1					
15 pastillas=1 paquete= 0,25ctv					
NÚMERO DE PASTILLAS	CANTIDAD NECESARIA (gr)	COSTO DE LA CANTIDAD(\$)	TIEMPO	NÚMERO DE PAQUETES	VALOR AL SER VENDIDO (\$)
1140	1145	2,18	1 hora	76	19,00
4560	4580	8,7	1 día(4horas)	304	76,00
91200	91600	174,04	1 mes	6080	1520,00
1094400	1099200	2088,48	1 año	72960	18240,00

La máquina permite producir 72960 paquetes anualmente en la velocidad más baja los cuales tendrían un valor de \$ 18240 al ser vendidos mientras que el costo de producción se estima que tendría un valor de \$ 2088,48. En la siguiente tabla se puede observar la cantidad de paquetes producidos en la velocidad 3

Tabla 18. Nivel de producción del sistema de compresión en la velocidad 3

VELOCIDAD 3					
	1	5 pastillas=1 paque	te= 0,25ctv		
NÚMERO DE PASTILLAS	CANTIDAD NECESARIA (gr)	COSTO DE LA CANTIDAD(\$)	TIEMPO	NÚMERO DE PAQUETES	VALOR AL SER VENDIDO (\$)
3360	3365	6,39	1 hora	224	56,00
20160	20190	38,36	1 día(6horas)	1344	336,00
403200	403800	767,22	1 mes	26880	6720,00
4838400	4845600	9206,64	1 año	322560	80640,00

La máquina permite producir 322560 paquetes anualmente en la velocidad más alta los cuales tendrían un valor de \$ 80640 al ser vendidos mientras que el costo de producción se estima que tendría un valor de \$ 9206,64.

Cabe destacar que este análisis permitió solamente demostrar la rentabilidad del sistema de compresión por ende, el mismo puede variar en función a las necesidades de producción que tenga la empresa.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- La fuerza de compresión fue un parámetro fundamental en el diseño y construcción del sistema mecánico, ya que en función a esta se diseñaron cada uno de los elementos que forman parte del sistema mecánico.
- En el proceso de compresión de las pastillas, la correcta formulación del granulado toma un papel determinante para el correcto funcionamiento del sistema de compresión.
- El sistema más apropiado para producir la cantidad de pastillas requeridas fue realizar el sistema mecánico que con un solo motor se logró cumplir todo el ciclo de compresión de forma continua.
- El diseño del sistema mecánico como eléctrico demostró que el correcto funcionamiento del sistema de compresión dependía de la exactitud de la construcción, ensamblaje y calibración de los elementos construidos así como también de la correcta conexión de los elementos pre fabricados de tal manera que puedan cumplir cada uno con sus funciones específicas.
- Las simulaciones realizadas fueron muy importantes para prevenir posibles fallas en el funcionamiento del sistema, así como también permitió visualizar el correcto funcionamiento en la integración de los sistemas mecánico y eléctrico evitando así posibles gastos innecesarios de recursos.
- Por cuestiones constructivas, mecánicas y debidas a que el sistema forma parte de una línea de producción de pastillas la capacidad de almacenamiento de la tolva es muy pequeña para producir grandes cantidades de forma continua.

- En el sistema de control fue muy importante colocar un paro de emergencia a través de un switch conectado directamente a la alimentación, sin la necesidad de un procesamiento digital lo cual permitió parar al motor de forma instantánea.
- Las pruebas de funcionamiento del sistema de compresión de caramelos tipo pastilla demostró que podría ser un sistema rentable incluso en la velocidad más baja de producción.

6. 2 RECOMENDACIONES

- No es recomendable trabajar durante varias horas principalmente a bajas frecuencias ya que el motor se podría recalentar, si se desea trabajar constantemente es recomendable añadir un ventilador externo al motor.
- El granulado que cae sobre la bancada y no es comprimido puede volver a ser colocado en el sistema de alimentación debido a que no se trata de un desperdicio, siempre y cuando se guarde la asepsia durante el ciclo de compresión.
- Es muy importante realizar una buena formulación de granulado con fluidez y compactación.
- Durante el funcionamiento del sistema es muy importante no meter las manos o cualquier elemento entre los punzones evitando así posibles accidentes o daños en la máquina.
- Para la buena calidad de la pastilla es muy importante realizar una limpieza y lubricación de la matriz y punzones cada cierto tiempo evitando así posible daños en estos elementos.
- Es recomendable que el sistema de compresión este acoplarlo con sistemas previos y posteriores para lograr así una línea continua de producción de pastillas

BIBLIOGRAFÍA

- Ingeniería Mecánica y Eléctrica (Vol. II). (2005). México: Alfaomega.
- Control de velocidad de motores de inducción. (15 de Agosto de 2011).

 Obtenido de Control de velocidad de motores de inducción: http://catarina.udlap.mx
- Lenguajes de Programaciónj. (10 de Junio de 2011). Obtenido de https://docs.google.com
- Controlador lógico programable. (2012). Obtenido de Wikipedia enciclopedia libre
- Ensayo de resiliencia. (2013). Obtenido de http://enciclopedia.us.es
- Importancia de la mecatronica y otras. (2013). Obtenido de http://ingenieriamecatronicadecolombia.blogspot.com
- Reductor sin fin corona serie box, Motive Manual. (2013). Italia.
- XC series Edit Tool XCP Pro, User Manual. (2013). Xinje Electronic Co. Ltd.
- A., B. L., & Bryan, E. (1997). *Programmable Controllers: Theory and Implementation* (Segunda ed.). Estados Unidos: Industrial Text Company.
- A.A.P.P.A. (2003). *Introducción a la Tecnología de Alimentos.* Nori: Editorial Limusa.
- Alfaeditorestecnicos. (2006). Industria Alimentaria. Alfaeditores.
- Alfonso, R. (2003). Remington Farmacia, Volumen 1. Médica Panamericana.
- Alpizar, Hernández. (2004). Formas farmacéuticas sólidas. Mexico.
- Álvarez, M. (2000). Convertidores de frecuencia, controladores de motores y SSR. Barelona: Marcombo.
- Apuntes de Electrónica. (s.f.). Obtenido de Apuntes de Electrónica: http://www.efn.uncor.edu
- Artalejo, B. (1995). Aportación al estudio de la instrumentación de máquinas de comprimir excéntricas. Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Bishop, R. H. (2008). *The Mechatronics Handbook: Mechatronic Systems*. Estados Unidos: CRC Press.

- Bolhuis, G. (2006). *Materials for direct compaction*. New York: Pharmaceutical Powder Compaction Technology.
- Bolton, W. (2006). *Ingenieria de control.* México: Editorial Alfaomega.
- Bolton, W. (2006). *Mecatronica. Sistemas de Control Electronico en la Ingenieria Mecanica y Electrica (Tercera edición ed.).* Mexico: Pearson Education Limited.
- Bolton, W. (2006). *Programmable Logic Controllers* (Cuarta ed.). Reino Unido: Newnes.
- Boltón, W. (2008). Mecatrónica Sistemas de Control Electrónico.
- Castillo, Marrufo. (2012). Instalaciones eléctricas básicas GM. CEO.
- Cejarosu. (2013). *CNICE*. Obtenido de http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_biela-maniv-embolo.htm
- Çelik, M. (1996). *The past, present, and future of tableting technology.* Drug Dev Ind Pharm.
- Chapman, S. (2012). *Máquinas eléctricas (5ta Edicíon)*. Mexico: McGraw-Hill.
- Chestofbooks. (2007). Chestofbooks. Obtenido de http://chestofbooks.com/health/materia-medica-drugs/Prescription/Tablets-Lozenges-And-Pastilles.html#.UxeRhIXi9qN
- DIPAC. (2011). Catalogo de acero. Ecuador.
- Edwards, W. (2001). La Ciencia de las Golosinas. Zaragoza: Acribia.
- Emjuvi. (2012). *Emjuvi*. Obtenido de http://www.emjuvi.com/listado.htm
- Empaquetadoras. (s.f.). Obtenido de Empaquetadoras: http://www.mecanizadosvillarreal.com
- Empaguetar. (s.f.). Obtenido de http://lema.rae.es
- F.F.B. (1995). Farmacotecnia I. Buenos Aires: Facultad de Farmacia y Bioquímica.
- Faires, V. (2001). *Diseño de Elementos de Máquinas.* Barcelona: Montaner y Simon, S.A.

- Fibra Óptica 2. (s.f.). Obtenido de http://www.monografias.com
- Fitzgerald, A. (2007). Máquinas Eléctricas (6a Edición). Mexico: McGraw-Hill.
- FLUKE. (2002). Medidas en variadores de velocidad (2nd ed.). Barcelona.
- Forner, Salazar. (1999). Estudio comparativo del diseño de máquinas de comprimir rotativas. Barcelona: Industria Farmaceutica.
- Gianola, C. (1983). La Industria del Chocolate, Bombones, Caramelos y Confitería. Madrid: Paraninfo.
- Giraldo, A. (2009). *Tecnologías de los tratamientos térmicosde los metales*. Antioquia.
- Groso, A. (1964). *Técnica de Elaboración Moderna de Confites.* Buenos Aires.
- Hackworth, J., & Hackworth F. (1997). *Programmable Logic Controllers*. Prentice Hall.
- Hamrock, Jacobson, Schmid. (2002). *Elementos de máquinas*. Mexico: McGraw-Hill Companics.
- Hughes. (2006). *Electric Motors and Drives (Third edition)*. Great Britain: Newnes.
- Ingeniería Electrónica. (s.f.). Obtenido de Capítulo Taller de ElectrónicaIV: http://www.urp.edu.pe
- Inzunza, C. (2007).
- Jackson, E. (1990). Sugar confectionery manufacture. Gran Bretaña: JACKSON, E. B. ed.
- Joshi, A. (2004). Added functionality excipients. Pharm Technol.
- Kohan. (2003). Nylon Plastics Handbook. New York: Hanser.
- Kwaśny, Błażejewski. (2005). Componentes mecatrónicos, Sistemas y funciones de la mecatrónica, La puesta en marcha, seguridad y teleservicio, Mantenimiento y diagnóstico. Deutschland: Technische Universität Chemnitz.
- Lombard, M. (2011). *SolidWorks Assemblies Bible.* Estados Unidos: Wiley Publishing Inc.

- Marrufo, E. (2010). *Instalaciones Electricas Básicas. Grado Medio* (Primera ed.). Madrid: McGraw- Hill.
- Marshall. (1983). *Instrumentation of tablet and capsule filling machines.*Pharm Technol.
- Milán, S. (1998). Automatización neumática y electroneumática. Alfaomega.
- Montalvo, E. (1990). *Introducción a la Tecnología Farmacéutica*. Quito: Facultad de Ciencias Químicas.
- Motive. (2000). Reductor STADIO. Posicion de Montaje. Obtenido de www.motive.it
- Motores Monofásico. (s.f.). Obtenido de Motores Monofásico: http://es.scribd.com
- Mott, R. (2006). Diseño de Elementos de máquinas (Cuarta ed.). Mexico: Pearson Education.
- Natoli. (2010). *Natoli*. Obtenido de http://www.natoli.com/PressesParts/TabletPress/NP-RD10.aspx
- Navacuez, Hernández. (2002). Notas galénicas y operaciones farmacéuticas con los comprimidos. Madrid: Panace.
- Navarro, D. (2001).
- Negri, Buosi. (2006). Chocolate: Historia, arte y pasion. DRAC.
- Nieto, A. (2007). *Elementos de Máquinas*. Castilla: Universidad de Castilla-La Mancha.
- Nise, N. (2004). *Control Systems Engineering* (Cuarta ed.). Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
- Norton, R. (2009). Diseño de máquinas. Mexico: Pearson Education.
- NTN. (2004). Catalogo de Rodamientos de Bolas y de Rodillos. NTN Corporation.
- Ogata, K. (2002). *Modern Control Engineering* (Cuarta ed.). Estados Unidos: Prentice Hall.
- Pallas , R. (2003). Sensores y acondicionadores de señal. Barcelona: Marcombo.
- Palomino, E. (2010). Industria Farmaceutica.

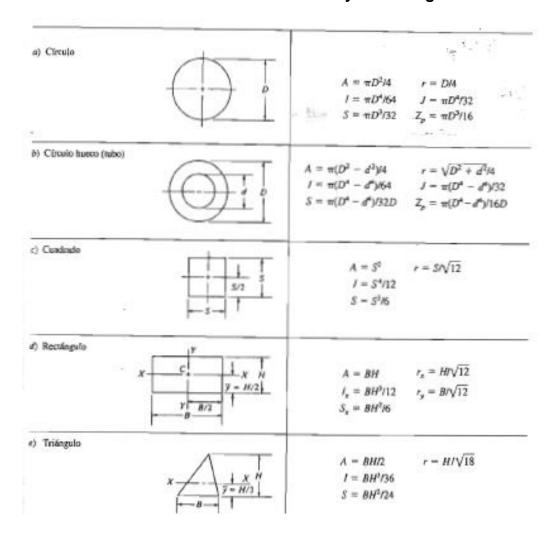
- Pascuzzo, C. (2008). Farmacología Básica. Lima.
- Petruzella, F. (2005). *Programable Logic Controllers*. Estados Unidos: McGraw-Hill.
- Piedrafita, R. (2004). *Ingeniería de la Automatización Industrial*. España: RA-MA.
- Pons, J. (2005). *Emerging Actuator Technologies*. Gran Bretaña: John Wiley & Sons, Inc.
- Prieto, P. (2011).
- Radionics. (17 de Abril de 2013). *Electronic and electrical Components Retrieved*. Obtenido de Electronic and electrical Components: www.radionics.rs-online.com
- Rechner. (2003). *Catálogo Sensores Capacitivos KAS.* Alemania: RECHNER Industrie-Elektronik GmbH.
- Roldan, J. (2004). *Neumática hidráulica y electricidad aplicada.* Thomson Paraninfo.
- Sánchez, Iraizoz, Almirall, Jordán y Uribarri. (1995). Influencia de la fuerza de compresión sobre la liberación de bisacodilo microencapsulado en tabletas. *Revista cubana de farmacia*.
- ScienceMuseum. (2013). *Sciencemuseum*. Obtenido de http://www.sciencemuseum.org.uk/images/i025/10287319.aspx
- Shigley, J. (2002). Diseño de ingenieria Mecánica. Mexico: McGraw-Hill.
- SIEMENS. (2003). Manual LOGO. New York: Siemens.
- SIEMENS. (2004). *Motores trifasicos Generalidades.* New York: Siemens S.A.
- SIEMENS. (2004). SINAMICS G110 (4ta ed.). New York: Siemens.
- SIEMENS. (2008). SIRIUS Pulsadores. Buenos Aires: Siemens AG.
- SIEMENS. (Enero de 2014). Product data sheet Circuit-Breaker SZ S00 Retrieved. Obtenido de http://www.automation.siemens.com/mcms/industrial-controls/en/protection-equipment/circuit-breakers/pages/default.aspx
- Sinclair, I. (2001). Sensors and Transducers . Reino Unido: Newnes Tirabasso.

- Steren. (2011).
- Sumitomo. (2014). Sumitomodriveeurope. Obtenido de http://www.sumitomodriveeurope.com/es/reductores-y-motorreductores/astero/
- SynchroPACK. (s.f.).
- Tecnologías. (s.f.). Obtenido de Sensor de Presencia: http://ingeniatic.euitt.upm.es
- Tecnun. (2004). *Metalurgia de polvos*. Obtenido de http://www.tecnun.es/asignaturas/pulvimetal/pagina_4.html
- Tirado, S. (2012).
- TRANSTECNO. (2010). *RIDUTTORI A VITE SENZA FINE.* Italia: Transtecno Modular Gearmotor.
- UTA. (2008). Farmacotecnia I. Obtenido de http://docencia.udea.edu.co/qf/farmacotecnia/10/parametros.html#04
- Vignoni, J. (Noviembre de 2012). *Instrumentación y Comunicaciones Industriales*. Obtenido de Instrumentación y Comunicaciones Industriales: http://www.ing.unpl.edu.ar
- Vignoni, J. (Enero de 2014). Instrumentación y Comunicaciones Industriales.

 Obtenido de
 http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/apuntes/ApuntePLC
 .pdf

ANEXOS

ANEXO 1. Módulo de sección y radio de giro



ANEXO 2. Acero AISI 705

BARRAS DE ACERO ALEADO.

AISI / SAE 4340



Estado de Suministro

Laminado con tratamiento térmico de bonificado Forjado con tratamiento térmico de bonificado

Características

Acero de baja aleación al Cromo Niquel Molibdeno. Posee gran templabilidad, tenacidad y resistencia a la fatiga. Se suministra con tratamiento térmico de bonificado (temple y revenido). Se utiliza en piezas que están sometidas a grandes exigencias de dureza, resistencia mecánica y tenacidad. Su maquinabilidad es regular y posee baja soldabilidad.

Aplicaciones

Se utiliza en la fabricación y reparación de partes y repuestos que están sometidos a muy altos esfuerzos dinámicos tales como cigüeñales, ejes de levas, árboles de transmisión, barras de torsión, ejes, vástagos, componentes oleohidráulicos, poleas, barras de parillas para hamero, componentes de barras de perforación, discos de freno, piñones, pernos ytuercas sometidos a grandes esfuerzos. En general, es recomendado en aplicaciones de piezas de gran sección con elevadas exigencias mecánicas.

Forma	Color
0	

Propiedades	Mecánicas Acer	o Bonificado (Va	iores tipicos)
Dureza Estado Bonificado (HRc)	Esfuerzo Fluencia (Kg/mm2)	Esfuerzo Tracción (Kg/mm2)	Bongación
28 - 34	60 - 74	95 - 105	10 - 18

			Composici	ón Química			
% C	% Mn	ងន	ងព	% Ni	% Mo	% P	% S
0,38 - 0,43	0,60 - 0,80	0,15 - 0,35	0,70 - 0,90	1,65 - 2,00	0,20 - 0,30	≤ 0,035	≤ 0,04



Los valores de las tablas son referencial es.

Amenger Per Calman P. Int., serings 1: popularism Per Calman P. Ca

ANEXO 3. Acero ASTM A36

ASME/ASTM A36



Acero al carbono estructural de acuerdo al estándar ASME/ASTM A 36/A 36M

Uso:

Este grado se utiliza principalmente pernado, atornillado, o soldados en la construcción de puentes y edificios, y para propósitos estructurales en general.

Composición química acero A36

	Hasta 3/4 In.	Sobre 3/4 In. hasta 1-1/2 In.		Sobre 2-1/2 hasta 4 in.	Sobre4 in.
Carbono	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganeso	_	.80/1.20	.85/1.20	.85/1.20	.85/1.20
Fósforo	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Azufre	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio	.40 max	.40 max	.15/.40	.15/.40	.15/.40
Cobre min % cuando se especifica de acero de cobre	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Nota: Por cada reducción de 0,01% por debajo del máximo especificado de carbono, un aumento del 0,06% de manganeso por encima de la cantidad máxima prevista será permitido, hasta el máximo de 1,35%.

Propiedades mecánicas acero A36

Resistencia a la tracción:	58,000 - 80,000 psi [400-550 MPa]
Min. Punto de fluencia:	36,000 psi [250 MPa]
Elongación en 8":	20% mln
Elongación en 2":	23% min

Podemos suministrar:

Espesor de 6 mm a 150 mm (aunque placas más gruesas pueden ser fabricadas bajo pedido especial)

ANEXO 4. Acero AISI 304

ACERO INOXIDABLE 304 (UNS S30400)

1. Descripción: éste es el más versátil y uno de los más usados de los aceros inoxidables de la serie 300. Tiene excelentes propiedades para el conformado y el soldado. Se puede usar para aplicaciones de embutición profunda, de rolado y de corte. Tiene buenas características para la soldadura, no requiere recocido tras la soldadura para que se desempeñe bien en una amplia gama de condiciones corrosivas. La resistencia a la corrosión es excelente, excediendo al tipo 302 en una amplia variedad de ambientes corrosivos incluyendo productos de petróleo calientes o con vapores de combustión de gases. Tiene excelente resistencia a la corrosión en servicio intermitente hasta 870 °C y en servicio continuo hasta 925 °C. No se recomienda para uso continuo entre 425 - 860 °C pero se desempeña muy bien por debajo y por encima de ese rango.

ASTM A 276 2 Normas involucradas:

3. Propiedades mecánicas: Resistencia a la fluencia 235 MPa (45 KSI)

Resistencia máxima 620 MPa (90 KSI)

Elongación 30 % (en 50mm) Reducción de área 40 %

Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)

4. Propiedades físicas: Densidad 7.8 g/cm3 (0.28 lb/in3)

0.08 % C min 5. Propiedades químicas:

2.00 % Mn 1.00 % Si 18.0 - 20.0 % Cr 8.0 - 10.5 % Ni 0.045 % P 0.03 % S

6. Usos: sus usos son muy variados, se destacan los equipos para procesamiento de alimentos, enfriadores de leche, intercambiadores de calor, contenedores de productos químicos, tanques para almacenamiento de vinos y cervezas, partes para extintores de fuego.

 Tratamientos térmicos: éste acero inoxidable no puede ser endurecido por tratamiento térmico. Para el recocido, caliente entre 1010 y 1120°C y enfrie rápidamente

NOTA: Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

ANEXO 5. Rodamiento 6205

	O∼ mensio		mm principa	ales	Capa	cidades b	ásicas de	e carga	Factor		Velocida	des límite	18	Núr	neros	de roo	damier	ntos
-						estática						.m.	-			con	con	COI
		mm		ns	ŀ	dΝ	k	gf		grasa tino shierto	aceite tipo abierto			tipo	con	sello de no	sello de bajo	sell de
d	D	B	$r_{\min}^{(1)}$		$C_{\rm r}$	C_{or}	C_{τ}	C_{or}	fo	ZZ LLB	Z LB	LLH	LLU			contacto		
20	72	19	1.1	_	28.5	13.9	2 900	1 420	11.4	12 000	14 000	_	_	6404	_	-	-	-
	44	12	0.6	0.5	9.40	5.05	955	515	13.9	17 000	20 000	13 000	10 000	60/22	ZZ	LLB	LLH	LL
22	50	14	1	0.5	12.9	6.80	1 320	690	13.5	14 000	17 000	12 000	9 700	62/22	ZZ	LLB	LLH	LL
	56	16	1.1	0.5	18.4	9.25	1 880	945	12.4	13 000	15 000	11 000	9 200	63/22	ZZ		LLH	LL
	32	4	0.2	_	1.10	0.840	112	86	15.8	4 000	4 600	_	_	6705	_	LLF	_	
	37	7	0.3	0.3	4.30	2.95	435	300	16.1	18 000	21 000	_	10 000	6805	ZZ	LLB	_	ш
	42	9	0.3	0.3	7.05	4.55	715	460	15.4	16 000	19 000	_	9 800	6905	ZZ	LLB	_	Ш
25	47	8	0.3	_	8.35	5.10	855	520	15.1	15 000	18 000	_	_	16005	_	_	_	-
	47	12	0.6	0.5	10.1	5.85	1 030	595	14.5	15 000	18 000	11 000	9 400	6005	ZZ	LLB	LLH	Ш
	52	15	1	0.5	14.0	7.85	1 430	800	13.9	13 000	15 000	11 000	8 900	6205	ZZ	LLB	LLH	ш
	62	17	1.1	0.5	21.2	10.9		1 110	12.6	12 000	14 000	9 700	8 100	6305	ZZ	LLB	LLH	LL
	80	21	1.5	_	34.5	17.5	3 550	1 780	11.6	10 000	12 000		_	6405	_	_	_	
	52	12	0.6	0.5	12.5	7.40	1 270	755	14.5	14 000	16 000	10 000	8 400	60/28	ZZ	LLB	LLH	ш
28	58	16	1	0.5	17.9	9.75	1 830	995	13.4	12 000	14 000	9 700	8 100	62/28	ZZ	LLB	LLH	Ш
	68	18	1.1	0.5	26.7	14.0	2 730	1 430	12.4	11 000	13 000	8 900	7 400	63/28	ZZ	LLB	LLH	LI
	37	4	0.2	_	1.14	0.950	117	97	15.7	3 300	3 800	_	_	6706	_	LLF	_	-
	42	7	0.3	0.3	4.70	3.65	480	370	16.5	15 000	18 000	_	8.800	6806	ZZ	LLB	_	Ш
	47	9	0.3	0.3	7.25	5.00	740	510	15.8	14 000	17 000	_	8 400	6906	ZZ	LLB	_	Ш
30	55	9	0.3	_	11.2	7.35	1 150	750	15.2	13 000	15 000			16006	_	_	_	
	55	13	1	0.5	13.2	8.3	1 350	845	14.8	13 000	15 000	9 200	7 700	6006	ZZ	LLB	LLH	ш
	62	16	1	0.5	19.5	11.3		1 150	13.8	11 000	13 000	8 800	7 300	6206	ZZ	LLB	LLH	ш
	72 90	19 23	1.1	0.5	26.7 43.5	15.0 23.9	2 720 4 400	1 530	13.3	10 000 8 800	12 000 10 000	7 900	6 600	6306 6406	ZZ	LLB	LLH	Ш
	90	23	1.5	_	43.5	23.9	4 400	2 440	12.3	8 800	10 000			0400	_	_	_	_
	58	13	1	0.5	11.8	8.05	1 200	820	15.4	12 000	15 000	8 700	7 200	60/32	ZZ	LLB	LLH	Ш
32	65	17	1	0.5	20.7	11.6	2 110	1 190	13.6	11 000	12 000	8 400	7 100	62/32	ZZ	LLB	LLH	Ш
	75	20	1.1	0.5	29.8	16.9	3 050	1 730	13.1	9 500	11 000	7 700	6 500	63/32	ZZ	LLB	LLH	LI
	47	7	0.3	0.3	4.90	4.05	500	410	16.4	13 000	16 000	_	7 600	6807	ZZ	LLB	_	ш
	55	10	0.6	0.5	9.55	6.85	975	695	15.8	12 000	15 000	_	7 100	6907	ZZ	LLB	_	Ш
	62	9	0.3	_	11.7	8.20	1 190	835	15.6	12 000	14 000	_	_	16007	_	_	_	-
35	62	14	1	0.5	16.0	10.3		1 050	14.8	12 000	14 000	8 200	6 800	6007	ZZ	LLB	LLH	LL
	72	17	1.1	0.5	25.7	15.3		1 560	13.8	9 800	11 000	7 600	6 300	6207	ZZ	LLB	LLH	ш
	80	21	1.5	0.5	33.5	19.1	3 400		13.1	8 800	10 000	7 300	6 000	6307	ZZ	LLB	LLH	LL
	100	25	1.5	_	55.0	31.0	5 600	3 150	12.3	7 800	9 100	_	_	6407	_	_	_	-

Dimensión mínima permitida para el chaflán r.

ANEXO 6. Rodamiento 6914

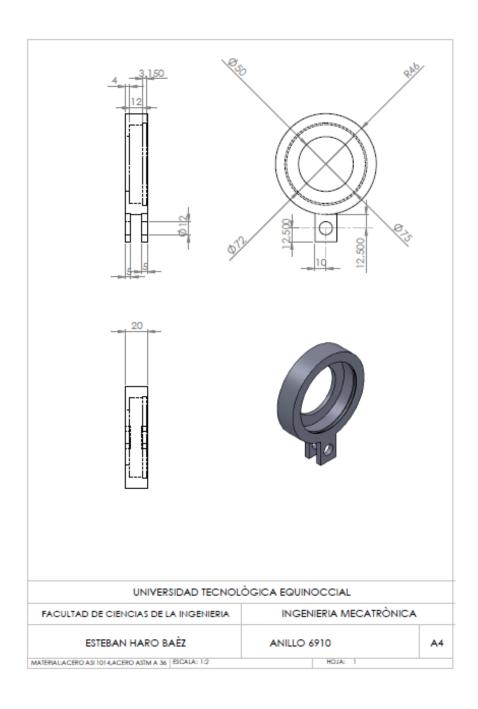
Dir	mensio	nes p	rincipa	ales			dinámica		Factor		Velocidad	des limite	8	Nú	neros	de roo	damier	ntos
d	D	mm	Yamin ^{])}	7 No.		dN Cor		gf Cor	fo	grasa tipo abierto ZZ LLB	r.p. aceite tipo abierto Z LB	m. LLH	LLU	tipo abierto	con tapas	con sello de no contacto	con sello de bajo torque	
40	52 62 68 68 80 90 110	7 12 9 15 18 23 27	0.3 0.6 0.3 1 1.1 1.5 2	0.3 0.5 — 0.5 0.5 0.5	5.10 12.2 12.6 16.8 29.1 40.5 63.5	4.40 8.90 9.65 11.5 17.8 24.0 36.5	2 970	445 910 985 1 170 1 820 2 450 3 750	16.3 15.8 16.0 15.2 14.0 13.2 12.3	12 000 11 000 10 000 10 000 8 700 7 800 7 000	14 000 13 000 12 000 12 000 10 000 9 200 8 200	7 300 6 700 6 400	6 700 6 300 — 6 100 5 600 5 300	6808 6908 16008 6008 6208 6308 6408	77 77 77 77 77 77	LLB LLB LLB LLB	_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _	LLU LLU LLU LLU LLU
45	58 68 75 75 85 100 120	7 12 10 16 19 25 29	0.3 0.6 0.6 1 1.1 1.5 2	0.3 0.5 — 0.5 0.5 0.5	5.35 13.1 12.9 21.0 32.5 53.0 77.0	4.95 10.4 10.5 15.1 20.4 32.0 45.0	1 320 2 140		16.1 16.1 16.2 15.3 14.1 13.1 12.1	11 000 9 800 9 200 9 200 7 800 7 000 6 300	12 000 12 000 11 000 11 000 9 200 8 200 7 400	6 500 6 200 5 600	5 900 5 600 — 5 400 5 200 4 700	6809 6909 16009 6009 6209 6309 6409	ZZ ZZ - ZZ ZZ ZZ -	LLB LLB LLB LLB		LLU LLU LLU LLU LLU
50	65 72 80 80 90 110 130	7 12 10 16 20 27 31	0.3 0.6 0.6 1 1.1 2 2.1	0.3 0.5 — 0.5 0.5 0.5	6.60 13.4 13.2 21.8 35.0 62.0 83.0	6.10 11.2 11.3 16.6 23.2 38.5 49.5	1 350 2 230 3 600	620 1 140 1 150 1 690 2 370 3 900 5 050	16.1 16.3 16.4 15.5 14.4 13.2 12.5	9 600 8 900 8 400 8 400 7 100 6 400 5 700	11 000 11 000 9 800 9 800 8 300 7 500 6 700	 6 000 5 700 5 000	5 300 5 100 — 5 000 4 700 4 200	6810 6910 16010 6010 6210 6310 6410	ZZ ZZ - ZZ ZZ ZZ -	LLB LLB LLB LLB		LLU LLU LLU LLU
55	72 80 90 90 100 120 140	9 13 11 18 21 29 33	0.3 1 0.6 1.1 1.5 2 2.1	0.3 0.5 — 0.5 0.5 0.5	8.80 16.0 18.6 28.3 43.5 71.5 89.0	8.10 13.3 15.3 21.2 29.2 45.0 54.0	1 900 2 880		16.2 16.2 16.2 15.3 14.3 13.2 12.7	8 700 8 200 7 700 7 700 6 400 5 800 5 200	10 000 9 600 9 000 9 000 7 600 6 800 6 100	- - - - -	4 800 4 600 — 4 500 4 300 3 900	6811 6911 16011 6011 6211 6311 6411	77 77 77 77 77 77	LLB LLB LLB LLB		LLU LLU LLU LLU LLU
60	78 85 95 95 110 130 150	10 13 11 18 22 31 35	0.3 1 0.6 1.1 1.5 2.1 2.1	0.3 0.5 — 0.5 0.5 0.5	11.5 16.4 20.0 29.5 52.5 82.0	10.6 14.3 17.5 23.2 36.0 52.0 64.5	1 670 2 040 3 000 5 350	1 080 1 450 1 780 2 370 3 700 5 300 6 550	16.3 16.4 16.3 15.6 14.3 13.2 12.6	8 000 7 600 7 000 7 000 6 000 5 400 4 800	9 400 8 900 8 300 8 300 7 000 6 300 5 700		4 400 4 300 — 4 100 3 800 3 600	6812 6912 16012 6012 6212 6312 6412	77 72 - 72 72 72 73	LLB LLB LLB LLB		LLU LLU LLU LLU

ANEXO 7. Rodamiento 6910

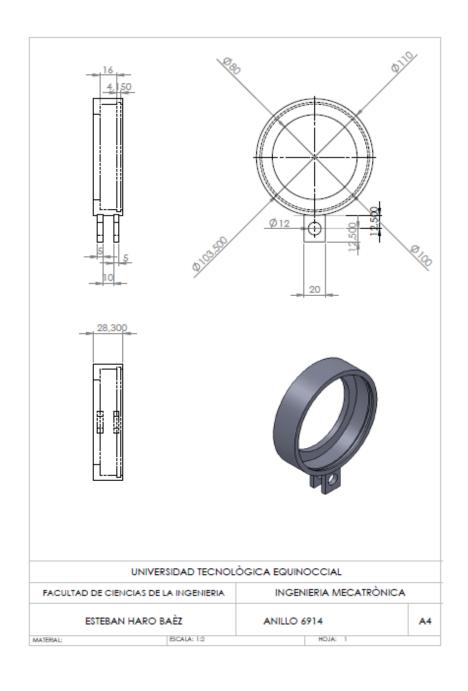
Dir	nensior	es pri	ncipale	8			ásicas de o		Factor	Velo	cidades li	mites	Núm	eros de	rodami	ientos
d	D	mm	Ta min ¹⁾	75es min		estatica dN <i>C</i> or	dinámica I Cr	estática kgf <i>C</i> or	fo f	grasa tipo abierto ZZ LLB	r.p.m. aceite tipo abierto Z LB	LLU	tipo abierto	con sello de no contacto	con sello de bajo torque	con sello de contac
65	85 90 100 100 120 140 160	10 13 11 18 23 33 37	0.6 1 0.6 1.1 1.5 2.1 2.1	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	11.6 17.4 20.5 30.5 57.5 92.5	11.0 16.1 18.7 25.2 40.0 60.0 72.5	1 180 1 770 2 090 3 100 5 850 9 450 11 300	1 120 1 640 1 910 2 570 4 100 6 100 7 400	16.2 16.6 16.5 15.8 14.4 13.2 12.7	7 400 7 000 6 500 6 500 5 500 4 900 4 400	8 700 8 200 7 700 7 700 6 500 5 800 5 200	4 100 4 000 3 900 3 600 3 300	6813 6913 16013 6013 6213 6313 6413	ZZ ZZ — ZZ ZZ ZZ —	LLB LLB LLB LLB	
70	90 100 110 110 125 150 180	10 16 13 20 24 35 42	0.6 1 0.6 1.1 1.5 2.1 3	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	12.1 23.7 24.4 38.0 62.0 104 128	11.9 21.2 22.6 31.0 44.0 68.0 89.5	1 230 2 420 2 480 3 900 6 350 10 600 13 100	1 220 2 160 2 300 3 150 4 500 6 950 9 100	16.1 16.3 16.5 15.6 14.5 13.2 12.7	6 900 6 500 6 100 6 100 5 100 4 600 4 100	8 100 7 700 7 100 7 100 6 000 5 400 4 800	3 800 3 700 — 3 600 3 400 3 100	6814 6914 16014 6014 6214 6314 6414	ZZ ZZ — ZZ ZZ ZZ	LLB LLB LLB LLB	110 110 110 110
75	95 105 115 115 130 160 190	10 16 13 20 25 37 45	0.6 1 0.6 1.1 1.5 2.1 3	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	12.5 24.4 25.0 39.5 66.0 113 138	12.9 22.6 24.0 33.5 49.5 77.0 99.0	1 280 2 480 2 540 4 050 6 750 11 600 14 000	1 310 2 300 2 450 3 400 5 050 7 850 10 100	16.0 16.5 16.6 15.8 14.7 13.2 12.7	6 400 6 100 5 700 5 700 4 800 4 300 3 800	7 600 7 200 6 700 6 700 5 600 5 000 4 500	3 600 3 500 — 3 300 3 200 2 900	6815 6915 16015 6015 6215 6315 6415	ZZ ZZ - ZZ ZZ ZZ	LLB LLB LLB LLB	LL
30	100 110 125 125 140 170 200	10 16 14 22 26 39 48	0.6 1 0.6 1.1 2 2.1 3	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	12.7 24.9 25.4 47.5 72.5 123 164	13.3 24.0 25.1 40.0 53.0 86.5 125	1 290 2 540 2 590 4 850 7 400 12 500 16 700	1 360 2 450 2 560 4 050 5 400 8 850 12 800	16.0 16.6 16.4 15.6 14.6 13.3 12.3	6 000 5 700 5 300 5 300 4 500 4 000 3 600	7 100 6 700 6 200 6 200 5 300 4 700 4 200	3 400 3 200 — 3 100 3 000 2 700 —	6816 6916 16016 6016 6216 6316 6416	ZZ ZZ — ZZ ZZ ZZ —	LLB LLB LLB LLB	LL LL LL
35	110 120 130 130 150 180	13 18 14 22 28 41	1 1.1 0.6 1.1 2	0.5 0.5 — 0.5 0.5 0.5	18.7 32.0 25.9 49.5 83.5 133	19.0 29.6 26.2 43.0 64.0 97.0	1 910 3 250 2 640 5 050 8 500 13 500	1 940 3 000 2 670 4 400 6 500 9 850	16.2 16.4 16.4 15.8 14.7 13.3	5 700 5 400 5 000 5 000 4 200 3 800	6 700 6 300 5 900 5 900 5 000 4 500	3 100 3 000 — 2 900 2 800 2 600	6817 6917 16017 6017 6217 6317	ZZ ZZ — ZZ ZZ ZZ	LLB LLB LLB LLB	LL

Dimensión mínima permitida para el chaflán r.

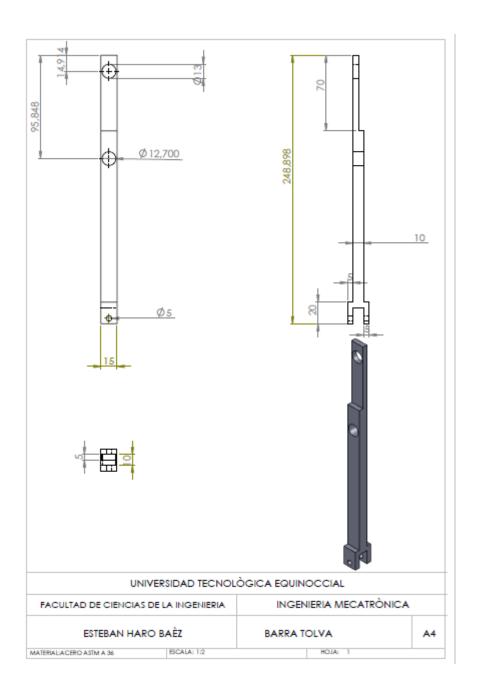
ANEXO 8. Planos anillo 6910



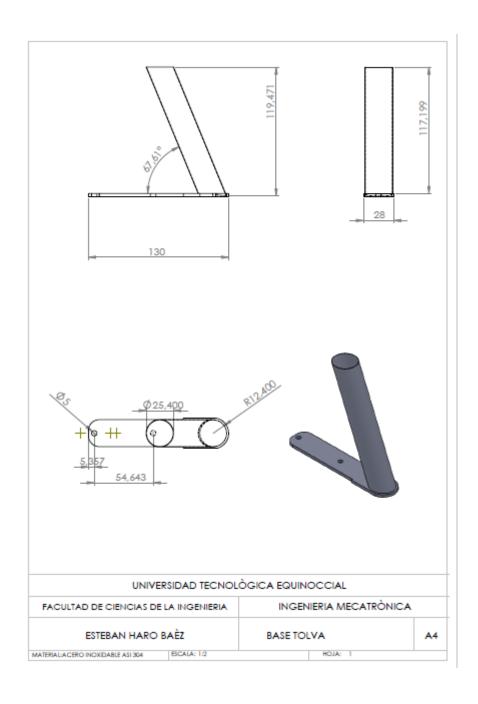
ANEXO 9. Planos anillo 6914



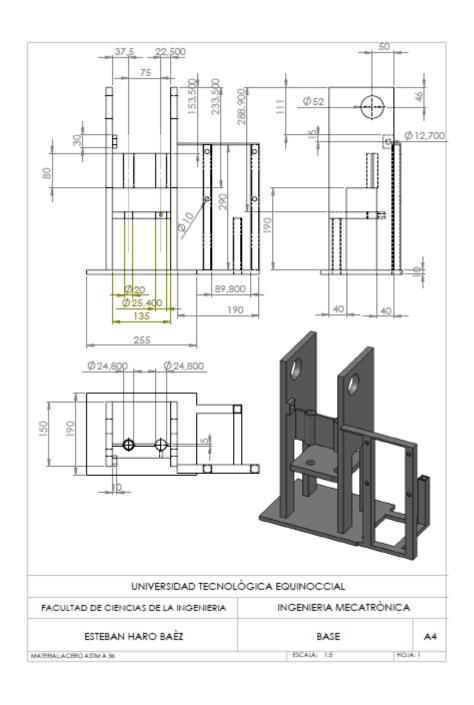
ANEXO 10. Planos barra tolva



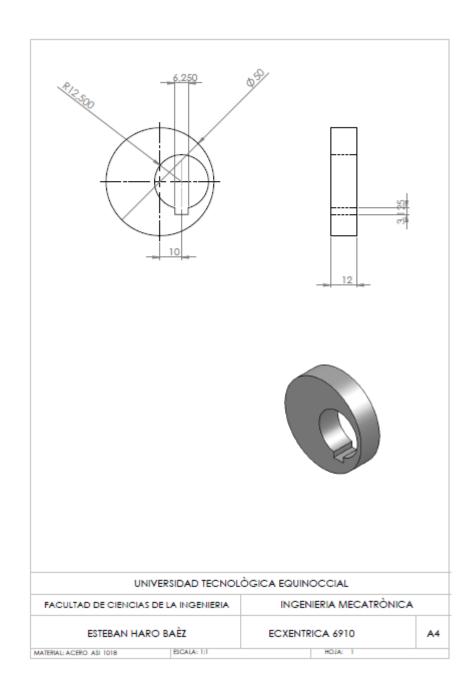
ANEXO 11. Planos base tolva



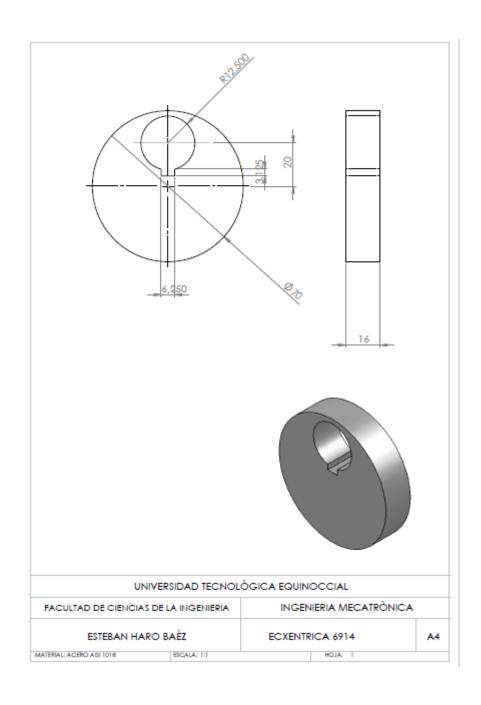
ANEXO 12. Planos base



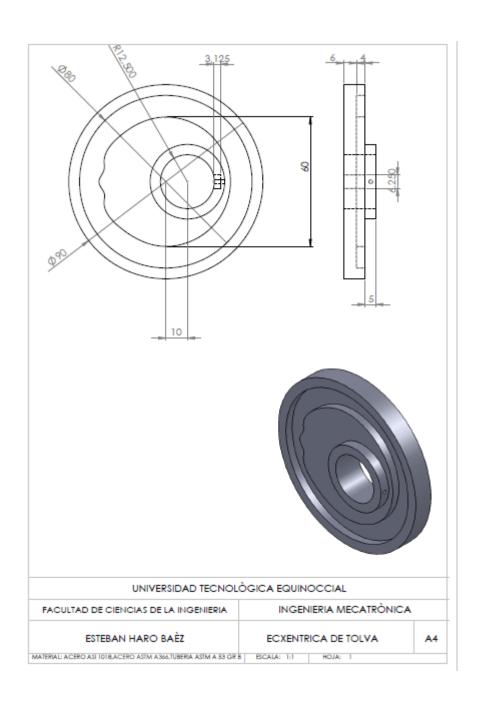
ANEXO 13. Planos excéntrica 6910



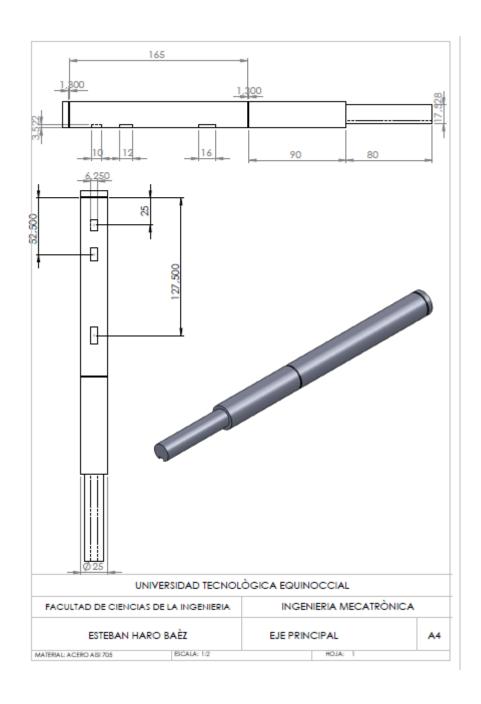
ANEXO 14. Planos excéntrica 6914



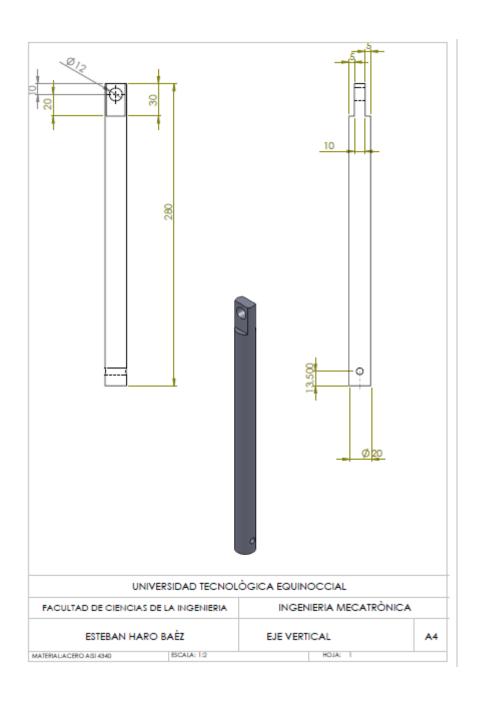
ANEXO 15. Plano excéntrica tolva



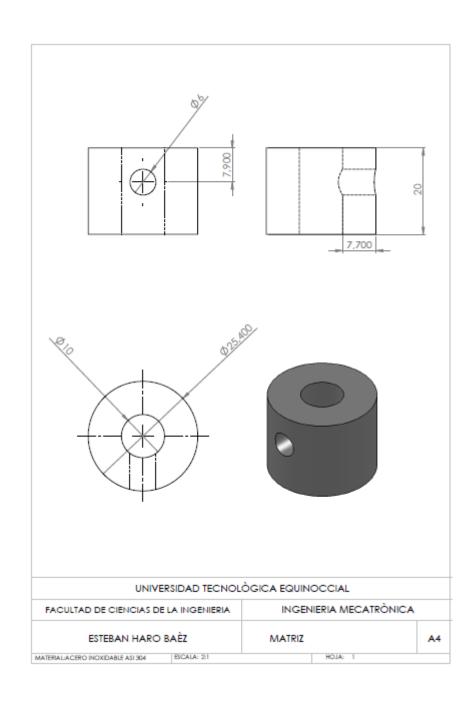
ANEXO 16. Plano eje principal



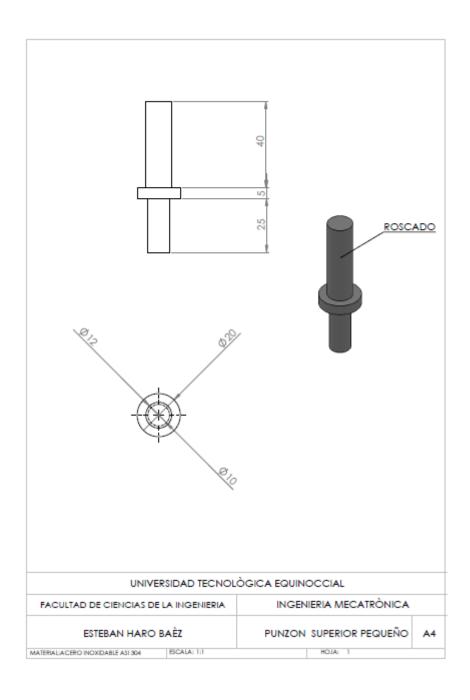
ANEXO 17. Plano eje vertical



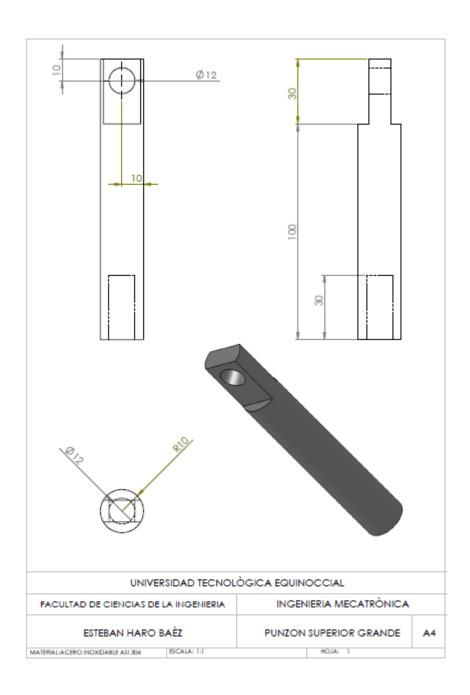
ANEXO 18. Plano matriz



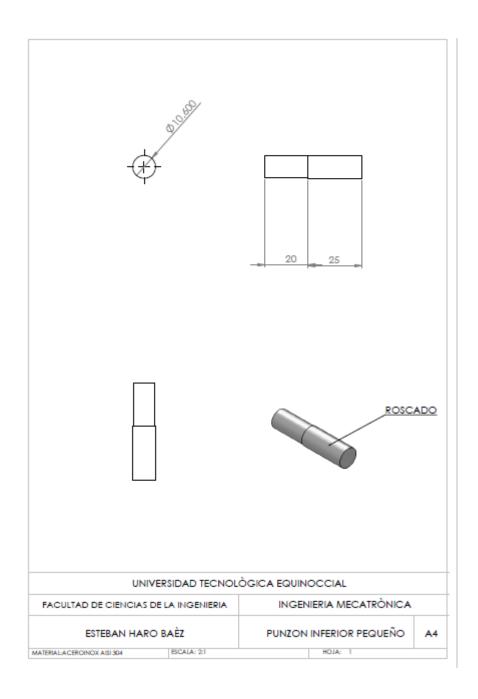
ANEXO 19. Plano punzón superior pequeño



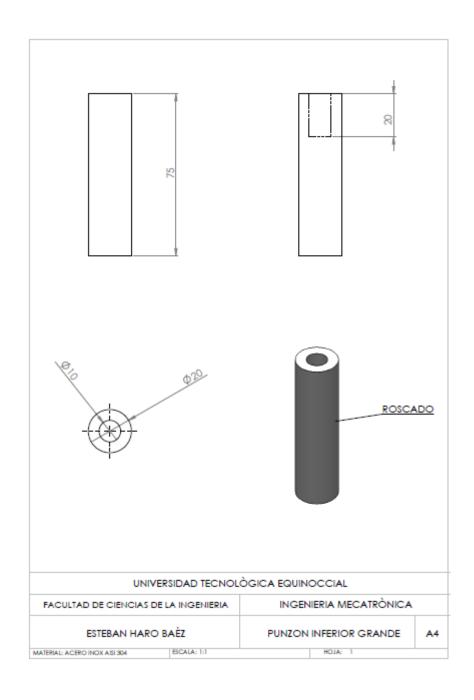
ANEXO 20. Plano punzón superior grande



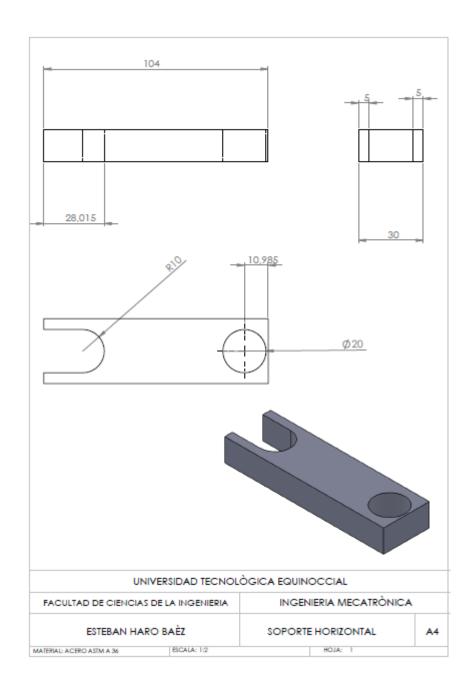
ANEXO 21. Plano punzón inferior pequeño



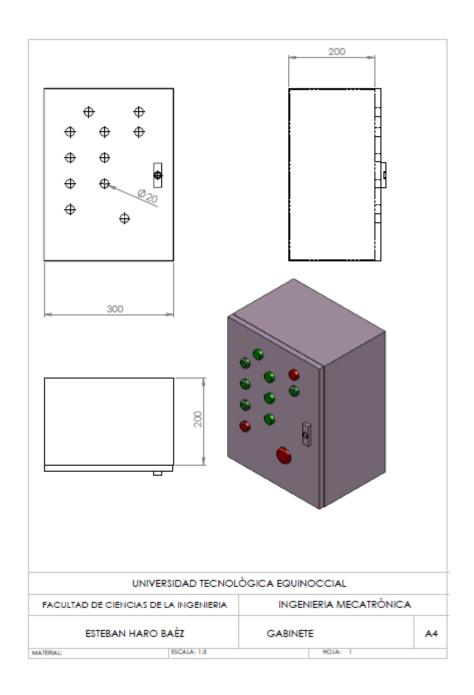
ANEXO 22. Plano punzón inferior grande



ANEXO 23. Plano soporte horizontal



ANEXO 24. Plano gabinete



ANEXO 25. Plano ensamblaje mecánico

