



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PUEBLA
ORGANISMO PÚBLICO DESCENTRALIZADO DEL ESTADO DE PUEBLA

PROYECTO FINAL PARA OBTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECATRÓNICO

**Reingeniería e implementación del sistema
de cierre de una máquina extrusora de PVC
para la fabricación de suelas.**

ALUMNA:

ARANDA BERE A ESTEFANIA

ASESOR

DR. JOSÉ PEDRO SÁNCHEZ SANTANA

EVALUADORES:

M.I. VIVANCO PIZARRO MIGUEL

Dr. GUTIÉRREZ RAMÍREZ JOSÉ MIGUEL

JUAN C. BONILLA PUEBLA, ABRIL DEL 2019

DIRECCIÓN DEL PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA

MECATRÓNICA

ACTA DE EXAMEN

En el Municipio Juan C. Bonilla, Puebla a 16 de Abril del año 2019 siendo las 11:45 horas, se reunieron en el aula D3-209 de esta Universidad, los integrantes del jurado:

Presidente:

Dr. José Miguel Gutiérrez Ramírez

Secretario:

H. I. Miguel Vivanco Pizarro

Vocal:

Dr. José Pedro Sánchez Santana

Y de acuerdo a las disposiciones reglamentarias en vigor se procedió a efectuar el examen que para obtener el título de Ingeniero(a) Mecatrónico(a) presenta el/la C. Estefanía Ayanda Barea con matrícula número 151403104.

Tomando en cuenta el contenido del trabajo cuyo título es: Remanencia e implementación del sistema de cierre de una máquina extrusora de PVC para fabricación de Suelos que fue dirigido por Dr. J. Pedro Sánchez Santana y codirigido por Dr. José Miguel Gutiérrez Ramírez, una vez concluida la presentación oral se decidió que fuera: Aprobada por unanimidad.

El/La presidente del jurado hizo saber al sustentante el resultado obtenido, el código de ética y le tomó la protesta de ley, dándose por terminado el acto a las 12:35 horas y una vez leída y aprobada la presente fue firmada por las personas que en el acto intervinieron.



Presidente



Vocal



Carta de Presentación/Aceptación para Realizar Estadía

Juan C. Bonilla, Puebla a 17 de enero de 2019

Ing. José Gerardo Guardado Márquez
Gerente de Producción
GUMAR
Presente.

Los estudiantes de la Universidad Politécnica de Puebla, como parte de su formación académica y profesional, deben realizar de manera obligatoria su Estadía dentro de una empresa o institución relacionada con algún área de especialización de sus estudios respectivos, con la intención de adquirir pertinencia y experiencia laboral en cada ciclo formativo.

Estas actividades se desarrollarán durante un cuatrimestre, que comprende 600 horas de trabajo, distribuidas de acuerdo al convenio al que se llegue con la empresa.

Es importante destacar que los estudiantes tienen la obligación de mantener la confidencialidad de la información derivada de la Estadía, y además, durante el desarrollo de ésta, no generarán relación laboral alguna con la Unidad Productiva o Social, ya que ellos cuentan con seguro social facultativo que les cubre la atención médica.

Agradecemos las facilidades brindadas al estudiante:

Nombre: Aranda Bercia Estefanía
Número de matrícula: 161403100
Programa académico: Ingeniería en Mecatrónica
Actividades a desarrollar: Estadía
Duración: 600 Hrs
Fecha de inicio: 17 de enero de 2019 Fecha de término: 01 de abril de 2019
Asesor por parte de la Unidad Productiva o Social: Ing. José Gerardo Guardado Márquez
Asesor por parte de la Universidad: Dr. José Pedro Sánchez Santana

De conformidad, las partes se comprometen a cumplir con lo mencionado anteriormente.



Nombre de la Empresa:	GUMAR Solución de Maquinaria			Fecha:	05/03/19
Tamaño de la Empresa:	Micro(1-10)		Pequeña(11-50)	X	
	Mediana (51-250)		Grande (Mas de 251)		
Sector de la Empresa:	Público		Privado	X	
Nombre del Evaluador:	José Gerardo Guardado Márquez				
Teléfono del Evaluador:	+5213313333133		E-mail:	gerardo.guardado@gumar.com.mx	
Nombre del Estudiante:	Estefania Aranda Berea				
Programa Académico:	Ing. Mecatrónica		Área asignada:	Diseño mecánico y eléctrico	
	Estancia 1		Estancia 2	Estadía	X
	Seguimiento	X	Evaluación		

Favor de evaluar el nivel de satisfacción de 1 a 5, de acuerdo al desempeño del estudiante, con base en la siguiente escala de valores:

1 Insatisfecho = 0%, 2 Poco satisfecho 25%, 3 Regular satisfacción 50%,
4 Buena satisfacción 75%, 5 Muy satisfecho 100%

1	¿Aplica razonamiento lógico y analítico?	5
2	¿Es puntual y asiste?	5
3	¿Asume responsabilidades?	5
4	¿Domina alguna lengua extranjera?	5
5	¿Es hábil para relacionarse?	5
6	¿Su presentación personal es adecuada?	5
7	¿Desarrolla habilidad para trabajar en equipo?	5
8	¿Muestra habilidad de dirección y liderazgo?	5
9	¿Se interesa por la búsqueda de información pertinente y actualizada?	5
10	¿Manifiesta disposición para aprender constantemente?	5
11	¿Adquirió competencias durante el proyecto asignado?	5
	Total	55

¿Considera liberada la estancia/estadía del estudiante por su desempeño? Si X No

¿Qué aspectos sugiere usted, para lograr una adecuada pertinencia con su empresa?

Realizó la Estancia/Estadía:

Firma del estudiante

Nombre de la Empresa:	GUMAR Solución en Maquinaria			Fecha:	22/03/19
Tamaño de la Empresa:	Micra(1-10)		Pequeña(11-50)	x	
	Mediana (51-250)		Grande (Más de 251)		
Sector de la Empresa	Público		Privado	x	
Nombre del Evaluador:	José Gerardo Guardado Márquez				
Teléfono del Evaluador:	+5213313333133		E-mail:	gerardo.guardado@gumar.com.mx	
Nombre del Estudiante:	Estefanía Aranda Barea				
Programa Académico:	Meatrónica		Área asignada:	Diseño mecánico y eléctrico	
	Estancia 1		Estancia 2		Estadía
	Seguimiento		Evaluación	x	

Favor de evaluar el nivel de satisfacción de 1 a 5, de acuerdo al desempeño del estudiante, con base en la siguiente escala de valores:

1 Insatisfecho = 0%, 2 Poco satisfecho 25%, 3 Regular satisfacción 50%,
4 Buena satisfacción 75%, 5 Muy satisfecho 100%

1	¿Aplica razonamiento lógico y analítico?	5
2	¿Es puntual y asiste?	5
3	¿Asume responsabilidades?	5
4	¿Domina alguna lengua extranjera?	5
5	¿Es hábil para relacionarse?	5
6	¿Su presentación personal es adecuada?	5
7	¿Desarrolla habilidad para trabajar en equipo?	5
8	¿Muestra habilidad de dirección y liderazgo?	5
9	¿Se interesa por la búsqueda de información pertinente y actualizada?	5
10	¿Manifiesta disposición para aprender constantemente?	5
11	¿Adquirió competencias durante el proyecto asignado?	5
Total		5

¿Considera liberada la estancia/estadía del estudiante por su desempeño? Sí No

¿Qué aspectos sugiere usted, para lograr una adecuada pertinencia con su empresa?

Realizó la Estancia/Estadía:

Firma del estudiante

ASUNTO: Carta De Terminación.

Calle Vicente Guerrero 125, Las Pintitas, Jalisco
Abril 1 del 2019.

Dra. Rita Marina Aceves Pérez.
Coordinadora del Programa Académico
de Ingeniería en Mecatrónica

PRESENTE:

Por medio de la presente me permito informarle que el **C. Estefania Aranda Beres** alumno (a) de la carrera de **Ingeniería Mecatrónica** con número de matrícula **151403109**, ha finalizado la Estadía en el programa académico de Ing. Mecatrónica dentro de GUMAR "Solución en maquinaria", desempeñando actividades satisfactoriamente en las Áreas de Diseño mecánico y eléctrico, donde cubrió un total de **600** horas a partir del 17 de Enero del 2019 hasta el 1 de Abril del 2019.

Sin otro asunto en particular, aprovecho la ocasión para enviarte un cordial saludo.





COMISIÓN DE
COORDINACIÓN
ESTADÍSTICA



SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



ACTA DE REVISIÓN DE DOCUMENTO DE ESTADÍA

En el Mpio. de Juan C. Bonilla, Puebla, a 12 de abril de 2019, se designó a los miembros de la Comisión Revisora de la Estadía por parte de la Academia de Profesores de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Politécnica de Puebla para examinar el documento del proyecto de Estadía intitulado:

Ingeniería e implementación del sistema de cierre de una máquina extrusora de PVC

Presentado por la alumna:

Estefanía Aranda Berea

Con número de matrícula 151403109, aspirante al grado de

Licenciado en Ingeniería en Mecatrónica

Después de satisfacer los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR** el documento del proyecto de Estadía.

LA COMISIÓN REVISORA



Dr. José Miguel Gutiérrez Ramírez



M.I. Miguel Vivanco Pizarro
Secretario



Dr. José Pedro Sánchez Santana
Asesor de Estadía



ka

UPPue
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PUEBLA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PUEBLA
"Generamos Ciencia y Tecnología"
Tercer Carril del Ejido Serrano S/N, San Mateo Cuauhtla,
Mpio. Juan C. Bonilla, Puebla, México
C.P. 72640 Tels. (222) 774 66 40 al 48

UTP
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
Y POLITÉCNICA

Certificado de: 001-0001-2019 - Expedido en el Mpio. de Juan C. Bonilla - Puebla - Querétaro en un Mpio. de Juan C. Bonilla - Puebla - Querétaro el 12 de abril de 2019 en la Universidad Politécnica de Puebla

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En el Mpio. de Juan C. Bonilla, Puebla, el día 12 de abril del 2019, el que suscribe Aranda Berea Estefanía alumno del Programa Académico de Ingeniería Mecatrónica con número de matrícula 151403109, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo documental de Estadía bajo la dirección del Dr. José Pedro Sánchez Santana y cede los derechos del trabajo intitulado "Reingeniería e implementación del sistema de cierre de una máquina extrusora de PVC", a la Universidad Politécnica de Puebla para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección jose.sanchez@uppuebla.edu.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



Aranda Berea Estefanía

Agradecimientos

A mi madre Anabel Berea por su sacrificio para brindarme la educación y a su inmensurable esfuerzo que me ha permitido crecer personalmente y profesionalmente,

A mi padrastro Martin Castillo que, con sus consejos, pude seguir el camino correcto para poder llegar a este punto.

Le doy gracias a Dios por haberme permitido vivir hasta este día, haberme guiado a lo largo de mi vida, por ser mi apoyo, mi luz y mi camino. Por haberme dado la fortaleza para seguir adelante en aquellos momentos de debilidad

A mis romies: Diana Yezcas y Cesar Garcia, por ser parte significativa de mi vida, y por haber hecho el papel de una familia verdadera en todo momento, gracias por su apoyo, comprensión y sobre todo amistad.

A mis profesores: M.I. Miguel Vivanco Pizarro, Dr. Rafael Rojas, Dr. Agustín Moyotl, Dr. Marco A. Canchola, M.I.T. Grisel Toxqui, M.I.T. Mariana Tepox, Dr. José Pedro Sánchez Santana, Dr. Obed Cortez Aburto por el apoyo brindado a lo largo de la carrera, por su tiempo, amistad y por los conocimientos que me transmitieron.

Dedicatoria

Terminar este proyecto no hubiera sido posible sin el apoyo profesional de mi tutor el Dr. José Pedro Sánchez Santana, quien con paciencia encauso mi trabajo con sus conocimientos, con el firme propósito de conseguir un nivel de grado profesional la ingeniería en Mecatrónica y al profesor Miguel Vivanco Pizarro que con sus conocimientos me ayudo en cada momento de duda en la elaboración del proyecto de estadia.

Dedicado a Dios por iluminarme con su fe y bondad permitiéndome llegar hasta este punto y haber dado salud para lograr mis objetivos. De la misma forma y especial a mi madre Anabel Berea que con su amor, carácter y lecciones de vida me enseñó a nunca rendirme y tener claro que los sueños siempre se hacen realidad siempre y cuando trabajes y luches por ello y a mi padrastro Martin Castillo quienes me han apoyado en cada momento, sus consejos, valores, sabiduría, amor, lecciones de vida y permanente motivación el cual ha permitido mi crecimiento personal guiándome a ser la gran persona que soy en día, a mi familia y amigos por el apoyo brindado en los logros alcanzados y momentos vividos.

Resumen

El proyecto comienza con la descripción detallada del estado actual del proceso para la fabricación de suelas, el estado actual de la máquina extrusora encontrada en la empresa Gumar “Solución de maquinaria”. Luego con la parametrización y conceptualización del proceso que realiza este tipo de máquina. Con la información recopilada se establece la alternativa de diseño para el sistema de cierre para el aumento de producción de calzado total no solo de la suela, donde por medio de la aprobación del encargado del proyecto en la empresa el Ing. Gerardo Guardado Márquez fue la alternativa adecuada a partir de las necesidades específicas dadas, por lo que es factible y da solución al problema propuesto. Continuando con la automatización del sistema de control optimizando el número de componentes y aumento de producción minimizando tiempos muertos que se generan al ser una máquina convencional.

Para analizar el nuevo diseño se analizó por medio CAE, además se realizó planos de piezas, planos de ensamble y montajes, el modelado de componentes a través de la herramienta CAD SolidWorks® , así como las simulaciones del sistema de control neumático por medio de FluidSim® y la programación del PLC mediante CoDeSys® .

Abstract

The project begins with a detailed description of the current state of the process for the manufacture of soles, the current state of the extruding machine found in Gumar company "Machine Solution". Then with the parametrization and conceptualization of the process carried out by this type of machine. The information collected establishes the design alternative for the closing system for the increase of production of total footwear not only from the sole, where by means of the approval of the project manager in the company Ing. Gerardo Guardado Márquez, was the appropriate alternative based on specific needs given, so it is feasible and adapted to the proposed problem. Continuing with the automation of the control system avoiding excess components and increased production eliminating dead times that are generated by being a conventional machine, beginning with the selection of the PLC, its logical sequence and the programming of this.

Checking the design, the drawings of its elements were made, location, assembly, assembly and manufacturing of components through CAD tools SolidWorks® and simulations of the FluidSIM® control system and the programming language of the PLC.

Acrónimos

PVC: Policloruro de vinilo

PLC: Controlador lógico programmable (Programmable Logic Controller)

USB: Bus Universal en Serie (Universal Serial Bus)

HMI: Interfaz hombre máquina (Human Machine Interface)

LED: Diodo Emisor de Luz (Light Emitting Diode)

CNC: Control Numérico por Computadora

CAD: Diseño asistido por computadora (Computer-Aided Design)

DIN: Instituto Alemán de Normalización (Deutsches Institut für Normung)

Contenido

1.1	Introducción.....	1
1.2	Descripción de la Empresa.....	2
1.3	Planteamiento del problema.....	3
1.4	Justificación.....	4
1.5	Objetivos.....	5
1.4.1	Objetivo general.....	5
1.4.1	Objetivo específico.....	5
Capítulo 2	6
2.1	Desarrollo.....	6
2.1.1	Proceso para la producción de calzado.....	6
2.1.1.1	Selección de material.....	6
2.1.1.2	Cortado.....	6
2.1.1.3	Maquinado.....	7
2.1.1.4	Montado.....	7
2.1.1.5	Ensuelado.....	7
2.1.1.6	Acabado.....	8
2.2	Maquinaria y herramientas para el proceso.....	8
2.3	Material a procesar.....	9
2.4	Proceso para la fabricación de suela.....	11
2.4	Estado actual de la máquina.....	12
2.1.6	Características técnicas del estado actual de la máquina.....	14
2.2	Propuesta de Solución.....	17
2.2.1	Sistemas de la máquina extrusora directa al corte.....	17
	En las Figuras 12 y 13 se muestra la máquina a rediseñar y el diseño actual respectivamente.....	18
	Triángulo de aluminio.....	19
	Perno Giro.....	20
	Sistema de Posicionamiento de Hormas.....	20
	20
	Sistema de Cierre.....	21
	Capacidad de la tolva.....	28
	Sistema de posicionamiento de punteras.....	29
2.3	Desarrollo de Solución para la automatización.....	31
2.3.1	PLC a utilizar.....	31

3.2 Diagrama de flujo del Proceso.....	32
2.3.3 Diagrama eléctrico	34
2.3.4 Lenguaje de Programación	36
2.3.5 Estructura del Programa	37
Capítulo 3.....	43
3.1 Resultados obtenidos	43
3.1.1 Integración de los componentes.....	43
3.1.2 Validación	43
3.1.3 Montaje total	43
3.3.4 Sistema de Control.....	47
3.3.5 Simulación del circuito	47
3.3.6 Conclusión.....	53
Bibliografía	54
ANEXOS	55
ANEXOS A.....	56
Planos del sistema de cierre de la máquina SMN-V19.....	56
Componentes electrónicos	63
ANEXOS C.....	68
Cálculos de la Tolva	68
ANEXO D.....	73
Circuito máquina SMH-V19	73

Índice de Figuras

FIGURA 1. LOGO DE LA EMPRESA GUMAR.....	2
FIGURA 2. CORTE DE MODELOS DE CALZADO.....	7
FIGURA 3. POLICLORURO DE VINILO.....	10
FIGURA 4. UNIDAD DE CIERRE.....	12
FIGURA 5. UNIDAD EXTRUSORA.....	13
FIGURA 6. UNIDAD DE POTENCIA.....	13
FIGURA 7. TABLERO DE CONTROL.....	14
FIGURA 8. CIRCUITO ELÉCTRICO.....	14
FIGURA 9. ESQUEMA DE LA MÁQUINA SMH.V19.....	15
FIGURA 10. DISEÑO GENERAL DE LA MÁQUINA.....	17
FIGURA 11. UBICACIÓN DE PIEZAS.....	18
FIGURA 12. MÁQUINA SMH-V19.....	18
FIGURA 13. MÁQUINA SMN-V17.....	19
FIGURA 14. TRIÁNGULO DE ALUMINIO.....	19
FIGURA 15. PERNO GIRO.....	20
FIGURA 16. POSICIONAMIENTO DE HORMAS.....	20
FIGURA 17. SISTEMA DE CIERRE.....	21
FIGURA 18. MOLDE DE MORDAZAS.....	22
FIGURA 19. PLANO DE PARTICIÓN.....	24
FIGURA 20. MEDIDAS DEL MOLDE.....	25
FIGURA 21. PUNTOS DE EXTRUSIÓN.....	25
FIGURA 22. ENTRADAS.....	26
FIGURA 23. CANAL DE INYECCIÓN.....	26
FIGURA 24. BEBEDERO.....	27
FIGURA 25. PRESIÓN DE INYECCIÓN.....	27
FIGURA 26. TEMPERATURA MEDIA.....	28
FIGURA 27. TOLVA.....	28
FIGURA 28. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO DE PUNTERAS.....	29
FIGURA 29. ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA.....	30
FIGURA 30. TENSIONES.....	30
FIGURA 31. FACTOR DE SEGURIDAD.....	31
FIGURA 32. PLC FESTO CECC-LK.....	32
FIGURA 33. DIAGRAMA ELÉCTRICO DE UNA MÁQUINA CONVENCIONAL.....	34
FIGURA 34. CIRCUITO ELÉCTRICO DE LA MÁQUINA DIRECTA AL CORTE.....	35
FIGURA 35. SIMBOLOGÍA DEL CIRCUITO.....	35
FIGURA 36. VARIABLES GLOBALES.....	37
FIGURA 37. VARIABLES GENERALES.....	37
FIGURA 38. CÓDIGO KOP, LÍNEA 1.....	37
FIGURA 39. CÓDIGO KOP, LÍNEA 2.....	38
FIGURA 40. CÓDIGO KOP, LÍNEA 3.....	38
FIGURA 41. CÓDIGO KOP, LÍNEA 4.....	38
FIGURA 42. CÓDIGO KOP, LÍNEA 5.....	39
FIGURA 43. CÓDIGO KOP, LÍNEA 6.....	39
FIGURA 44. CÓDIGO KOP, LÍNEA 7.....	40
FIGURA 45. CÓDIGO KOP, LÍNEA 8.....	40
FIGURA 46. CÓDIGO KOP, LÍNEA 9.....	40
FIGURA 47. CÓDIGO KOP, LÍNEA 10.....	40
FIGURA 48. CÓDIGO KOP, LÍNEA 11.....	41
FIGURA 49. CÓDIGO KOP, LÍNEA 12.....	41
FIGURA 50. CÓDIGO KOP, LÍNEA 13.....	41
FIGURA 51. CÓDIGO KOP, LÍNEA 14.....	42
FIGURA 52. PROGRAMACION PLC.....	42
FIGURA 53. MONTAJE FINAL.....	44

FIGURA 54. ANILLOS.....	44
FIGURA 55. CARRO PORTA HORMAS.....	45
FIGURA 56. SOPORTE HORMAS.....	45
FIGURA 57. PISTÓN HORMAS.....	46
FIGURA 58. PISTÓN ANILLOS.....	46
FIGURA 59. BRAZO.....	46
FIGURA 60. TABLERO DE SISTEMA DE CONTROL.....	47
FIGURA 61. CIRCUITO INACTIVO.....	48
FIGURA 62. SIMULACIÓN ACTIVA.....	48
FIGURA 63. EXTENSIÓN DEL VÁSTAGO A.....	49
FIGURA 64. EXTENSIÓN DEL VÁSTAGO B.....	50
FIGURA 65. EXTENSIÓN DEL VÁSTAGO C.....	50
FIGURA 66. PROCESO DE EXTRUSIÓN.....	51
FIGURA 67. PISTÓN C RETRAÍDO.....	51
FIGURA 68. PISTÓN B RETRAÍDO.....	52
FIGURA 69. PISTÓN A RETRAÍDO.....	52
FIGURA 70 GEOMETRÍA DE LA TOLVA.....	69
FIGURA 71 GEOMETRÍA DE POLÍGONO TRAPEZOIDAL.....	70

Índice de Tablas

TABLA 1. MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS REQUERIDAS PARA LA PRODUCCIÓN DEL CALZADO.....	8
TABLA 2. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL PVC.....	10
TABLA 3 PROPIEDADES TÉRMICAS DEL PVC.....	10
TABLA 4. DIMENSIONES DE LA MÁQUINA.....	15
TABLA 5. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN.....	15
TABLA 6. CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA ALTERNATIVA.....	16
TABLA 7. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE CIERRE.....	16
TABLA 8. CARACTERÍSTICAS Y OTROS DATOS.....	16
TABLA 9. TIPO DE MOLDES.....	22
TABLA 10. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES PARA MOLDES.....	23
TABLA 11. VALOR LÓGICO.....	36
TABLA 12. VARIABLES UTILIZADAS, LÍNEA 1.....	37
TABLA 13. VARIABLES UTILIZADAS, LÍNEA 2.....	38
TABLA 14. VARIABLES UTILIZADAS, LÍNEA 3.....	38
TABLA 15. VARIABLES UTILIZADAS, LÍNEA 4.....	39
TABLA 16. VARIABLES UTILIZADAS, LÍNEA 5.....	39
TABLA 17. VARIABLES UTILIZADAS, LÍNEA 6.....	39
TABLA 18. VARIABLES UTILIZADAS, LÍNEA 7.....	40
TABLA 19. VARIABLES UTILIZADAS, LÍNEA 8.....	40
TABLA 20. VARIABLES UTILIZADAS, LÍNEA 9.....	40
TABLA 21. VARIABLE UTILIZADA, LÍNEA 10.....	41
TABLA 22. VARIABLES UTILIZADAS, LÍNEA 11.....	41
TABLA 23. VARIABLES UTILIZADAS, LÍNEA 12.....	41
TABLA 24. VARIABLES UTILIZADAS, LÍNEA 13.....	41
TABLA 25. VARIABLES UTILIZADAS, LÍNEA 14.....	42

Diagramas

DIAGRAMA DE FLUJO 1. PROCESO MÁQUINA DE EXTRUSIÓN.....	33
DIAGRAMA A BLOQUES 1 PROCESO PARA LA FABRICACIÓN DE SUELAS.....	11

Capítulo 1

1.1 Introducción

La industria del calzado es de gran importancia debido a su capacidad en la generación de empleo y por ser proveedor de un artículo de mayor consumo que satisface las necesidades básicas de la población. Una de las características del sistema de producción de calzado en el país es su mano de obra, situación que ha dado pie al surgimiento de la empresa GUMAR que ha sido la protagonista en el desarrollo y fabricación de maquinaria para la industria del calzado en México logrando mantenerse a la vanguardia con productos innovadores, sin embargo, en los últimos meses enfrenta un problema de producción en su maquinaria debido a que los procesos de estas máquinas se consideran antiguos ya que cuenta con lógica cableada, quedando obsoleta frente a la exigencia que el mercado demanda. Por lo tanto, la maquinaria representa uno de los principales problemas y retos que enfrenta la industria del calzado

Pese a que la industria del calzado se tipifica como una actividad de uso intensivo de mano de obra, existe gran diversidad de máquinas y herramientas empleadas en el proceso.

Por otra parte, la maquinaria que se hace en México se basa en diseños obsoletos siendo muchas veces una réplica de la maquinaria extranjera. Además de esto, la maquinaria nacional es demasiado cara para el servicio que da a la industrial. [1]

La parte más complicada en todo el proceso de fabricación es el piso o suela: la horma se puede obtener de manera más o menos sencilla con un torno, los materiales se pueden cortar a mano mediante cuchillas o con máquinas automáticas, sin embargo, el prototipo de la suela es un procedimiento mucho más complejo. Para ello, un experto maquetista parte de la horma, de los bocetos de los modelistas y “talla” la suela sobre un bloque de resina. Este es un proceso engorroso que realiza un maestro artesano y que depende de la interpretación que se haga de los bocetos, ya que generalmente no definen con exactitud las medidas

Tomando en cuenta el proceso de montado y ensuelado estos pasos unidos se convierten en una producción en serie ya que requiere la realización de tareas repetitivas y de una especialización muy grande, porque el operario siempre realiza la misma tarea cuando el corte llega frente a él. Estos pasos se pueden implementar a una sola máquina porque siguen procedimientos bien definidos que se pueden realizar por algoritmos sofisticados.

Actualmente la fabricación de las suelas se realiza mediante el proceso de fundición de polímeros por medio de una máquina extrusora. La fabricación de los moldes para dicho proceso se hace por medio de un programa el cual a través de una máquina CNC, se realiza el mecanizado deseado para obtener el molde a fabricar, posteriormente este molde es acoplado a la máquina extrusora y esta inicia el proceso de inyección de la materia prima para así concluir con el producto terminado, la suela inyectada al corte con la puntera correctamente posicionada.

1.2 Descripción de la Empresa

La empresa GUMAR Solución de maquinaria de la cual se muestra el logo en la Figura 1, se dedica a la manufactura de maquinaria para la industria del calzado contando con una línea de máquinas para la fabricación de suelas ubicado en el estado de Jalisco.

Con 30 años de experiencia. La empresa ha sido protagonista en el desarrollo y fabricación de maquinaria en México. Ha logrado mantenerse a la vanguardia con productos innovadores, nuevas y mejores materias primas y aplicaciones tecnológicas para ofrecer productos de la mejor calidad a los mejores precios. [2]

Día a día, mantener una posición de liderazgo, con base en la preferencia del consumidor, logrando crear valores que propicien el desarrollo consistente con la generación de los recursos que la sustentan, además de ser referencia nacional en el ramo de la fabricación de maquinaria, alcanzada por lograr satisfacer y aún más, superar las expectativas de nuestros clientes.

UBICACIÓN

Vicente Guerrero 125, Col. Las Pintitas
El Salto, Jalisco, México CP 45690
Tel. (33) 3695-1182 / 3695-1136



Figura 1. Logo de la empresa GUMAR.

1.3 Planteamiento del problema

La empresa GUMAR "Solución de maquinaria" construye máquinas para la industria del calzado, Para lograr posicionarse a nivel nacional en la década de los noventas y dos mil, logrando tener máquinas robustas para producir calzado de calidad y una producción competitiva. Esto lo logró utilizando tecnología disponible al replicar patentes caducadas, por lo que en su momento fue una buena estrategia de mercado y desarrollo tecnológico. Pero desafortunadamente, para hoy en día se enmarcan nuevos objetivos, planteando a realizar una actualización y mejoramiento de sus máquinas, principalmente la máquina modelo SMH-V19, que actualmente cuenta con la capacidad para producir el volumen requerido actualmente ya que estas solo aportan un 30% del proceso de producción total del calzado siendo únicamente la fabricación de suelas. Ya que el proceso de producción del calzado cuenta con una serie de pasos los cuales son: selección de material, cortado, maquinado, montado, ensuelado y acabado.

Por otro lado, el costo para la automatización de estas máquinas está excediendo el presupuesto designado ya que sus sistemas están compuestos de lógica cableada y esto implica un gasto excedente de componentes eléctricos, desde otra perspectiva la lógica cableada hace que las modificaciones y/o la detección de fallas sea un problema que genera tiempo muerto y retrasos en la construcción de la maquinaria, además este tipo de lógica hace que los tableros eléctricos sean de un tamaño considerable lo que implica un aumento general de la máquina.

Una vez definido el problema existente en la máquina extrusora de PVC, así como el proceso de producción de calzado se propone lo siguiente;

Unir a una sola máquina los pasos previamente mencionados. Modificando el diseño actual de cierre por prensa y sustituyendo con un sistema de moldeo basado en una horma con sistema de cierre de tipo mordazas ya que este reduce el tiempo de montaje. Implementar brazos mecánicos en los laterales de la máquina para el posicionamiento de las punteras aumentando la calidad del producto.

1.4 Justificación

La importancia del proyecto se sustenta en que la maquinaria para fabricación de suelas encontradas en la empresa GUMAR en la ciudad de Guadalajara Jalisco no está en capacidades para producir el volumen de piezas necesario en la actualidad, ni en mejorar los tiempos de entrega de los lotes de producción lo que genera retrasos y consiguiente insatisfacción del cliente, esto afecta la rentabilidad de los pequeños productores ya que las grandes compañías están optando por fabricar sus propias suelas. Debido al aumento significativo de la demanda del sector, los fabricantes de suelas se comprometen a entregar el producto sin tener en cuenta que la configuración de la maquinaria extrusora usada, no cuenta con la capacidad de producir la cantidad necesaria para la entrega oportuna de pedidos.

Con el objetivo de contribuir con la meta de la Empresa GUMAR “Solución de Maquinaria”, que pretende con este trabajo de grado, hacer la reingeniería en el sistema de prensado que permita la elaboración de mayor producción no solo de suelas sino del producto terminado (tenis, botas, sandalias, zapatos etc.), así como disminuir los tiempos de producción de los mismos.

La línea de producción del calzado cuenta con una serie de pasos mencionando los más importantes son el montado y ensuelado sin tomar en cuenta la producción de la suela ya que son los que requieren mayor tiempo y dedicación. Montado: Se selecciona la horma de acuerdo a la numeración para conformar se fijar la planta a base de clavos y cemento, esto se hace manualmente utilizando una máquina especial para presionar quedando bien realizado, así como conformado el zapato. Se montan puntas y talones. Después se realiza el proceso de asentar que consiste en hacer que el corte asiente perfectamente en la horma con un tiempo estimado de 4 min por un par de zapatos. El proceso de ensuelado por pegado tradicional: suponiendo que las suelas se compran hechas, primero se marca la suela, después se realiza el cardado, en la parte de la suela que se ha de pegar al corte en una máquina especial se hacen unas hendiduras para que el pegamento se impregne mejor y posteriormente se realiza pegado de suela. Para el pegado de la suela se incrementa la temperatura en una máquina especial que pega a presión a la suela durante 30 segundos, por último, se desmonta la horma teniendo como total de 3 min más. Para estos pasos se necesita un tiempo aproximado de 7 minutos, sumando 15 segundos de extrusión y tiempos muertos cerrando los minutos tenemos un total de 8 min, en una jornada laboral de 8 hrs produciendo un total de 48 pares al día.

1.5 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Realizar la reingeniería del sistema de prensado de una máquina extrusora de PVC para la fabricación de suelas modelo "FERNANDA" para aumentar la calidad y producción mediante un sistema automatizado.

1.4.1 Objetivo específico

- Reconocer la máquina extrusora de suelas SMH.V19 para encontrar áreas de oportunidad para su mejora.
- Realizar el diseño virtual de las mejoras para validar su funcionamiento mediante software especializado y garantizar su buen funcionamiento.
- Automatizar el proceso de prensado mediante lógica programable por medio de un controlador para la disminución de tiempos.

Capítulo 2

2.1 Desarrollo

La idea de realizar la reingeniería, y la automatización de una máquina extrusora de termoplásticos surge cuando los clientes no se dan abasto de producir únicamente la suela del calzado, optando por incluir pasos del producto total de calzado a las máquinas extrusoras de suelas.

2.1.1 Proceso para la producción de calzado

El proceso para la producción de calzado cuenta con una serie de pasos, los cuales son los siguientes:

1. Selección de material
2. Cortado
3. Maquinado
4. Montado
5. Ensuelado
6. Acabado

2.1.1.1 Selección de material

Este material Constituye la parte externa del zapato, y está formado por:

- Empeine
- Pala
- Collarín
- Chaleco
- Antifaz
- Puntera

El corte es de plástico, de lona o de tela, el corte es la parte del zapato que envuelve al pie.

2.1.1.2 Cortado

El cortado sigue siendo artesanal, utilizando un utensilio manual para cortar la piel usando un patrón (normalmente de cartón duro). Aun así, existen máquinas automáticas de corte, sobre todo usadas para el corte del forro interior del zapato, que suele ser de piel de menor calidad.

2.1.1.3 Maquinado

Se requieren varios procesos:

- Foliado: es la impresión en los forros de la clave, número de lote, modelo número de par, tamaño o medida para su rápida selección e identificación.
- Grabado: impresión de la marca en la plantilla.
- Perforado: en algunos casos se lleva a cabo de acuerdo al diseño.

2.1.1.4 Montado

Se fija la planta a la horma mediante tachuelas o grapas, se le pone pegamento a la planta para que al realizarse el montado se fije de inmediato. Se moja el casco de celaste con gasolina y se mete la puntera a una máquina que planchará el casco sacándole las arrugas, la misma operación se realiza con el contrafuerte.

La punta del zapato se vaporiza a través de una máquina, humedeciéndola y se monta sobre la horma con un tirón, así la piel resiste y no se rompe o agrieta como lo haría si estuviera seca. Se montan los lados y talones a la horma de preferencia con la máquina montadora, para hacerlo con rapidez.

Se quintan las tachuelas o grapas utilizadas al inicio de esta sección, porque la horma se encuentra bien pegada y con el corte ya montado. Se quita o desvanece el borde natural originado por el montado de puntas para que no queden bordos

2.1.1.5 Ensuelado

El corte de zapato ya montado en la horma y las suelas, se raspa, carda (hacer surcos) para que, al untar el pegamento, los materiales absorban adecuadamente, el pegamento que se coloca con una brocha de cerdas de caballo. La suela y el corte mostrado en la Figura 2 se unen y se meten a una prensa hidráulica o neumática manteniendo una presión constante durante unos segundos. Se rebaja el excedente de suela y se pinta el canto u orilla, se pule la suela con una lija hasta que queda lisa y poderla pintar.



Figura 2. Corte de modelos de Calzado.

2.1.1.6 Acabado

Se pegan las plantillas, se pintan los cantos de suelas y forros, se realiza el lavado del corte y forros con jabón especial; se desmancha el zapato de residuos del proceso productivo.

2.2 Maquinaria y herramientas para el proceso.

Pese a que la industria del calzado se tipifica como una actividad exhaustiva de trabajo manual, existe gran diversidad de máquinas y herramientas empleadas en el proceso.

Para ilustrar la variedad de equipo, a continuación, se presenta en la Tabla 1 la maquinaria que se requiere para la fabricación de calzado de piel y sintético divididos, según la fase del sistema de producción en que se emplea cada máquina. [1]

Tabla 1. Maquinaria y herramientas requeridas para la producción del calzado.

CORTE	PESPUNTE	MONTADO	ENSUALADO	ACABADO	ADORNO
Suajadora	Ojiladora	Máquina activadora de casquillo	Montadora de suela	Máquina desviradora	Armadora de caja
Troqueladora	Perforadora	Armadora de tacón	Activador de suela	Secador	Pistola de Aire
Entreteladora	Enlazadora	Dobladilladora	Banda	Máquina gravadora	
	Máquina pespunte 1 y 2 agujas	inyector aire calientes	Transportadora	Máquina grabadora	
	Rematadora de pespunte	Horno	Asentadores	Máquina apomazadora	
	Remachadora	Aplanadora de Acero	Suajadora	Troqueladora	
	Elotadora	Activador de Suela	Biseladora	Máquina cementadora	
	Encasquilladora	Pulidora	Cardadores	Banco de cepillar	
	Rebajadora	Máquina deshormadora		Banda transportadora	
	Dobladora	Máquina desviradora de cantos			
	Habadora	Enchineladora Máquina			
	Cosedora 1y 2 Ag.	Enfriadora de Cantos			
	Maquinas de costura	Sujetadores de avió			
		Vaporizador			
		Montadora			
		Caja			
		Tacón			
		Puntas			

		Lados			
		Talones			
		Suela			
		Asentadora			
		Cortadora			
		Engrapadora			
		Máquina para levantar			
		Hendido			
		Prensa			
		Conformadora			
		Banda transportadora			

Una vez mencionada la maquinaria que se usa para la industria del calzado, se puede decir que no se cuenta con una máquina que contenga los pasos de montado y ensuelado en una sola estructura.

2.3 Material a procesar

Al hablar del proceso de ensuelado se encuentra la producción de suela que es la parte más importante del proceso ya que sirve para proteger la planta del pie y proporcionar tracción y mayor fricción para evitar caídas. Dependiendo del tipo de zapato y de su finalidad, existen varios tipos de materiales con los que fabricar las suelas de calidad de los zapatos.

- Suelas de goma o Caucho.
- Suelas de gomas termoplásticas (TR).
- Suelas de PVC.
- Suelas de TPU.
- Suelas de Cuero.
- Suelas de EVA.
- Suelas de Micro.
- Suelas de Crepelina.
- Suelas Top Flex.

El PVC mostrado en la Figura 4, se encuentra como el termoplástico más versátil por lo que es el más utilizado para la fabricación de suelas, el cual provee propiedades mecánicas adecuadas para ser utilizado como parte fundamental del calzado. En su composición este material contiene un 57% de cloro y un 43% proveniente de hidrocarburos. Para darle la característica a cada tipo de PVC se le agregan aditivos que pueden ser: plastificantes, estabilizantes, lubricantes, cargas, pigmentos, espumantes, absorbedores de rayos ultravioleta, ayudas de proceso, modificador de impacto, modificadores de viscosidad, antiestáticos, fungicidas y solventes, todo esto con el fin de obtener el material más propicio para la fabricación de suelas, las tablas 1 y 2 muestran las propiedades químicas y térmicas respectivamente de este material. [3]



Figura 3. Policloruro de Vinilo.

Tabla 2. Propiedades químicas del PVC.

PROPIEDADES	ESPECIFICACIÓN	UNIDAD	MÉTODO DE ANÁLISIS
Apariencia	Pellets Cilíndrico		Visual
Dureza	60-80	Shore D	ASTM D-2240
Índice de Fluidéz	45-50	°Celsius	ASTM D-1238
Densidad	1.22	g/cm ³	ASTM D-1505
Contracción	0.2	%	-

Tabla 3 Propiedades térmicas del PVC

PROPIEDADES	ESPECIFICACIÓN	UNIDAD
Temperatura	160	°Celsius
Resistencia a la deformación Térmica	75	°Celsius
Resistencia a la deformación en frío	-15	°Celsius
Capacidad específica de calor	0.17	KJ/Kg
Conductividad calórica	0.14	W/K*m
Coefficiente de expansión térmica lineal	70	1x10 ² K ⁻¹
Expansión térmica	20-100	°Celsius

2.4 Proceso para la fabricación de suela

Una vez definido el material a utilizar se define el proceso para la fabricación de suela que consiste en plastificar el material y vaciarlo en un molde con la forma deseada, para que el material el cual entra fundido a las cavidades, al solidificarse obtenga la forma final. Los procesos más comunes para la fabricación de la suela son: extrusión, inyección, vulcanizado y termo formado. El proceso que es mayormente utilizado es la de extrusión, gracias a que este proceso es el más eficiente en términos de producción. A continuación, se describe el proceso de producción de un par de suelas

1. Se realiza el modelo de la suela, mediante el uso de un software CAD, donde se tiene en cuenta los parámetros de diseño y tallas.
2. El proceso de fabricación del molde se realiza mediante un centro de mecanizado CNC, donde por arranque de viruta, los escariadores mecanizan el molde a partir de una placa que puede ser de aluminio o acero al carbono.
3. La inyectora es la encargada de fundir el material, y transportarlo hacia el molde, para obtener el producto final.

A continuación, se presenta el Diagrama a bloques 1 del proceso para la fabricación de suela mencionado anteriormente.



Diagrama a bloques 1 Proceso para la fabricación de suelas.

El moldeado por extrusión es una técnica de conformado típica de los materiales termoplásticos, en el caso de las suelas de PVC (material seleccionado), se obtienen productos que varían ampliamente en forma y tamaño, consiste básicamente en fundir el PVC e inyectarlo a una presión adecuada en las cavidades del molde, donde por medio de refrigeración por agua, se enfría el molde lo que hace que la suela pueda ser extraída sin deformarse.

El proceso tiene dos partes, la primera tiene lugar en la fundición del material, y la segunda en el vaciado del material, la forma en que se realiza este proceso en cada máquina es lo que las diferencia unas de otras, pueden ser de cierre vertical, horizontal o rotativo, la inyección puede ser igualmente, horizontal o vertical.

2.4 Estado actual de la máquina

EL estado actual de la máquina extrusora encontrada en la fábrica GUMAR solución de Maquinaria modelo “SMH.V19” pueden identificarse diferentes sistemas fundamentales que lo componen, los cuales son:

- Unidad de cierre
- Unidad de extrusión
- Unidad de potencia
- Unidad de control

Unidad de Cierre. Consta de los elementos necesarios para la colocación, accionamiento y cierre de las dos partes del molde. Las partes de la unidad de cierre son la cual la constituyen: pistones hidráulicos, guías para colocación del molde, cabezal móvil (el cual tiene movimiento para apertura y cierre del molde y aporta la presión necesaria para el cierre, normalmente utiliza presiones que varían entre 1800 Psi, cabezal fijo (fijo a la base de la máquina, ocupa normalmente la parte central de la misma y conecta la unidad de extrusión con la unidad de cierre) mostrado en la Figura 4.



Figura 4. Unidad de Cierre.

Unidad de extrusión. Consta de los elementos necesarios para carga, plastificación y extrusión del material. Lo constituyen: tolva, tornillo sin fin, camisa del tornillo sin fin, resistencias de banda y boquilla. Esta unidad funciona mediante el giro y movimiento axial del tornillo.

La máquina extrusora está fabricada con el sistema de tornillo alternativo, también llamado reciprocate, porque alterna las funciones de giro e extrusión. Las funciones principales de este tipo de unidades son: moverse para acercar o alejar la boquilla al bebedero del molde y cuando este llegue a su posición girar el tornillo durante la etapa de llenado, cuando el tornillo deja de girar, actúa el cilindro hidráulico empujando el material hasta la boquilla que conduce al bebedero del molde y a su vez a las cavidades

En la Figura 5 se muestra la cámara plastificadora con la colocación de las resistencias para la transferencia de calor hacia el material a dosificar.



Figura 5. Unidad Extrusora.

Unidad de Potencia. Es el conjunto de dispositivos que tienen como función suministrar la fuerza motriz a la unidad de extrusión. Estos dispositivos son: motor hidráulico o eléctrico, pistón hidráulico y bomba de desplazamiento positivo mostrado en la Figura 6, los cuales transforman la energía hidráulica del aceite en energía mecánica, dándole la potencia necesaria al tornillo sin fin para que cumpla su función.

Una parte de la energía necesaria para la fundición del PVC se debe al calor de fricción, este se suministra por el giro del tornillo, por lo tanto, durante esta etapa de Inyección, se consume gran cantidad de energía, requiriendo un motor que suministre suficiente potencia para vencer las fuerzas de oposición del tornillo que se generan en la fusión del material.



Figura 6. Unidad de Potencia.

Unidad de control. Serie de elementos eléctricos neumáticos e hidráulicos, que hacen que se realice el proceso de una forma predeterminada, controlan variables de trabajo de la máquina como temperatura, tiempo de extrusión, tiempo de enfriamiento y posición del plato porta moldes de manera manual. El sistema de control está ligado íntimamente al de potencia, a través de las distintas señales eléctricas las cuales se convierten en paros y movimientos en la Figura 7 se muestra el tablero de control.



Figura 7. Tablero de Control.

En la Figura 8 se muestra el circuito eléctrico con lógica cableada del estado actual de la máquina.

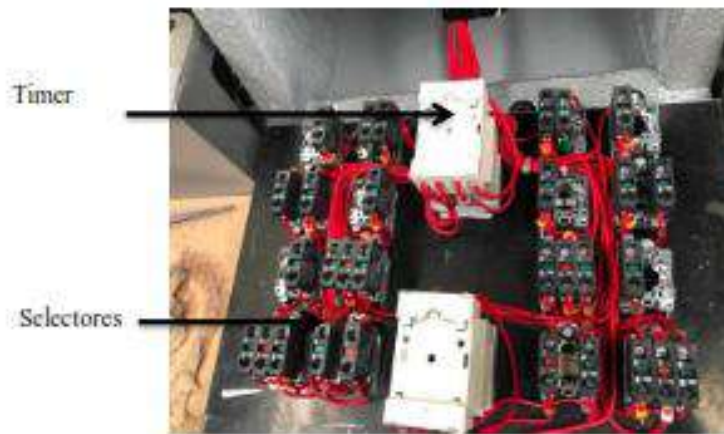


Figura 8. Circuito eléctrico.

2.1.6 Características técnicas del estado actual de la máquina

Conociendo el estado actual de la máquina se requiere tener referencia de las dimensiones principales y las características técnicas con las que cuenta la una máquina de extrusión "SMH.V19" para así poder modificar el diseño.

A continuación, se muestra en la Figura 9 el esquema de la máquina extrusora con 3 estaciones convencional.

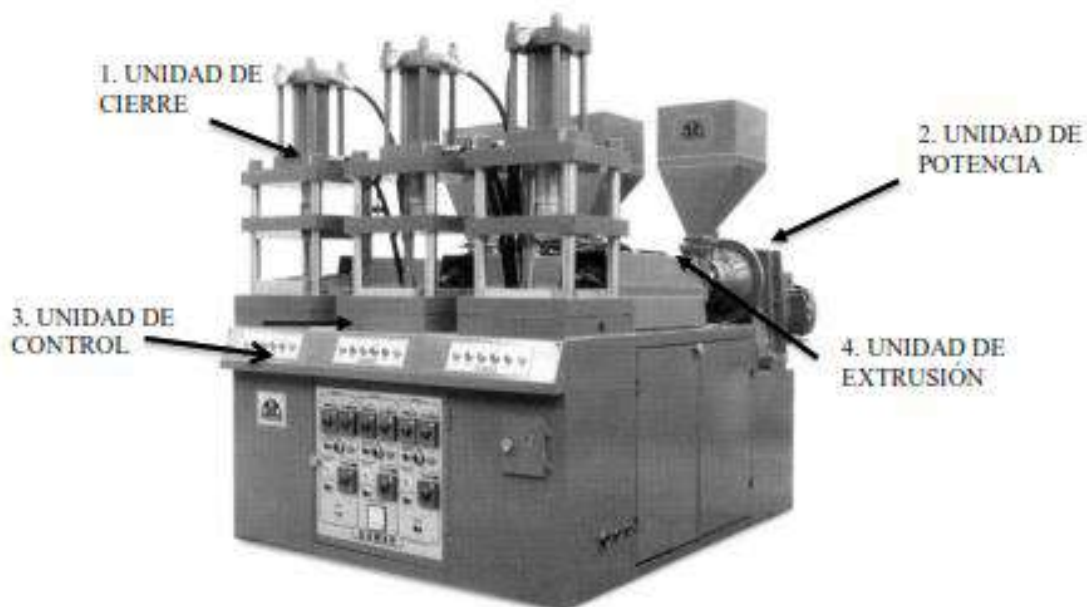


Figura 9. Esquema de la máquina SMH.V19.

En la siguiente Tabla 4 se muestran las dimensiones de la máquina Extrusora

Tabla 4. Dimensiones de la máquina.

DIMENSIONES DE LA MÁQUINA	Cantidad
A- Longitud de la máquina	2500 mm
B- Anchura de la máquina	2150 mm
C- Altura de la máquina	2200 mm

En la tabla 5, 6 y 7 se muestran las características del sistema de extrusión de la máquina.

Tabla 5. Características del Sistema de inyección.

A	INYECCIÓN	Unida	Cantidad
01	DIAMETRO HUSILLO	mm	62.5
02	CARRERA INYECCION	mm	750
03	LONGITUD HUSILLO	mm	1400
04	VOLUMEN TEORICO INYECTABLE	cm ³	780
05	MAXIMA PRESION SOBRE EL MATERIAL	bar	264
06	VUELTAS MAXIMAS DEL HUSILLO	rpm	65
07	VUELTAS MAXIMAS CON MOMENTO MAXIMO	rpm	65
08	FUERZA DE ADHERENCIA DE LA BOQUILLA	KN	120

09	CARRERA DE SEPARACION DE LA BOQUILLA	mm	1200
10	CAPACIDAD TOLVA	dm ³	11.43
11	ZONAS TERMORREGULADAS	No.	8

Tabla 6. Características de la Cámara alternativa.

A-	CAMARAS ALTERNATIVAS	Unida	Cantidad
14	DIAMETRO HUSILLO	mm	130
15	VOLUMEN TEORICO INYECTABLE	cm ³	780
16	MAXIMA PRESION SOBRE EL MATERIAL	bar	264g

Tabla 7. Características del Sistema de Cierre.

B	CIERRE	Unida	Cantidad
17	FUERZA MAXIMA DE BLOQUEO	KN	2250
18	FUERZA DE ABERTURA	KN	500
19	CARRERA DE CIERRE	mm	2000
20	ESPEJOR MAXIMO MOLDE	mm	2000
21	ESPEJOR MINIMO MOLDE	mm	800
22	DISTANCIA ENTRE LAS COLUMNAS	mm	1905 x 1525
23	EXTERIOR PLATOS	mm	2880 x 2490
24	FUERZA EXPULSOR HIDRAULICO	KN	-----
25	FUERZA EXPULSOR HIDRAULICO	KN	-----
26	DIAMETRO COLUMNAS	mm	300

Tabla 8. Características y otros datos.

C	POTENCIAS Y OTROS DATOS	Unida	Cantidad
29	POTENCIA MOTORES BOMBAS	Kw	180
30	POTENCIA TOTAL INSTALADA	Kw	287
31	PRESION HIDRAULICA	bar	160
32	TENSION MOTORES ELECTRICOS	V	380
33	TENSION DE CALDEO	V	220/380
34	TENSION CIRCUITOS AUXILIARES	V	12/24/110
35	CAPACIDAD ACUMULADOR	dm ³	200
36	CAPACIDAD DEPOSITO ACEITE	l	2000
37	CAPACIDAD BOMBONAS GAS (NITROGENO)	dm ³	800
38	PESO APROXIMADO	ton	125

2.2 Propuesta de Solución

Al tener determinadas las características asociadas a la máquina mencionadas anteriormente se procede a realizar los primeros bocetos del diseño sobre la implementación de los sistemas de producción en serie con herramientas CAD, SolidWorks® en este caso. Se realizaron pruebas de las configuraciones preliminares, para hacer cambios y llegar a las configuraciones definitivas.

En la Figura 10 muestra la vista general y los componentes que integran la máquina directa al corte con posicionamiento de punteras.

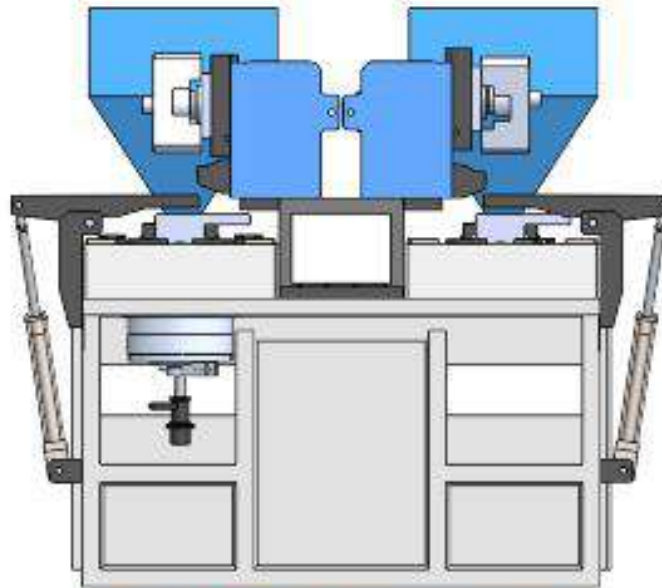


Figura 10. Diseño General de la máquina.

2.2.1 Sistemas de la máquina extrusora directa al corte

La implementación se lleva a cabo mediante la modificación del sistema de cierre de la máquina cambiando el tipo de moldeo estándar por moldeo de mordazas y al colocar brazos en los laterales de la máquina para el posicionamiento de las punteras.

La máquina rediseñada consta de los siguientes sistemas para su implementación mostrado en la Figura 11;

- Triángulos de Aluminio
- Perno de Giro
- Base porta Hormas
- Sistema de Cierre de Anillos
- Pistón de Plantas
- Sistema de Inyección

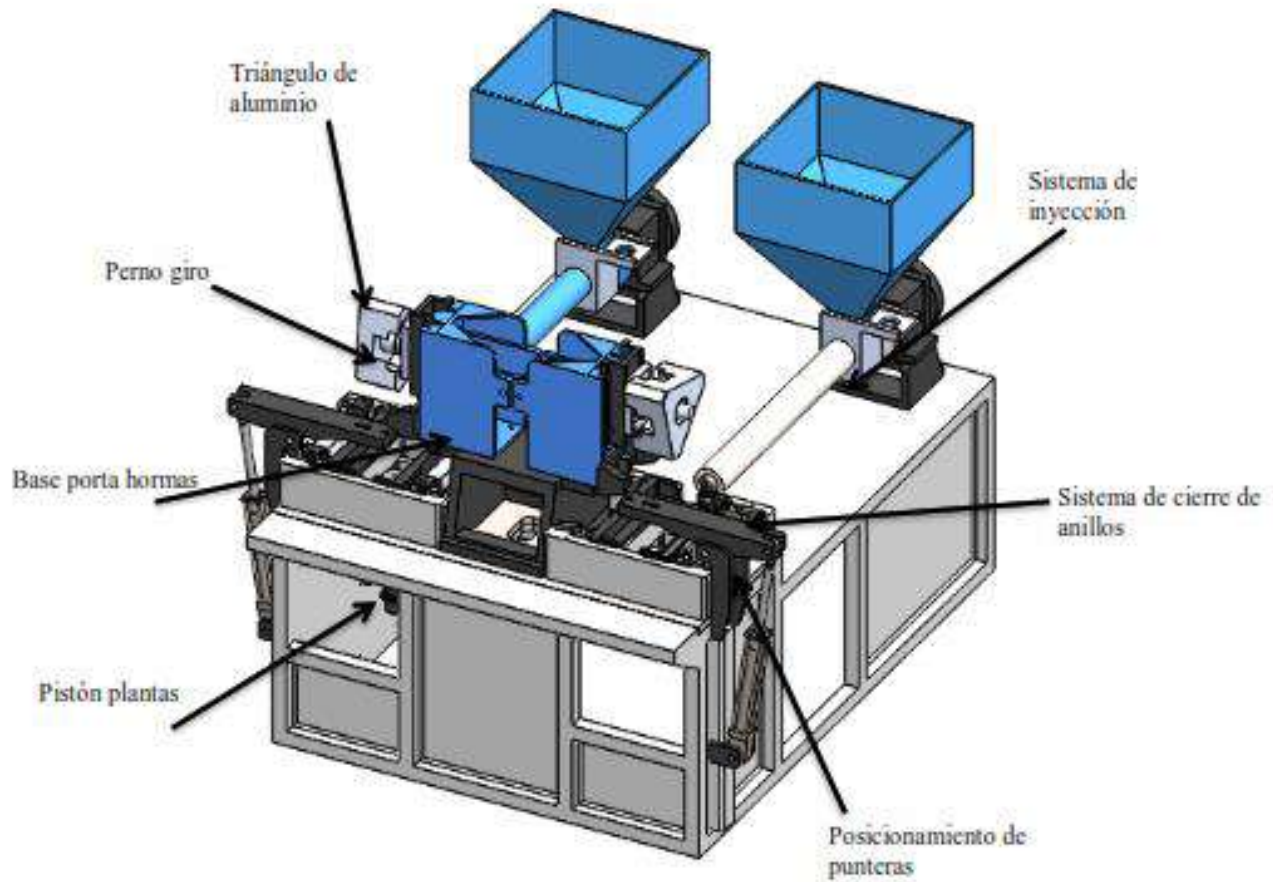


Figura 11. Ubicación de piezas.

En las Figuras 12 y 13 se muestra la máquina a rediseñar y el diseño actual respectivamente.

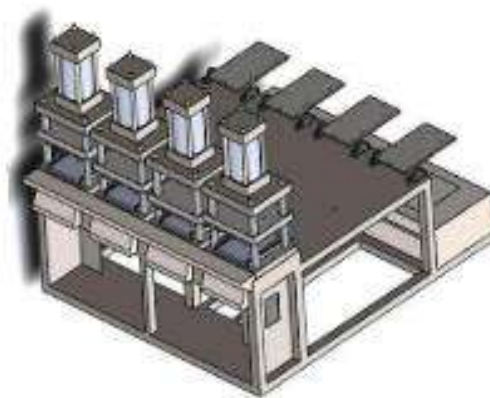


Figura 12. Máquina SMH-V19.

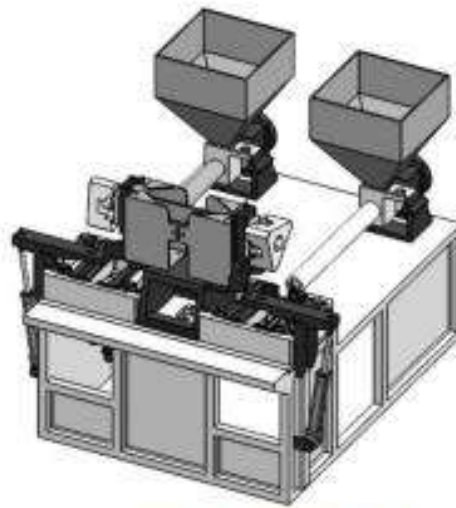


Figura 13. Máquina SMN-V17.

Triángulo de aluminio.

Estas piezas cuentan con la función de hacer rotar las diferentes tallas de hormas colocadas en el carro porta hormas, maquinado mediante una fresadora CNC elaborado de Aluminio AISI 1060 ya que este material presenta la ventaja de que su peso es la tercera parte que otros metales como el hierro y el acero y su maquinado es fácil.

En la Figura 14 se puede apreciar la geometría del triángulo. Para mayor detalle ir al ANEXO [A]

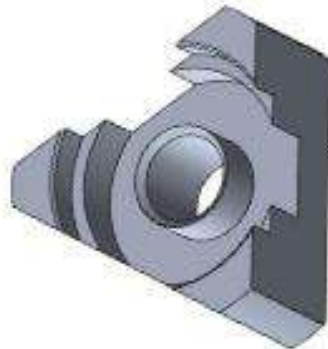


Figura 14. Triángulo de Aluminio.

Perno Giro.

La pieza mostrada en la Figura 15 nos permite hacer el giro del triángulo sobre su eje. Una vez insertado el Triángulo, se gira la tuerca hasta dejarla justa, de esta manera la horma no tendrá juego al momento de girar. Para mayor detalle ir al ANEXO [A]

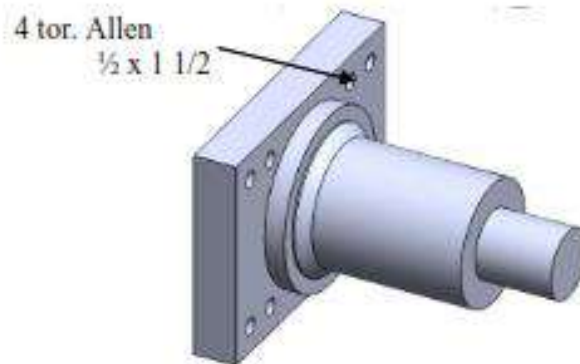


Figura 15. Perno giro.

Sistema de Posicionamiento de Hormas

En este sistema mostrado en la Figura 16 se coloca una mesa centrada atornillada a la base que se encargará de darle la distancia requerida para que las hormas puedan subir y bajar sin interferencias. Se colocan los pistones dentro de los soportes de las hormas que darán movimiento al carro porta hormas. El triángulo que va sujeto al carro donde se acoplan las hormas con el corte del calzado para que a continuación se accione el pistón y pueda ser bajado para el proceso de posicionamiento de punteras e inyección. Para mayor información ir al ANEXO [A]

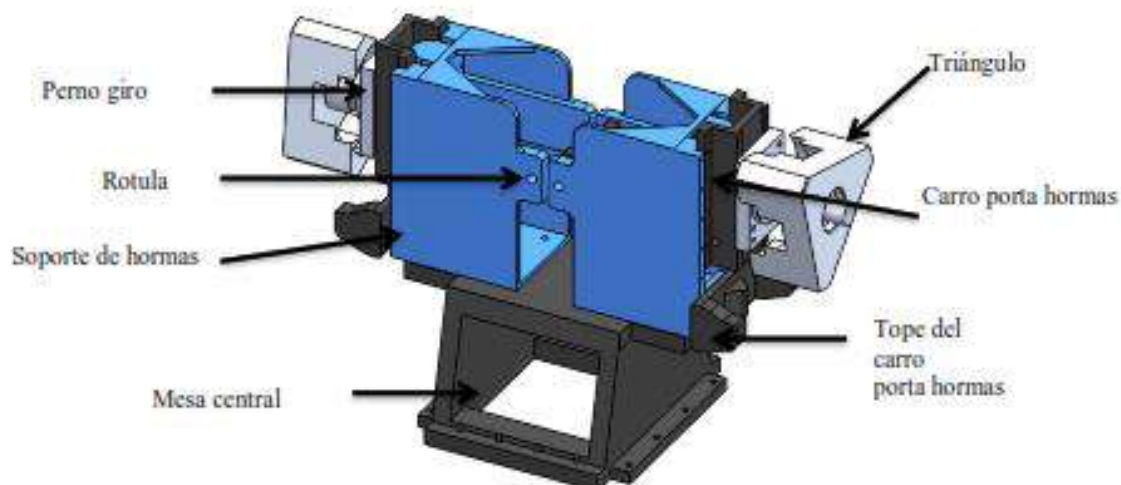


Figura 16. Posicionamiento de hormas.

La cual cuenta con las siguientes piezas:

1. Soporte de Hormas
2. Mesa Central
3. Rotulas
4. Tope del Carro Porta Hormas
5. Carro porta Hormas
6. Triángulo
7. Perno giro

Sistema de Cierre

En este sistema mostrado en la Figura 17 se ubica los moldes que darán forma a la pieza. La Tortuga se sujeta a la placa por la parte inferior y en la parte superior se colocan los anillos, que se deslizan por las guías gracias a la acción de los pistones para que los anillos se puedan cerrar y los moldes pueden quedar sujetos para el proceso de posicionamiento de punteras e inyección. El ensamble cuenta con dos estaciones para mayor producción en menor tiempo. Para mayor información ir al ANEXO [A]

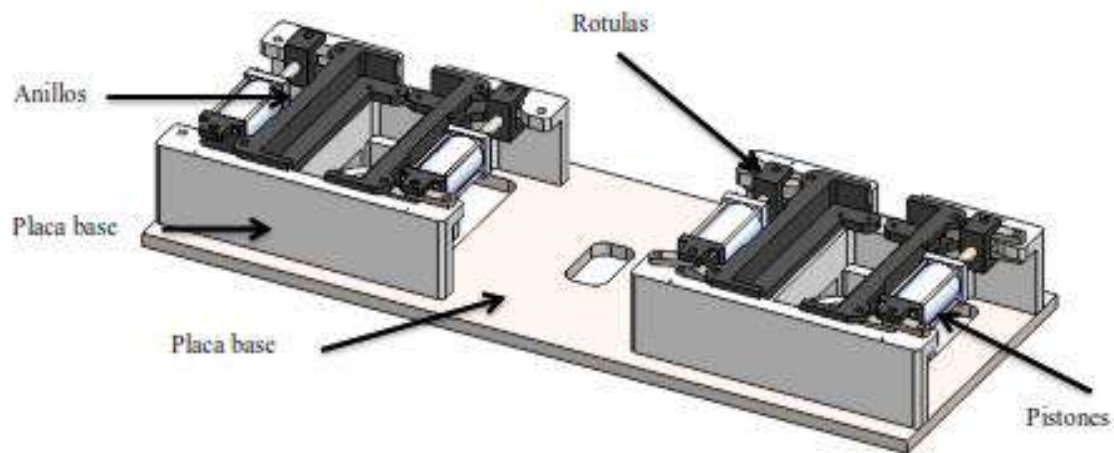


Figura 17. Sistema de Cierre.

La cual cuenta con las siguientes piezas:

1. Anillos
2. Rotulas
3. Pistones
4. Tortuga
5. Placa base

El posicionamiento de la horma se presenta como la tapa superior del molde por lo que se requiere de la tapa inferior de esta por lo que a continuación se muestra el diseño que se realizó para sustituir el tipo de moldeo estándar por el de mordazas.

Según la norma DIN E, 16750, se clasifican los moldes como se indica en la Tabla 9. [4]

Tabla 9. Tipo de moldes.

1	Molde estándar (dos placas)
2	Molde de mordazas (correderas)
3	Molde de extracción por segmentos
4	Molde de tres placas
5	Molde de pisos (Sándwich)
6	Molde de canal Caliente

Según la clasificación de la Tabla 9, el molde utilizado para la inyección de sulas unicolor es un molde de mordazas (correderas) ya que el molde se somete a los anillos que se desplazan hacia los laterales y a la hora del cierre sujeten la horma que será la tapa como muestra la Figura 18.

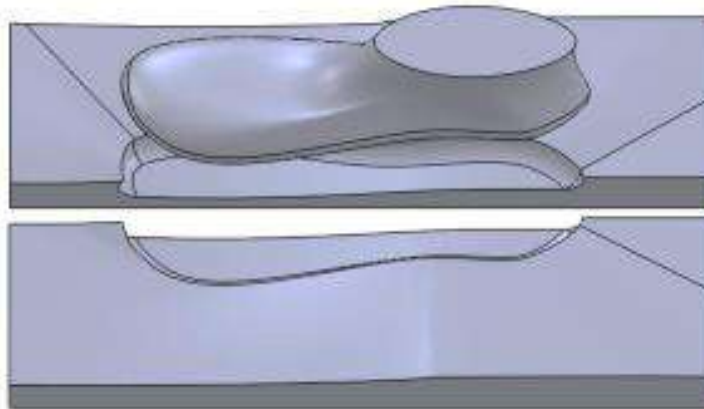


Figura 18. Molde de Mordazas.

Selección de material del molde.

Con el objetivo de conseguir la máxima utilidad es necesario que los materiales usados en la fabricación de moldes tengan las siguientes propiedades:

- Resistencia al desgaste para aumentar la rigidez de algunas piezas inyectadas, estas se refuerzan con fibras de vidrio o materiales minerales, lo que significa que son materiales altamente abrasivos, es por esto que el material del molde debe tener una alta resistencia al desgaste.

- Resistencia a la corrosión: Los componentes de algunos materiales inyectados, la refrigeración del molde y el contacto con el medio exterior causa que los moldes sufran de corrosión, es por esto que el material debe ser resistente a la corrosión
- Alta temperatura de fusión, donde no disminuyan las propiedades mecánicas cuando se eleve la temperatura del molde, dado que este está en contacto directo con el material plastificado a una temperatura de 250°C, esto causa deformación del molde debido a las altas temperaturas, repercutiendo en las medidas y tolerancias de la pieza inyectada
- Conductividad térmica: la conductividad del molde adquiere gran importancia para disipar adecuadamente el calor, por eso se debe seleccionar un material que mejore la conductividad térmica
- Maquinabilidad: Como la fabricación del molde se realiza por arranque de viruta, mediante CNC, se debe seleccionar un material que presente una buena maquinabilidad para evitar la ruptura de herramientas que en muchos casos son de acero rápido y con aleaciones de tungsteno, además de esto debe permitir un buen pulido, obteniendo una rugosidad bastante baja [5]

Tabla 10. Propiedades de los materiales para moldes.

Material	Resistencia al desgaste	Resistencia a corrosión	T° de fusión	Conduc. Térmica	Maquinabilidad	Densidad
Acero bonificado AISI 4340 ¹⁴	Alta	Baja	1510°C	Media	Media	7850 Kg/m ³
Acero inoxidable ASTM240 ¹⁵	Alta	Alta	1400°C	Media	Media	8000 Kg/m ³
Acero AISI 4140 ¹⁶	Alta	Baja	1585°C	Media	Media	7850 Kg/m ³
Cobre ¹⁷	Baja	Alta	1085°C	Alta	Alta	8960 Kg/m ³
Aluminio AW 7022 ¹⁸	Media	Alta	660°C	Alta	Alta	2700 Kg/m ³

Según las propiedades de los diferentes materiales para la fabricación de moldes, mostradas en el cuadro 4 el material más adecuado es el aluminio AW 7022 para una temperatura media y obtener una media resistencia al desgaste, con una alta resistencia a la corrosión, alta conductividad térmica y una alta maquinabilidad, el Aluminio es de mayor costo que el acero, pero presenta conductividad térmica y resistencia a la corrosión mucho mejor que la que presenta el acero. Otro factor determinante para la selección del aluminio es su baja densidad en comparación con los otros materiales, haciendo que la masa del molde en aluminio sea menor y se facilite el montaje y desmontaje de este a la máquina. [6]

EL moldeo es parte importante del sistema de cierre por lo que al cambia el diseño, el molde cambia y para poder tener una aproximación de cuantas suelas se podrán producir y las dimensiones del molde se recurre al software MOLDFLOW para su simulación

Simulación mediante MOLDFLOW

En esta parte del proyecto se realiza la simulación de los parámetros de prensado: tiempo de llenado, presión de inyección y temperatura en el frente de flujo. La simulación se realiza para un solo molde, sabiendo que los parámetros son los mismos para los dos moldes después los resultados obtenidos y se comparan con los parámetros calculados.

El software para realizar la simulación es MOLDFLOW[®], de autoría de Autodesk con una licencia de prueba, Se enuncia el procedimiento para la realización de la simulación.

Definir la cavidad del molde.

Se debe tener en cuenta la geometría de la cavidad del molde al realizar la simulación, es decir el molde de la suela, este fue realizado mediante el software CAD SolidWorks. La geometría fue tomada a partir de un molde realizado por la empresa de fabricación de suelas llamada “Xochiquitos”, la referencia de la suela es Fernanda talla 36.

Establecer plano de partición.

Para definir el cierre del molde, es decir, donde se une la hembra y la tapa o macho, se debe seleccionar el plano de partición mostrado en la Figura 19, en este caso a partir del punto 0 o punto de referencia el plano de partición a una distancia de 78 mm en el eje Z, en la siguiente imagen se muestra con color rojo la placa de la tapa y de color verde la placa de la hembra.

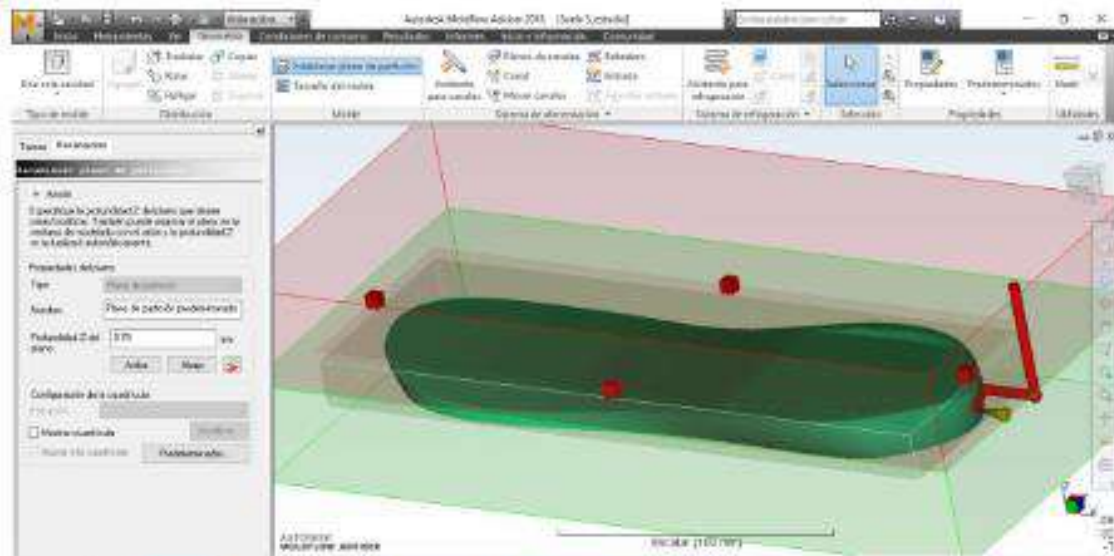


Figura 19. Plano de partición.

Medidas del molde

En este paso se definen los espesores, la longitud total del molde y el material de fabricación mostrado en la Figura 20, para esta aplicación se tiene un espesor total de 100 mm, la tapa tiene espesor de 40 mm este valor se aproxima ya que la pata es una horma y el hembra espesor de 40mm, la longitud total es de 302.67 mm y el ancho total de 140mm, el material de fabricación es el aluminio, estos valores son tomados a partir de los moldes existentes en las empresas TRIDIMENSIONALES y SUELIPLAST

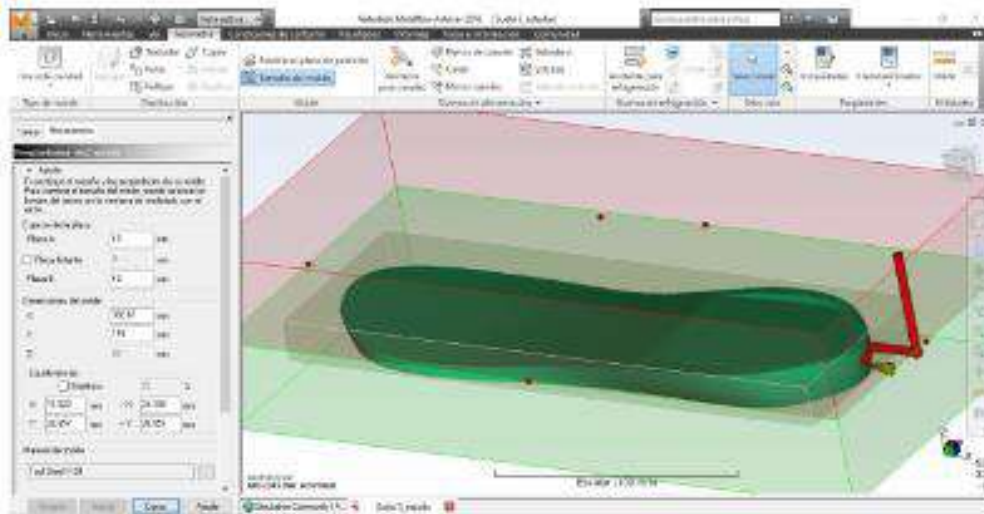


Figura 20. Medidas del molde.

Establecer puntos de extrusión

Para que el software realice la simulación de la extrusión es necesario establecer estos puntos mostrados en la Figura 21, los cuales son las entradas del material a cada una de las cavidades, estos puntos se toman aproximadamente en el punto medio de cada cavidad, el programa los muestra como conos circulares color amarillo.

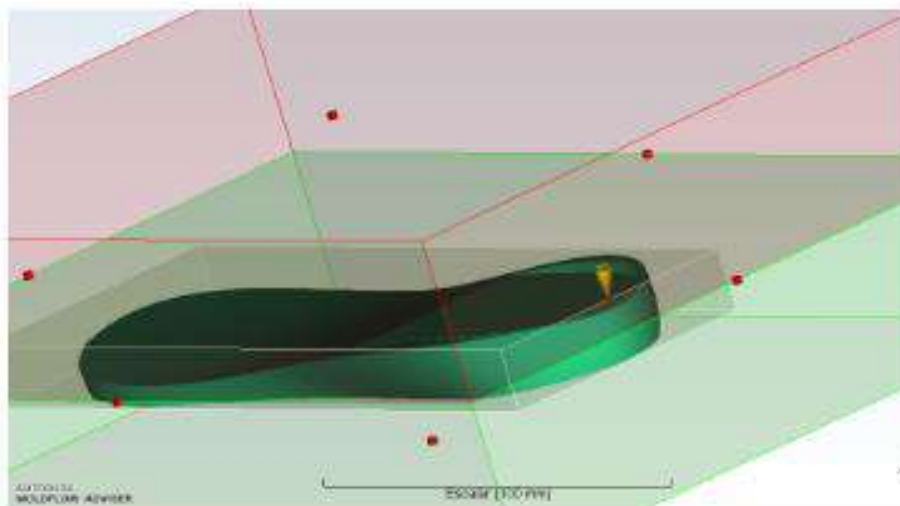


Figura 21. Puntos de Extrusión.

Entrada

Es el lugar donde ingresa el material a los puntos de extrusión mostrados en la Figura 22, estos se crean a partir del punto de inyección, tiene forma de cono, con un diámetro mayor donde el material ingresa y un diámetro menor donde sale el material al punto de inyección.

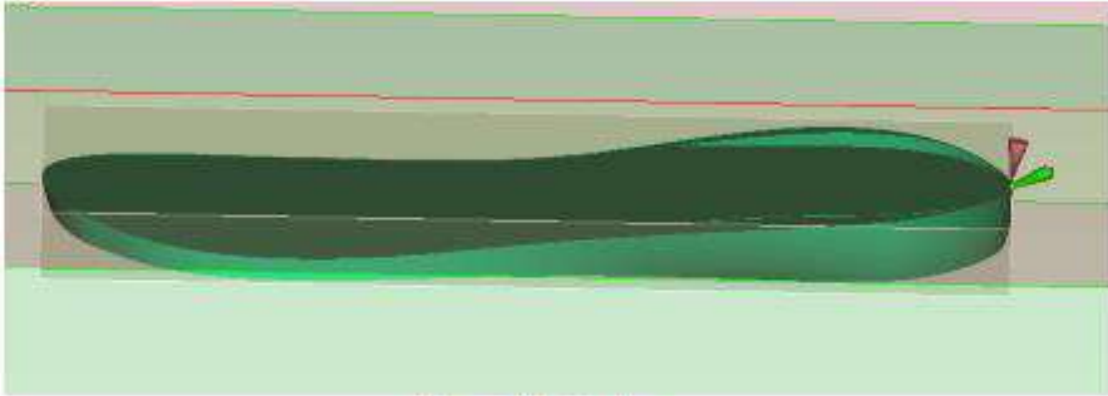


Figura 22. Entradas.

Canal de inyección

Lugar donde fluye el material fundido mostrado en la Figura 23, desde la boquilla o bebedero hasta la entrada en el punto de extrusión, son ranuras las cuales se mecanizan en el molde.

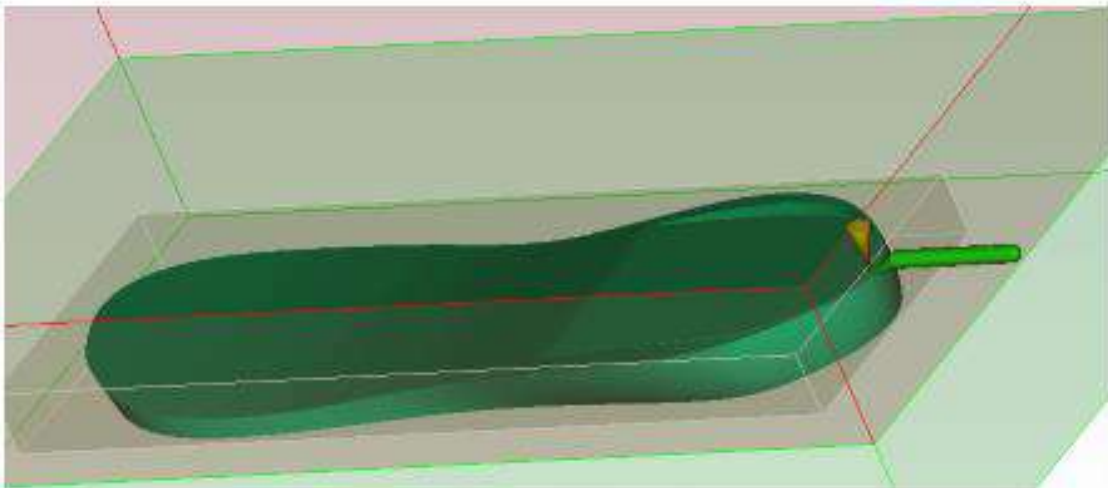


Figura 23. Canal de inyección.

Bebedero.

Es el lugar donde se realiza la entrada de material desde el sistema de extrusión de la máquina hasta el molde mostrado en la Figura 24, allí se aloja la boquilla de inyección cuando se va a realizar el proceso de extrusión, es un cilindro, donde la mitad es mecanizada en la tapa y la otra mitad hace parte de la hembra, cuando se realiza el cierre del molde forman el cilindro.

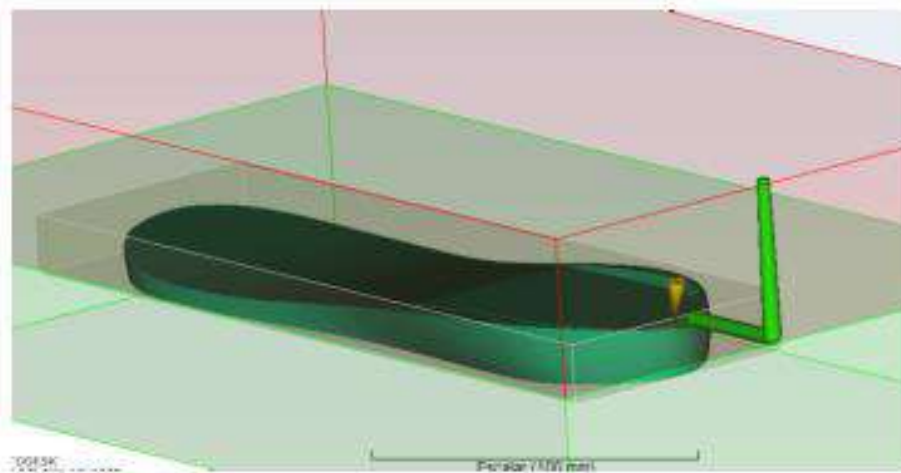


Figura 24. Bebedero.

Presión de inyección.

Es la presión con la cual debe ingresar el material a las cavidades del molde para que este pueda fluir fácilmente, esta presión se transmite desde el sistema de extrusión mostrado en la Figura 25.

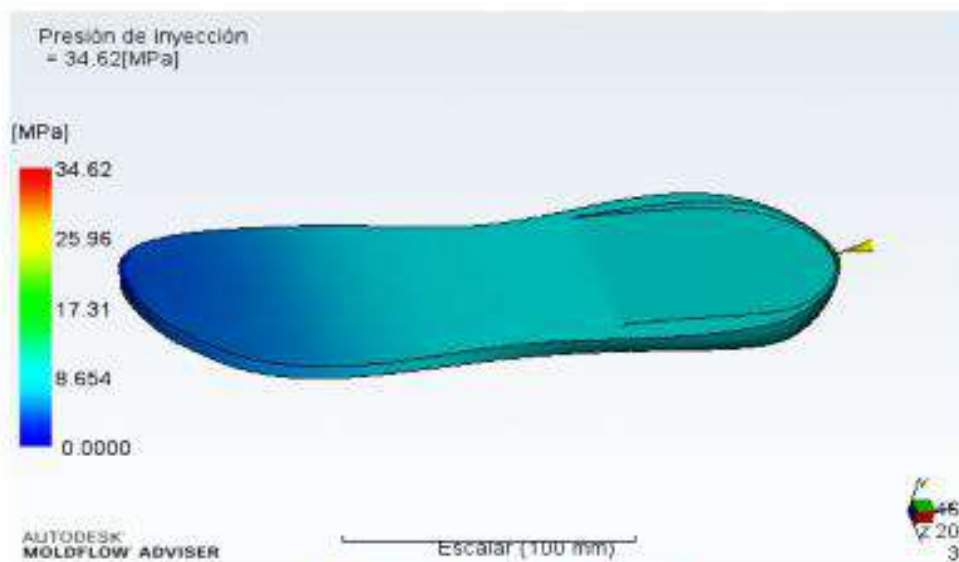


Figura 25. Presión de inyección.

Temperatura media.

Es la temperatura con la cual fluye el material, para que se encuentre con una viscosidad adecuada y sea más fácil conducirlo hacia las cavidades del molde, este valor está por encima de la temperatura de transición vítrea del PVC, esto con el fin de evitar que se solidifique en los canales de extrusión mostrado en la Figura 26.

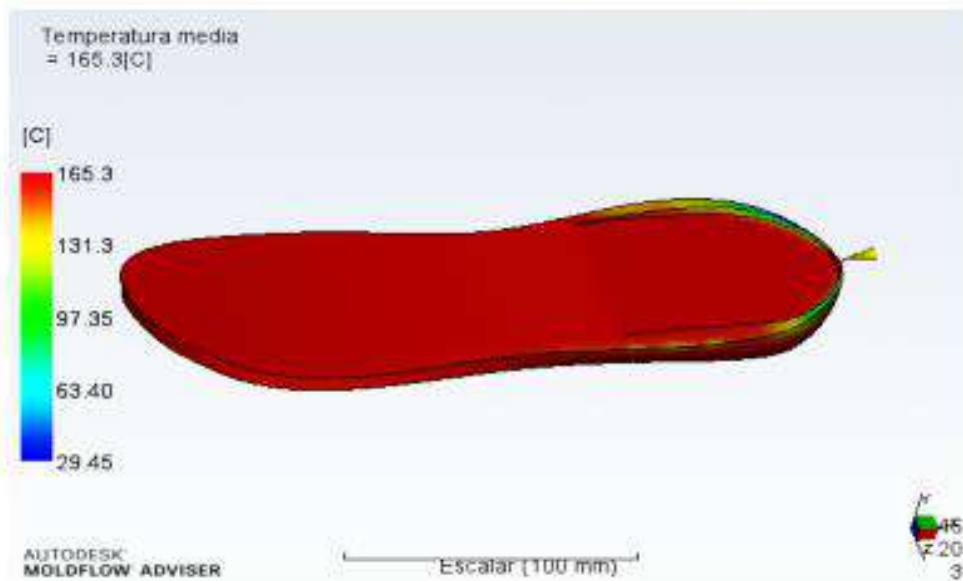


Figura 26. Temperatura media.

Capacidad de la tolva.

En la Figura 27, se muestra la geometría básica que tiene una tolva de alimentación de una máquina extrusora, la cual tiene capacidad para almacenar 25kg de material sin procesar, lo que equivale a 1 bulto de PVC, el cual es distribuido por las diferentes empresas de materias primas para el procesamiento de plástico como es el caso de GUMAR; la tolva es fabricada de Acero mediante el doblado y soldado, el ángulo de la sección cónica o piramidal se encuentra entre 60 y 70°, el cual es el ángulo de reposo de los pellets de PVC [6] para evitar que el material quede estancado a la hora de inyectar.

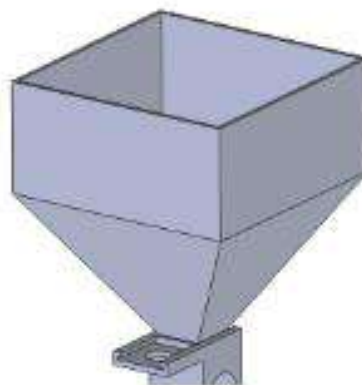


Figura 27. Tolva.

La dosificación del material a la tolva se realiza manualmente, el operario tendrá que abrir el bulto de 25Kg y dosificarlo en la tolva, para su posterior distribución en el cañón de extrusión, a continuación, se muestra el cálculo de cuantas veces en promedio tendrá el operario que agregar material a la tolva, en un turno de 8 horas.

En la tabla 12. Se muestran los pesos en promedio para cada par de suelas y el peso promedio de material de la producción que se realiza en un turno de 8 horas, con las hormas y posicionamiento de punteras con referencia a la suela FERNANDA.

$$\text{Número de bultos} = \frac{\text{Cantidad de material total}}{\text{Cantidad de material en un bulto}}$$

$$\text{Número de bultos} = \frac{377,120g}{25,000g}$$

$$\text{Número de bultos} = 15,848 \approx 16$$

Según los resultados de la ecuación anterior, se necesitan 16 bultos por turno de 8 horas, es decir que el operario tendrá que alimentar la tolva 16 veces manualmente en el turno de trabajo.

Ver más ANEXO [C]

Sistema de posicionamiento de punteras

En este sistema mostrado en la Figura 28 se colocan los brazos en forma horizontal a los costados de la estructura de la máquina, sujetos con un soporte fijo para que los brazos tengan la altura requerida para poder posicionar las punteras correctamente. Se colocan los pistones en posición vertical ya que cuando el vástago se extiende el brazo pueda inclinarse lo suficiente y posicionar la puntera correctamente. Para mayor información ir al Anexo [A]

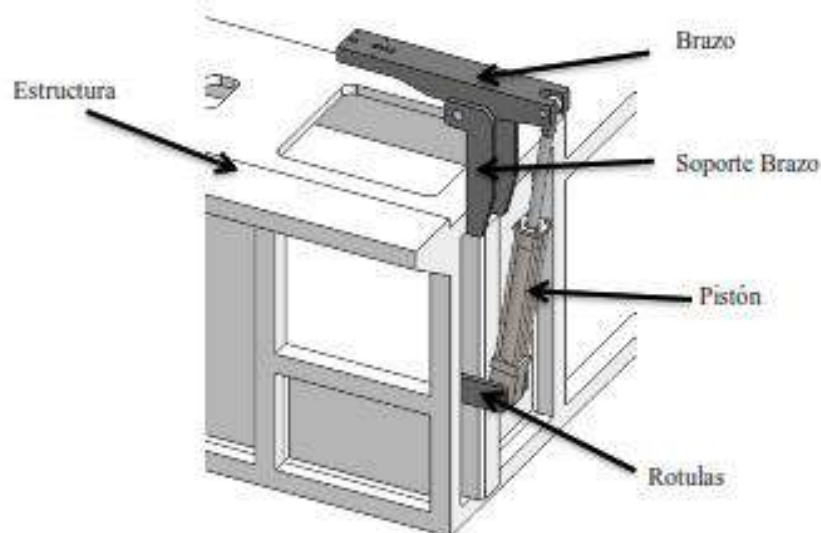


Figura 28. Sistema de Posicionamiento de punteras.

La cual cuenta con las siguientes piezas:

1. Brazo
2. Pernos
3. Soporte de brazos
4. Pistón
5. Rotulas
6. Estructura

Al ser modificadas las piezas del sistema de cierre es necesario recurrir al análisis de esfuerzo de la estructura de la máquina mostrada en la Figura 29.

Se observan planos de la estructura en el ANEXO [A]



Figura 29. Estructura de la máquina.

Con ayuda del software SolidWorks® se realizó el análisis de elemento finito de la estructura que nos ayuda a calcular, cargas y sujeciones, tensiones y el factor de seguridad que la estructura requiere para la modificación de la máquina.

Las mayores tensiones se encuentran en las zonas indicadas en la Figura 30. Corresponde a la zona que soportara el sistema de cierre rediseñado. La tensión máxima se da en el nodo 62680 y es de $4202e+06 \text{ N/m}^2$. La tensión máxima es muy inferior al límite elástico del acero que es $2e+11 \text{ N/m}^2$ por lo que se considera apto.

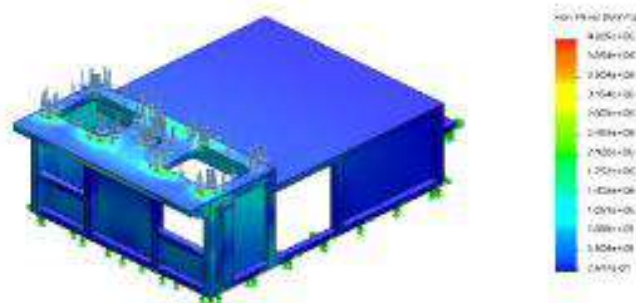


Figura 30. Tensiones.

Se emplea el criterio de von Mises. El material empieza a ceder en una ubicación cuando la tensión de von Mises es igual al límite de tensión. En la mayoría de los casos, el límite elástico se utiliza como el límite de tensión.

En la Figura 31 se representa el valor de FDS sobre el modelo de la estructura.

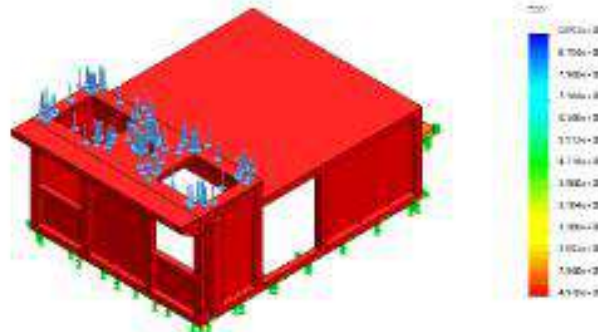


Figura 31. Factor de Seguridad.

Estos bocetos siendo los primeros y los únicos correspondiendo al sistema de cierre de la máquina presentan excelentes características de sencillez, robustez, fácil construcción y funcionalidad, fueron aprobados para la implementación de la extrusora.

2.3 Desarrollo de Solución para la automatización

Debido a la lógica cableada se opta por la automatización mediante un PLC (Programmable Logic Controller) que nos permite ahorrar tiempo en la elaboración del proyecto, pudiendo realizar modificaciones sin costos adicionales. Por otra parte, son de tamaño reducido y mantenimiento de bajo costo, además permiten ahorrar dinero en mano de obra y la posibilidad de controlar más de un proceso de la máquina con el mismo equipo.

2.3.1 PLC a utilizar

El PLC a utilizar es FESTO CECC CODESYS® V3 mostrado en la Figura 32 propuesto por lo empresa debido a su facilidad de programación y que contiene las entradas y salidas idóneas para el sistema de control

El PLC controla las 8 señales de entrada y 7 señales de salida las cuales son las necesarias para el funcionamiento de la máquina, así como acciona las electroválvulas y envía la señal a la válvula proporcional según el estado del ciclo.

En el ANEXO [B] se muestra el Data-sheet del PLC FESTO CECC CODESYS® V3



Figura 32. PLC FESTO CECC-LK.

3.2 Diagrama de flujo del Proceso

El diagrama nos permite explicar detalladamente la lógica detrás del programa antes de empezar a codificar el proceso automatizado.

El sistema de cierre corresponde a los siguientes pasos:

1. Baja horma
2. Cierra anillos
3. Baja punteras .
4. Tiempo de inyección
5. Sube punteras
6. Abre anillos
7. Sube Hormas

El diagrama de flujo 1 representa el proceso que realiza la máquina rediseñada.

Proceso Máquina de Extrusión



Diagrama de Flujo 1. Proceso Máquina de Extrusión

2.3.3 Diagrama eléctrico

Tomando en cuenta el circuito eléctrico mostrado en la Figura 33 de la máquina convencional se pudo desarrollar un circuito eléctrico que lleva a cabo el proceso deseado, propuesto para la implementación de esta con ayuda del software FluidSIM®.

Circuito completo ver en el ANEXO [D]

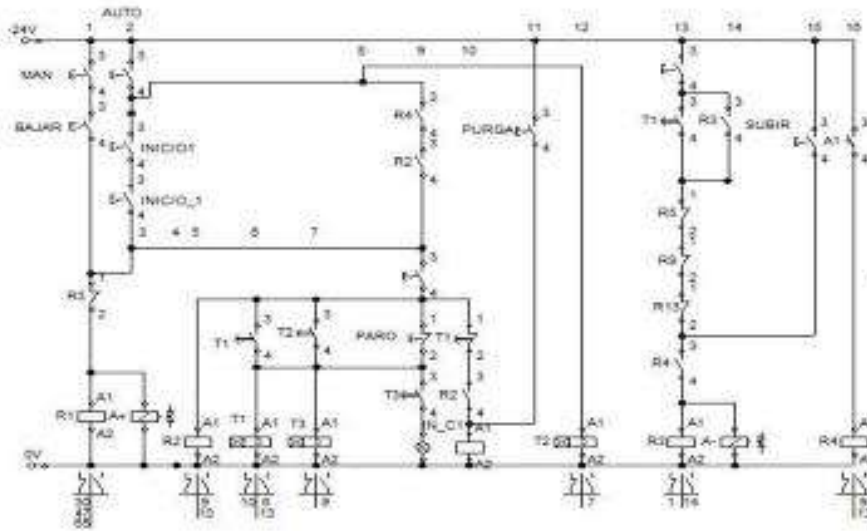


Figura 33. Diagrama eléctrico de una máquina convencional.

Primeramente, se realiza el Diagrama Espacio-fase para representar el ciclo secuencial, para dicho fin se emplea la siguiente secuencia que se muestra a continuación.

$$A + B + C + C - B - A -$$

Dónde:

A= Pistón Hormas

B=Pistón Anillos

C=Pistón Punteras

Lo que representa la secuencia anterior es; El pistón A que es encargado de accionar el carro porta hormas se extiende para poder bajar la horma, para que a continuación un pistón B sea extendido y los anillos se deslicen, cerrando los moldes para que la horma quede sujeta y así un pistón C pueda extenderse y hacer que el brazo posicione la puntera.

Conociendo la secuencia lógica del proceso y con ayuda del software FluidSIM® se realizó la simulación del circuito eléctrico con el método paso a paso de la máquina, mostrado en la Figura 34.

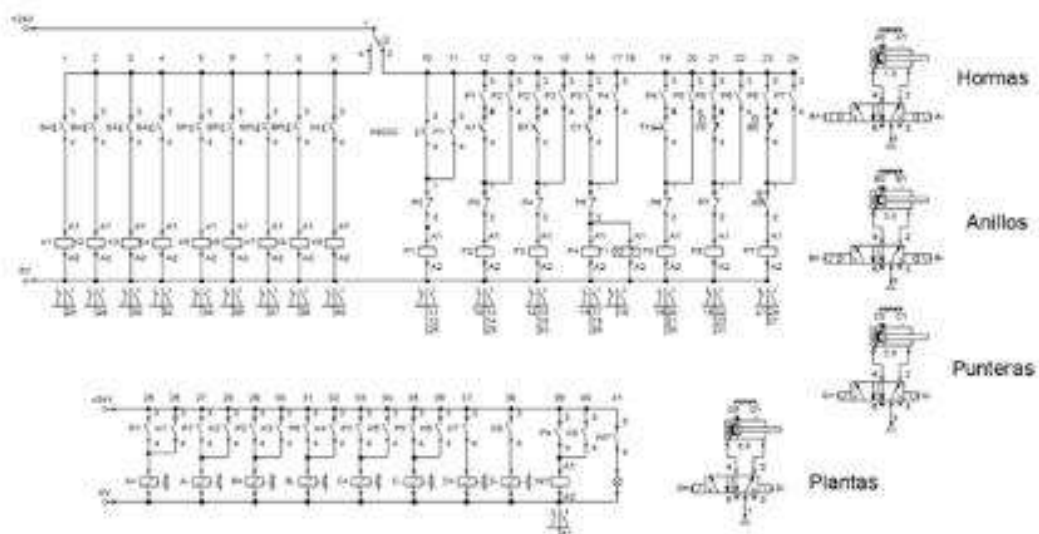


Figura 34. Circuito eléctrico de la máquina directa al corte.

La simbología de los componentes utilizados en el circuito se muestra en la Figura 35

SIMBOLOGIA			
	Contactor		Selector cerrado
	Selenoide		Selector abierto
	Bobina de tiempo		Pulsador
	Bi-metalica		Emergencia abierta
	Micro switch cerrado		Emergencia cerrado
	Micro switch abierto		Contactor de tiempo abierto
			Contactor de tiempo cerrado

Figura 35. Simbología del Circuito.

2.3.4 Lenguaje de Programación

Lenguaje KOP tiene diversos segmentos y cada uno de ellos debe terminar en una asignación de un valor a una bobina (salida) o marca (variable auxiliar), ya sea de igualdad o a través de otras funciones, como Set y Reset. También puede terminar dando lugar a la ejecución de instrucciones dependientes del estado lógico al final (a la derecha) del segmento. [8]

El valor que finalmente llega a esta asignación o instrucción será 1/0 si el resultado de la combinación lógica de las entradas y marcas desde el inicio (a la izquierda) hasta el final (a la derecha) da como resultado un 1/0. [8]

Las operaciones lógicas en KOP son muy parecidas a la representación en el esquema cableado por lo que es el lenguaje a ocupar

En un esquema cableado (se suele disponer en vertical) se alimenta la bobina que se encuentra al final del circuito si se encuentra un camino para la corriente desde la parte superior hasta la bobina. Para ello debe existir un camino donde todos los contactos estén cerrados. En el lenguaje KOP, empezando por la izquierda se va realizando una consulta al estado de las entradas y se combina lógicamente esa entrada con el estado anterior. [8]

Si la entrada está conectada a un contacto normalmente abierto, en condiciones de reposo la entrada estará a '0' lógico. Si el contacto es activado, la entrada se pondrá a '1'.

Inversamente, si la entrada está asociada a un contacto normalmente cerrado, en reposo la entrada estará a '1' lógico. Si el contacto es activado, la entrada se pondrá a '0'.

Independientemente del tipo de contacto conectado a una entrada concreta, se puede operar con el valor lógico de esa entrada o con su valor negado. El primero caso sería el de la consulta al estado de la entrada EX. Y (-|+), en el que se emplea el valor lógico de dicha entrada. Para operar con el valor negado, se hará una consulta negada al estado de la entrada EX.Y (-|+). [8]

A modo de resumen, el valor lógico con el que se opera en función del tipo de contacto, de su activación o no, y del tipo de consulta, es como se muestra en la Tabla 11:

Tabla 11. Valor Lógico.

Pulsador o contacto	Estado	Consulta	Valor con que se opera
NO	En reposo	- +	'0'
NO	En reposo	- / +	'1'
NO	Activo	- +	'1'
NO	Activo	- / +	'0'
NC	En reposo	- +	'1'
NC	En reposo	- / +	'0'
NC	Activo	- +	'0'
NC	Activo	- / +	'1'

2.3.5 Estructura del Programa

A continuación, en la Figura 36 muestran las variables globales

```
0001 VAR_GLOBAL
0002     AB0:BYTE; // Variable Global para Entradas de PLC
0003     EB0:BYTE; // Variable Global para salidas de PLC
0004 END_VAR
```

Figura 36. Variables globales.

En la Figura 37 se muestran las variables de uso general

```
0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003     P1: BOOL; // Variable P1 hasta P7
0004     P2: BOOL; // Variables internas de uso general
0005     P3: BOOL;
0006     P4: BOOL;
0007     P5: BOOL;
0008     P6: BOOL;
0009     P7: BOOL;
0010     Tiempo: TON;
0011 END_VAR
```

Figura 37. Variables generales.

En las siguientes Figuras se muestra el código de programación en KOP utilizado para realizar el proceso automático de la máquina directa al corte.



Figura 38. Código KOP, línea 1.

Las variables a utilizar se muestran en la Tabla 12

Tabla 12. Variables utilizadas, línea 1.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
EB0.0	Inicio	Botón inicio de ciclo
EB0.1	Paro	Botón de paro
P1	P1	Variable paso 1
P2	P2	Variable paso 2



Figura 39. Código KOP, línea 2.

Las variables a utilizar en la línea 2 se muestran en la Tabla 13

Tabla 13. Variables utilizadas, línea 2.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
EBO.3		
P3	P3	Variable paso 3
P1	P1	Variable paso 1
P2	P2	Variable paso 2



Figura 40. Código KOP, línea 3.

Las variables a utilizar en la línea 3 se muestran en la Tabla 14

Tabla 14. Variables utilizadas, línea 3.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
EBO.5		
P3	P3	Variable paso 3
P1	P1	Variable paso 1
P4	P4	Variable paso 4



Figura 41. Código KOP, línea 4.

Las variables a utilizar en la línea 4 se muestran en la Tabla 15

Tabla 15. Variables utilizadas, línea 4.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
EB0.7		
P3	P3	Variable paso 3
P4	P4	Variable paso 4
P5	P5	Variable paso 5



Figura 42. Código KOP, línea 5.

Las variables a utilizar en la línea 5 se muestran en la Tabla 16

Tabla 16. Variables utilizadas, línea 5.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
P4	P4	Variable paso 4
P5	P5	Variable paso 5
P6	P6	Variable paso 6
Tiempo	T1	Timer que dará el tiempo de extrusión de material



Figura 43. Código KOP, línea 6.

Las variables a utilizar en la línea 6 se muestran en la Tabla 17

Tabla 17. Variables utilizadas, línea 6.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
P5	P5	Variable paso 5
P6	P6	Variable paso 6
P7	P7	Variable paso 7
EB0.6		



Figura 44. Código KOP, línea 7.

Las variables a utilizar en la línea 7 se muestran en la Tabla 18

Tabla 18. Variables utilizadas, línea 7.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
EBO.4		
EBO.2		
P6	P6	Variable paso 6
P7	P7	Variable paso 7



Figura 45. Código KOP, línea 8.

Las variables a utilizar en la línea 8 se muestran en la Tabla 19

Tabla 19. Variables utilizadas, línea 8.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
P1	P1	Variable paso 1
ABO.0		



Figura 46. Código KOP, línea 9.

Las variables a utilizar en la línea 9 se muestran en la Tabla 20

Tabla 20. Variables utilizadas, línea 9.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
P7	P7	Variable paso 7
ABO.1		



Figura 47. Código KOP, línea 10.

Las variables a utilizar en la línea 10 se muestran en la Tabla 21

Tabla 21. Variable utilizada, línea 10.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
P2	P2	Variable paso 2
AB0.2		

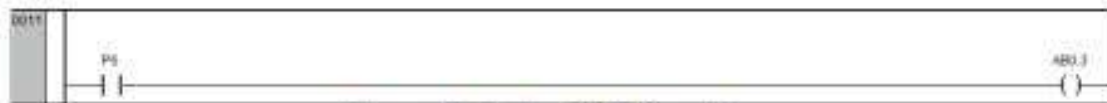


Figura 48. Código KOP, línea 11.

Las variables a utilizar en la línea 11 se muestran en la Tabla 22

Tabla 22. Variables utilizadas, línea 11.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
P6	P6	Variable paso 6
AB0.3		



Figura 49. Código KOP, línea 12.

Las variables a utilizar en la línea 12 se muestran en la Tabla 23

Tabla 23. Variables utilizadas, línea 12.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
P3	P3	Variable paso 3
AB0.4		



Figura 50. Código KOP, línea 13.

Las variables a utilizar en la línea 13 se muestran en la Tabla 24

Tabla 24. Variables utilizadas, línea 13.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
P5	P5	Variable paso 5
AB0.5		



Figura 51. Código KOP, línea 14.

Las variables a utilizar en la línea 14 se muestran en la Tabla 25

Tabla 25. Variables utilizadas, línea 14.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
P4	P4	Variable paso 4
AB0.6		

A continuación, en la Figura 52 se muestra la simulación de la conexión del PLC que se requiere para su debida activación observando que las 8 entradas que contiene el controlador se encuentran ocupadas por lo que el PLC FESTO CECC CODESYS® V3 es el indicado.

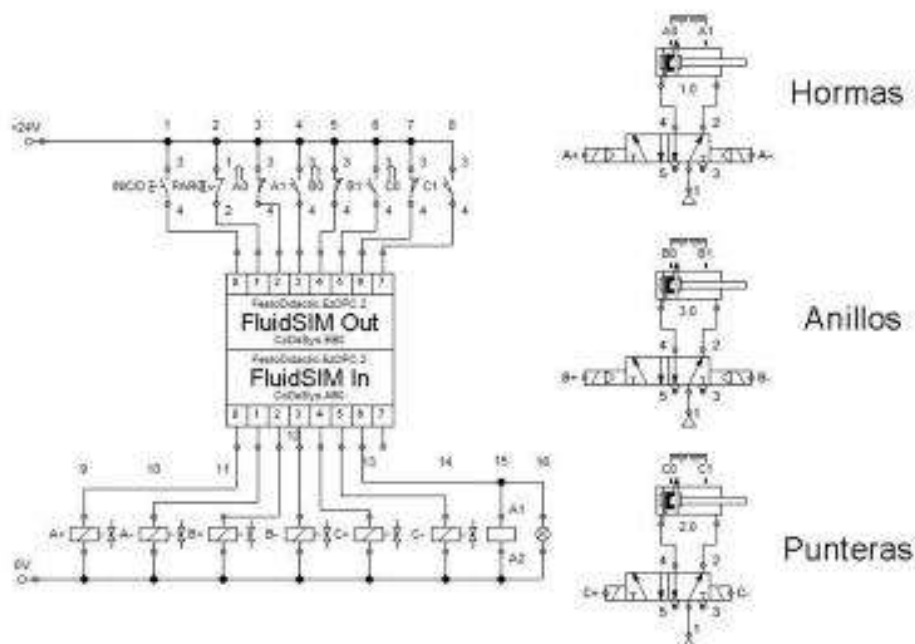


Figura 52. Programación PLC.

Capítulo 3

3.1 Resultados obtenidos

Hasta este capítulo, ya se tienen los diferentes elementos de la máquina diseñados por separado, sin perder de vista que éstos elementos y partes conforman parte de un todo que debía cumplir con los requisitos especificados en los capítulos anteriores. En este capítulo se hizo la integración de los componentes, la comprobación de dicha integración y la elaboración de planos

3.1.1 Integración de los componentes

Después de diseñar las diferentes selecciones de la máquina, se procede a su integración en la herramienta CAD. Se deja como parte inicial y fija la estructura. Seguidamente se hizo el montaje virtual de la unidad de inyección y de cierre. Con esto, se completó el diseño funcional de la máquina. A partir de éste, se empezaron a montar las guías, cubiertas y otros accesorios para darle el aspecto y la configuración final y cumplir con los requisitos de estética y seguridad deseados.

3.1.2 Validación

Se presentaron ciertas dificultades a la hora de validar completamente el diseño de la máquina, debido a que el archivo del montaje completo y su evaluación era demasiado grande para los computadores en los que fue realizado el diseño, por lo que hubo que realizar esta prueba en un equipo que soportara el procedimiento. Después de logrado este cometido, se pudo establecer que el montaje total también cumple con los requisitos de diseño deseados.

3.1.3 Montaje total

A continuación, en la Figura 52 se presenta la máquina completa con la implementación del rediseño del sistema de cierre, así como los brazos para el posicionamiento de las punteas que permite una visualización con calidad fotográfica del modelo construido en el CAD.

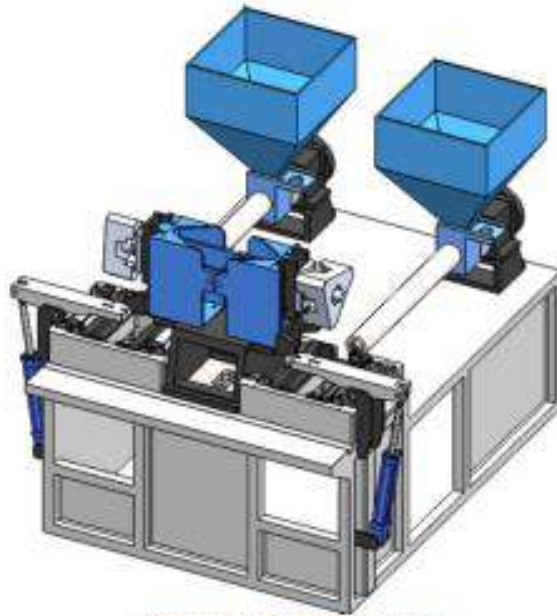


Figura 53. Montaje Final.

3.1.3.1 Ubicación del Sistema a Modificar

A continuación, se muestra en la Figura 54 el sistema de cierre físico donde se puede observar el par de anillos sujetos a la tortuga para que estos puedan ser deslizados y por consiguiente puedan sujetar el molde.

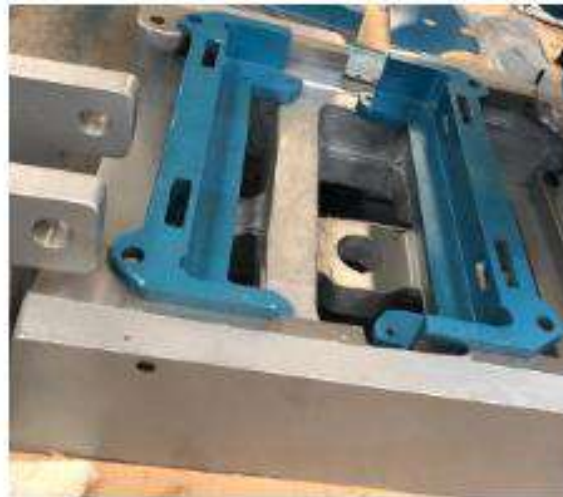


Figura 54. Anillos.

En la Figura 55 se puede observar el carro porta Hormas ensamblado con el tope como límite de movimiento hacia abajo del carro.



Figura 55. Carro porta Hormas.

En la figura 56 se muestra el posicionamiento del soporte de las hormas.



Figura 56. Soporte Hormas.

A continuación, en la Figura 58 y 57 se muestra los pistones que accionan los anillos y el carro porta hormas respectivamente.



Figura 58. Pistón Anillos.



Figura 57. Pistón Hormas.

Para el Posicionamiento de las punteras se muestra en la Figura 59 el modelo físico del brazo.



Figura 59. Brazo.

3.3.4 Sistema de Control

En la Figura 60 se muestra el tablero central de la máquina con la colocación de sus respectivos botones

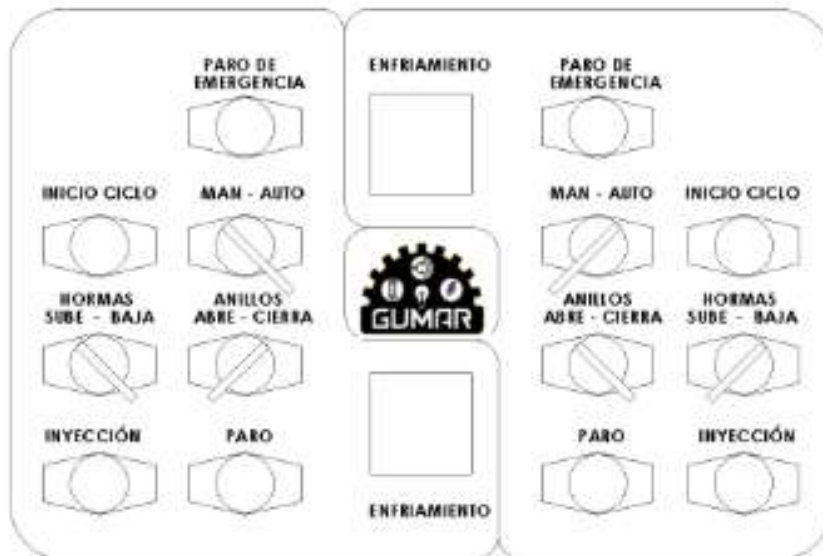


Figura 60. Tablero de Sistema de Control.

3.3.5 Simulación del circuito

El circuito consta de 3 actuadora donde la letra A representa el pistón que accionan las hormas, B acciona el desplazamiento de los anillos y el pistón C representa el pistón que hace que el brazo baje.

Las letras A0 y A1 representa los finas de carrera del pistón de Hormas, B0 y B1 representa los finales de carrera del pistón de Anillos y finalmente C0 y C1 representa los finales de carrera del pistón de posicionamiento de las punteras.

En la Figura 61 se puede observar el estado inactivo de la máquina, donde los tres actuadores se encuentran con el vástago retraído representado con sus respectivas líneas en rojo.

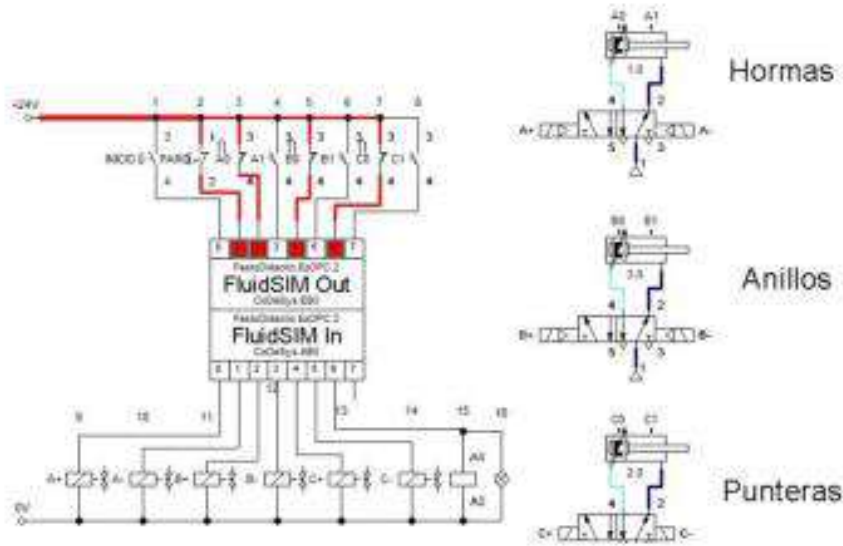


Figura 61. Circuito inactivo.

Al presionar el botón de inicio el circuito empieza con el ciclo mostrado en la Figura 62

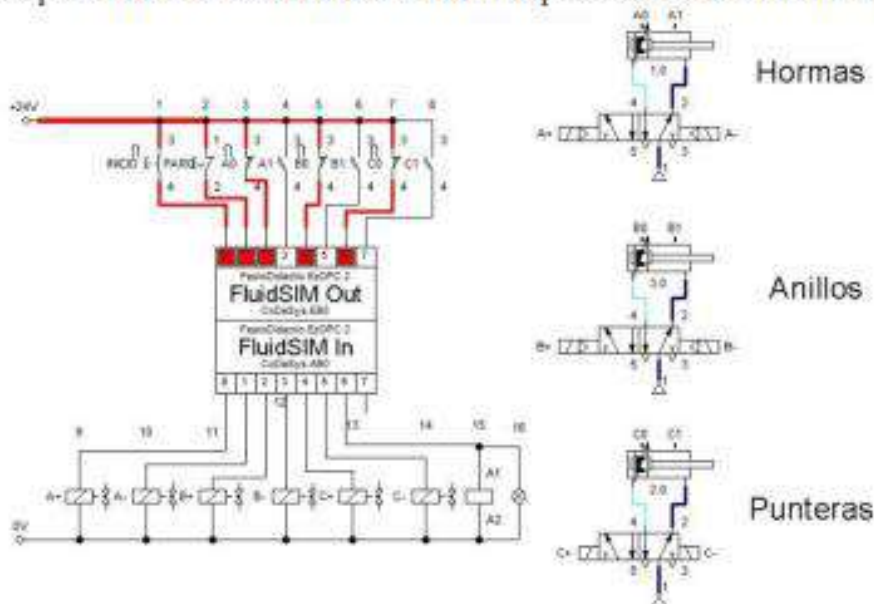


Figura 62. Simulación activa.

En esta parte el circuito comienza a dar movimiento a los pistones donde nuestro pistón A se extiende para que el carro porta hormas pueda bajar y posicionarla, mostrado en la Figura 63.

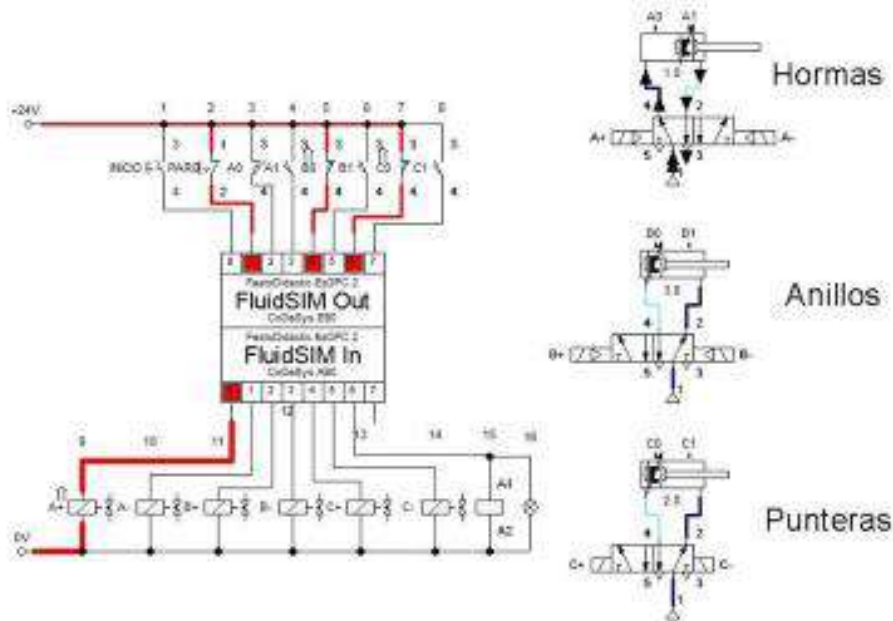


Figura 63. Extensión del vástago A.

Para que el sistema de anillos pueda cerrar los moldes, el pistón A tiene que bajar y accionar el sensor A1 que indicara que el vástago está extendido y así poder extender el vástago del pistón B y los anillos puedan deslizarse y cerrar los molde presionando la horma como se muestra en la Figura 64.

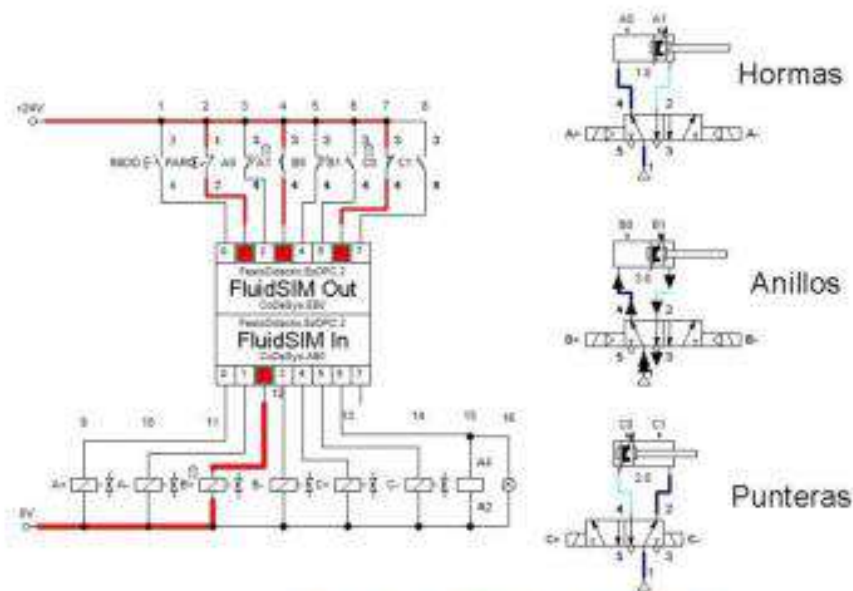


Figura 64. Extensión del vástago B.

Una vez que las hormas están abajo (A1) y los anillos cerrados (B1), se lleva a cabo el posicionamiento de las punteras (C) donde el vástago se extiende C+ para que pueda bajar el brazo y colocar correctamente las punteras, este proceso se puede apreciar en la Figura 65.

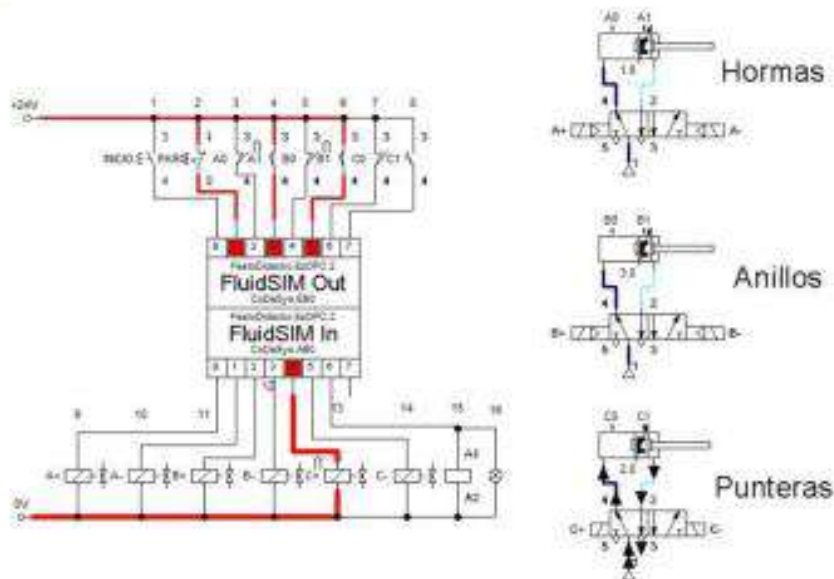


Figura 65. Extensión del vástago C.

En la Figura 66 se observa como los vástagos de los pistones se encuentran extendidos, en este caso en su posición adecuada, comienza el proceso de extrusión del material PVC hacia los moldes, este proceso tiene un tiempo de 5 seg.

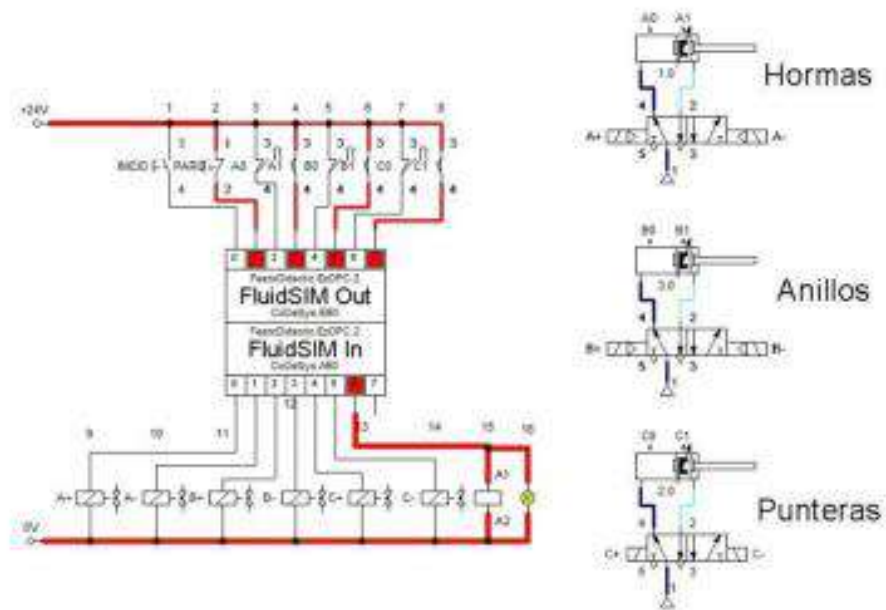


Figura 66. Proceso de extrusión.

A continuación, en la Figura 67 se observa que después de transcurrir los 5 segundos de extrusión, el pistón C se retrae C- para colocarse en su posición original.

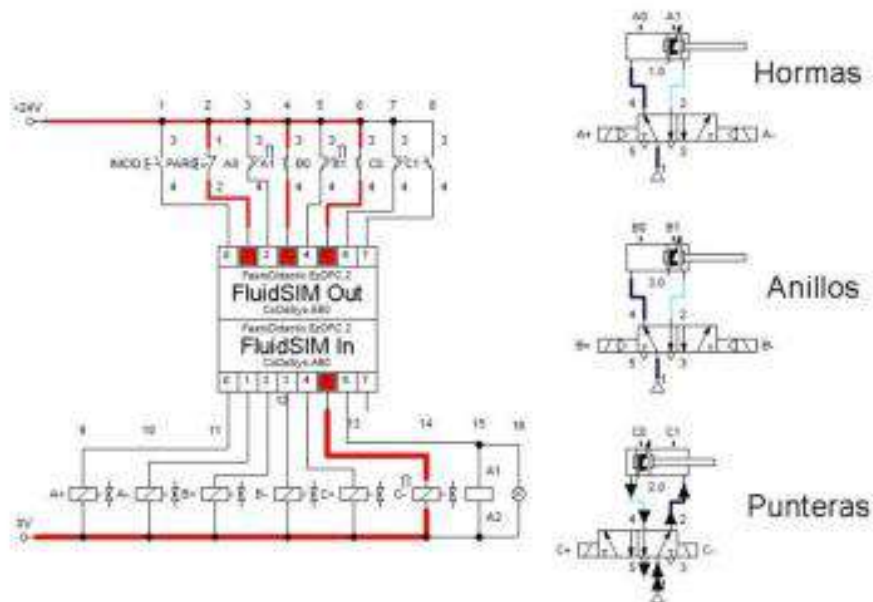


Figura 67. Pistón C retraído.

Una vez que el pistón de las punteras se encuentra retraído (C-), se prosigue a que el pistón B- se active para que este pueda regresar a su estado de inicio en la Figura 68 se muestra este proceso

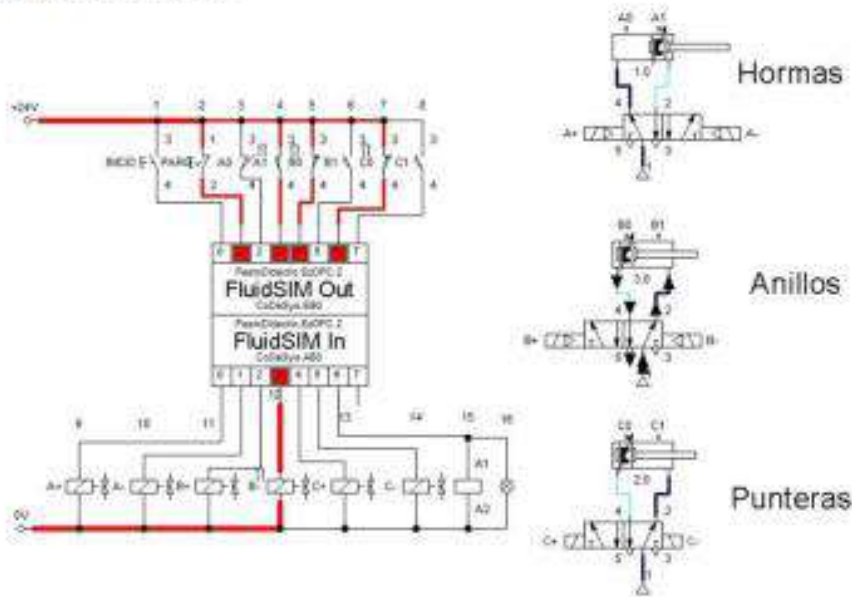


Figura 68. Pistón B retraído.

Por ultimo para cerrar el ciclo, el Pistón (A-) se retrae, lo que representa que el carro porta hormas suba, esto es accionado cuando los finales de carrera B0 y C0 se encuentran activos, este proceso se muestra en la Figura 69.

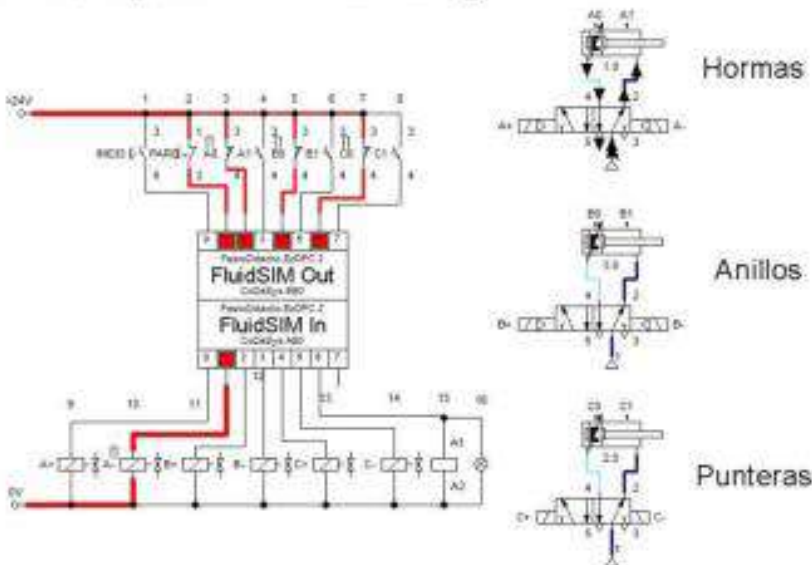


Figura 69. Pistón A retraído.

En la simulación podemos observar el buen funcionamiento del PLC a través de la simulación observando paso a paso la secuencia lógica establecida anteriormente.

3.3.6 Conclusión

Al realizar el proyecto noté un cambio significativo en cuanto a la implementación en el ámbito industrial con respecto al área de diseño y mecánica, ya que se logró cumplir los objetivos planteados para el sistema de cierre de la máquina, llevando a la resolución de ellos gracias a la empresa Gumar Solución de maquinaria.

El objetivo principal de desarrollar un nuevo sistema de cierre para la máquina extrusora de PVC fue concluido satisfactoriamente ya que el sistema fue puesto a prueba dando los resultados requeridos. Pudiendo comprobar que la ayuda comunicacional (CAD Y CAE en este caso) facilitan la labor del diseño ya que no se desperdicia material al estar haciendo pruebas y acorta los tiempos de trabajo

Aunque la automatización no se pudo montar físicamente debido a que no se tuvo el tiempo necesario, Por lo que los encargados se quedaron con la tarea de montar la automatización ya que se dejaron circuito y el PLC programado. La automatización del proceso se realizó correctamente siguiendo la secuencia lógica que se planteó al inicio del proyecto, eliminando tiempos muertos en el proceso de la elaboración del calzado.

Tampoco se pudo realizar el diseño de los moldes y las hormas, pero se dejaron planos y simulaciones para posteriores practicantes o departamento de diseño que lleguen a terminar, así como la tova con dimensiones precisas para evitar pérdida de material.

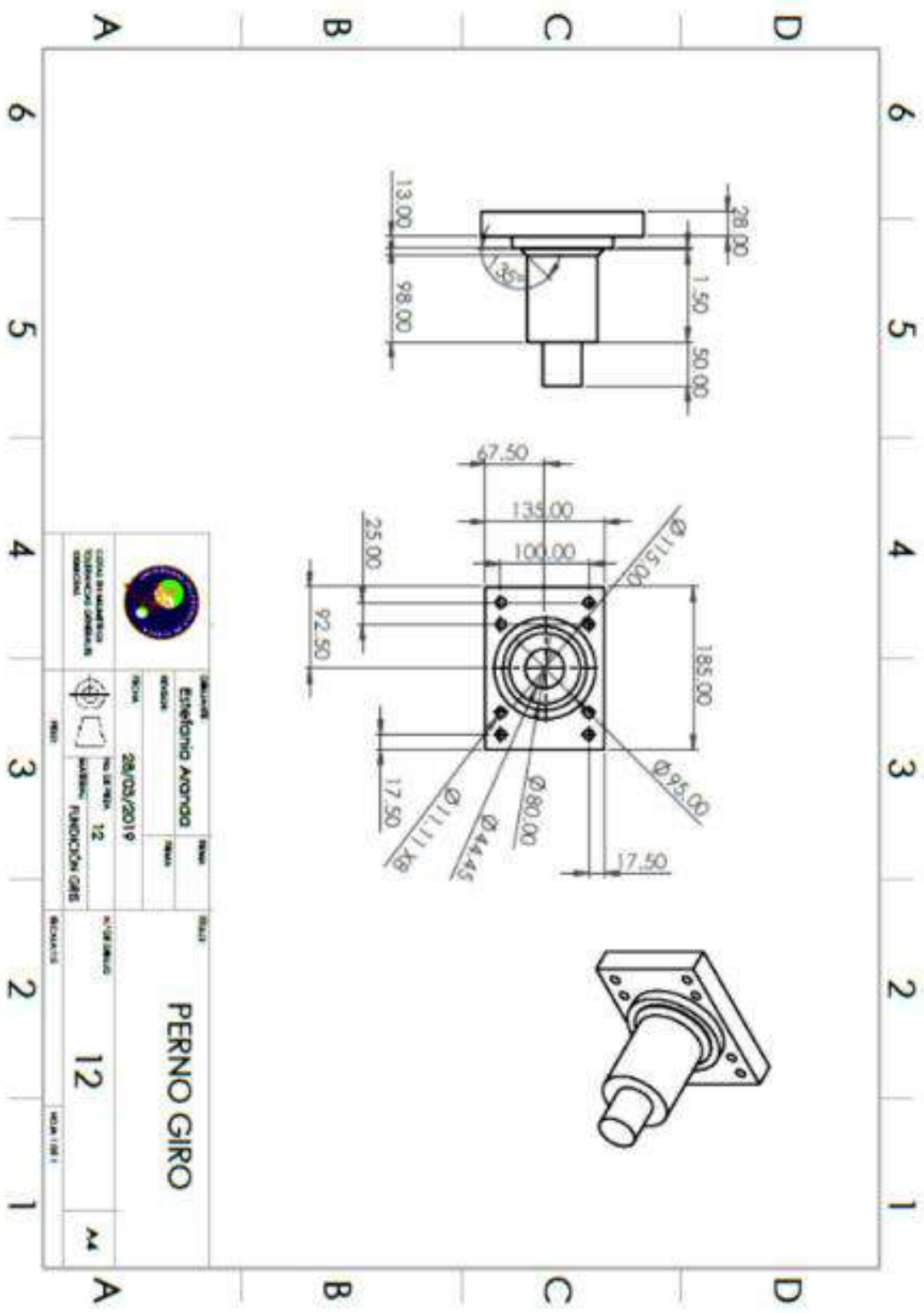
Bibliografía

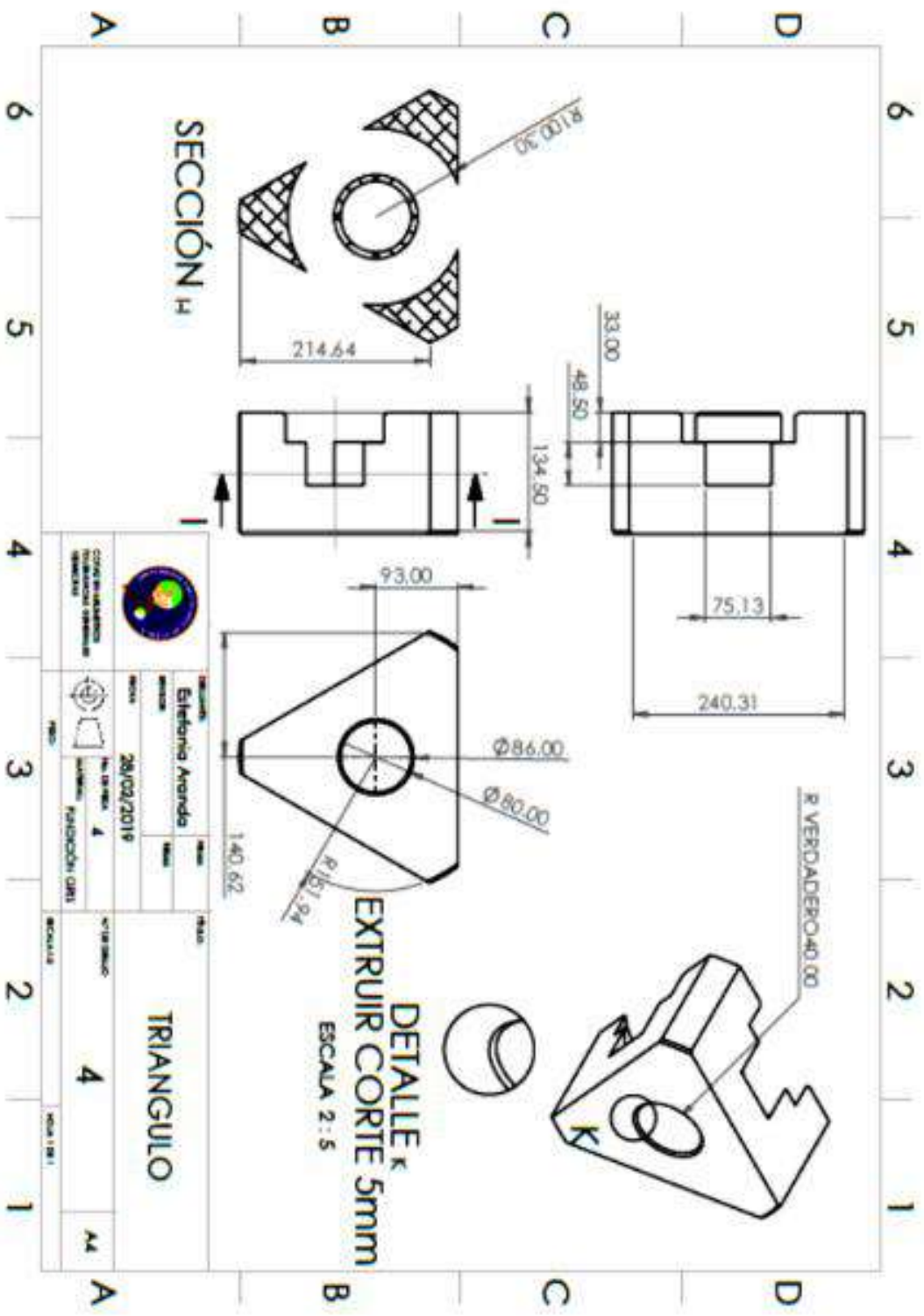
- [1] D. F. T. Noyola, «CALZADO,» Julio 2000. [En línea]. Available: http://www.contactopyme.gob.mx/estudios/docs/calzado_edomex.PDF. [Último acceso: 4 Abril 2019].
- [2] C. com, «GUMAR,» [En línea]. Available: <https://gumar.com.mx/>. [Último acceso: 10 Abril 2019].
- [3] M. B. y. A. Marcella, «Tecnología de Polímeros,» [En línea]. Available: <http://iq.ua.es/TPO/Tema5.pdf>. [Último acceso: 04 Abril 2019].
- [4] M. G. Gonzáles, «Diseño y fabricación del molde prototipo,» 2010.
- [5] G. H., Moldes de inyección para plásticos., España: 2 , 1992.
- [6] J. S. CARLOS QUIJANO, «DISEÑO DE MÁQUINA INYECTORA DE TERMOPLÁSTICOS PARA LA FABRICACIÓN DE SUELAS CON DOBLE BOQUILLA DE SALIDA,» 9 Febrero 2017. [En línea]. Available: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6502/1/4122551-2017-2-IM.pdf>. [Último acceso: 12 Abril 2019].
- [7] R. LEADBITTER, J DAY. J, «PVC-Compounds, processing and aplicaciones.,» Rapra technology, 1994, p. 143.
- [8] «Programación de STEP7 en lenguajes KOP,» [En línea]. Available: http://www.iesdonbosco.com/data/mantenimiento/Programacion_KOP_AWL.pdf. [Último acceso: 11 Abril 2019].
- [9] C. ., Roosevelt, «Diseño de una máquina extrusora para la empresa plastik de occidente,» Tesis de grado, 2011.

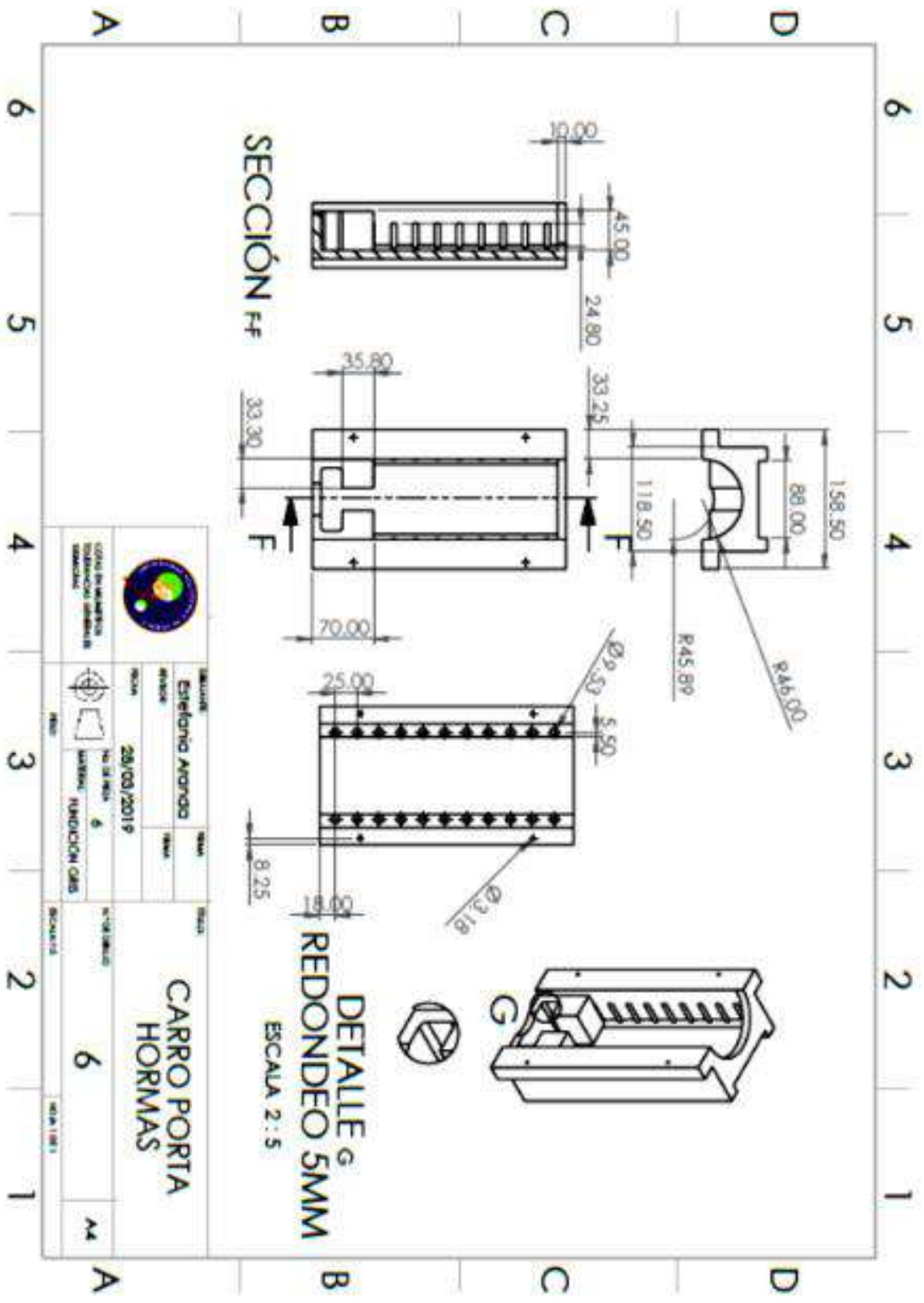
ANEXOS

ANEXOS A

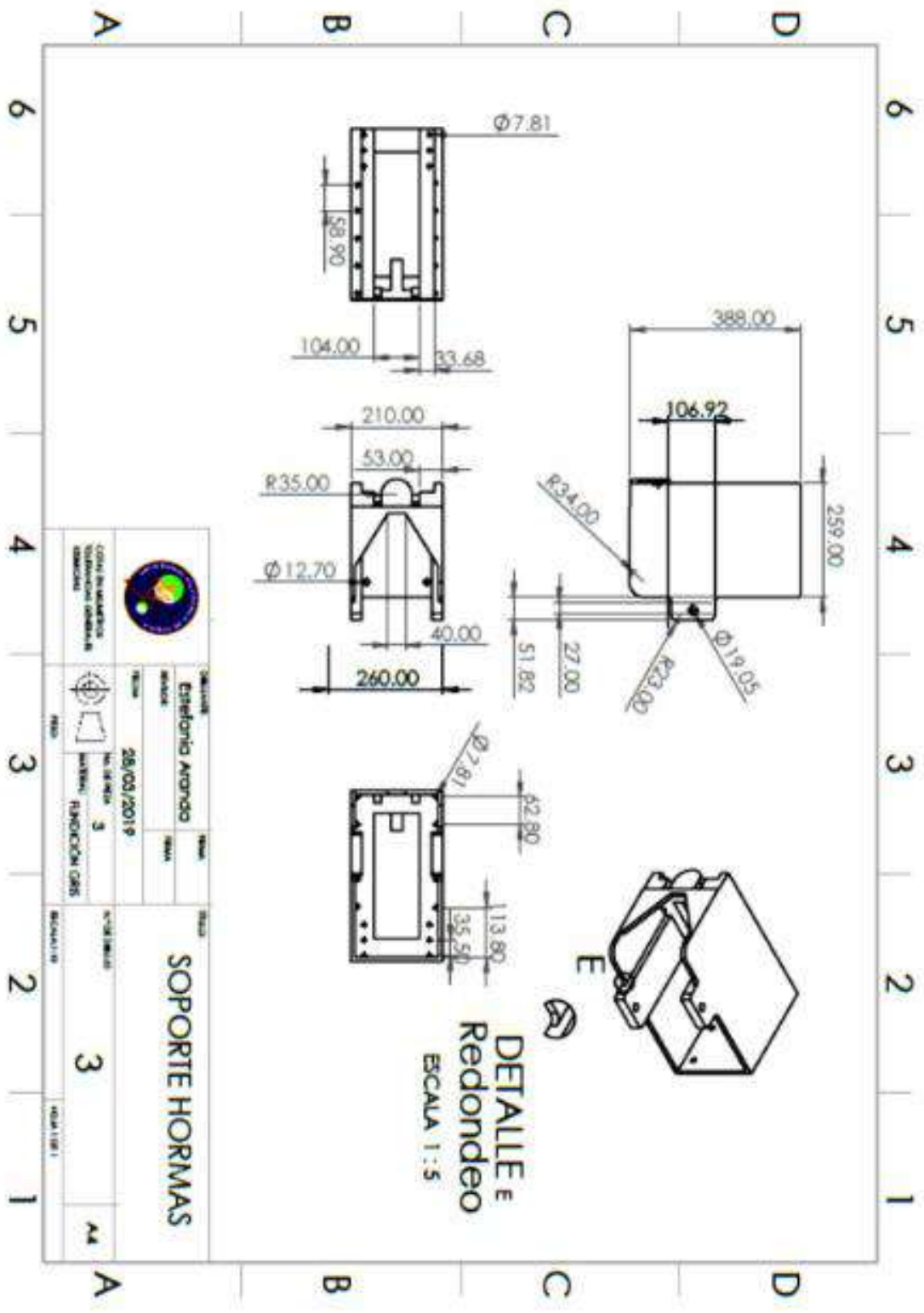
**Planos del sistema de
cierre de la máquina
SMN-V19**

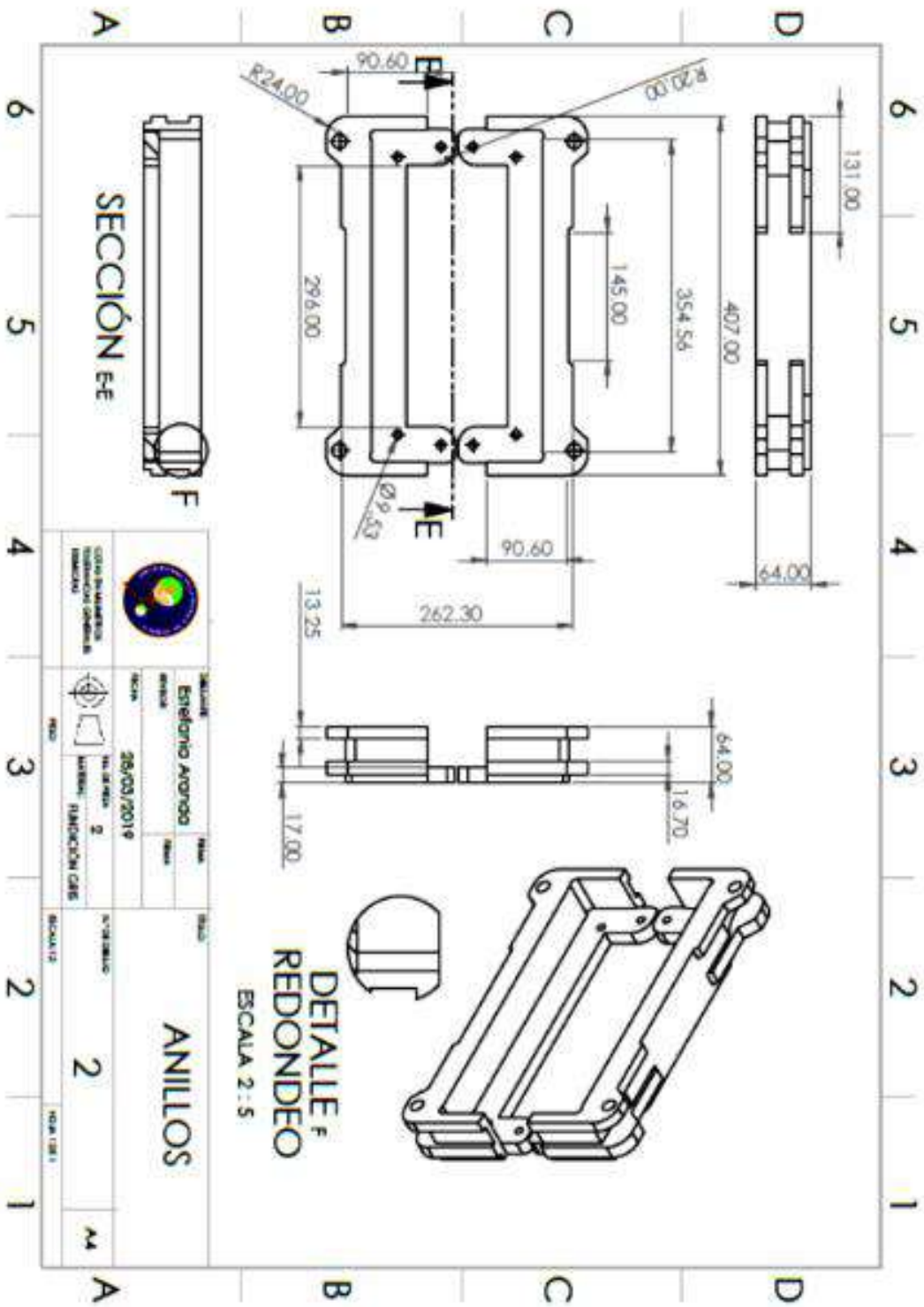




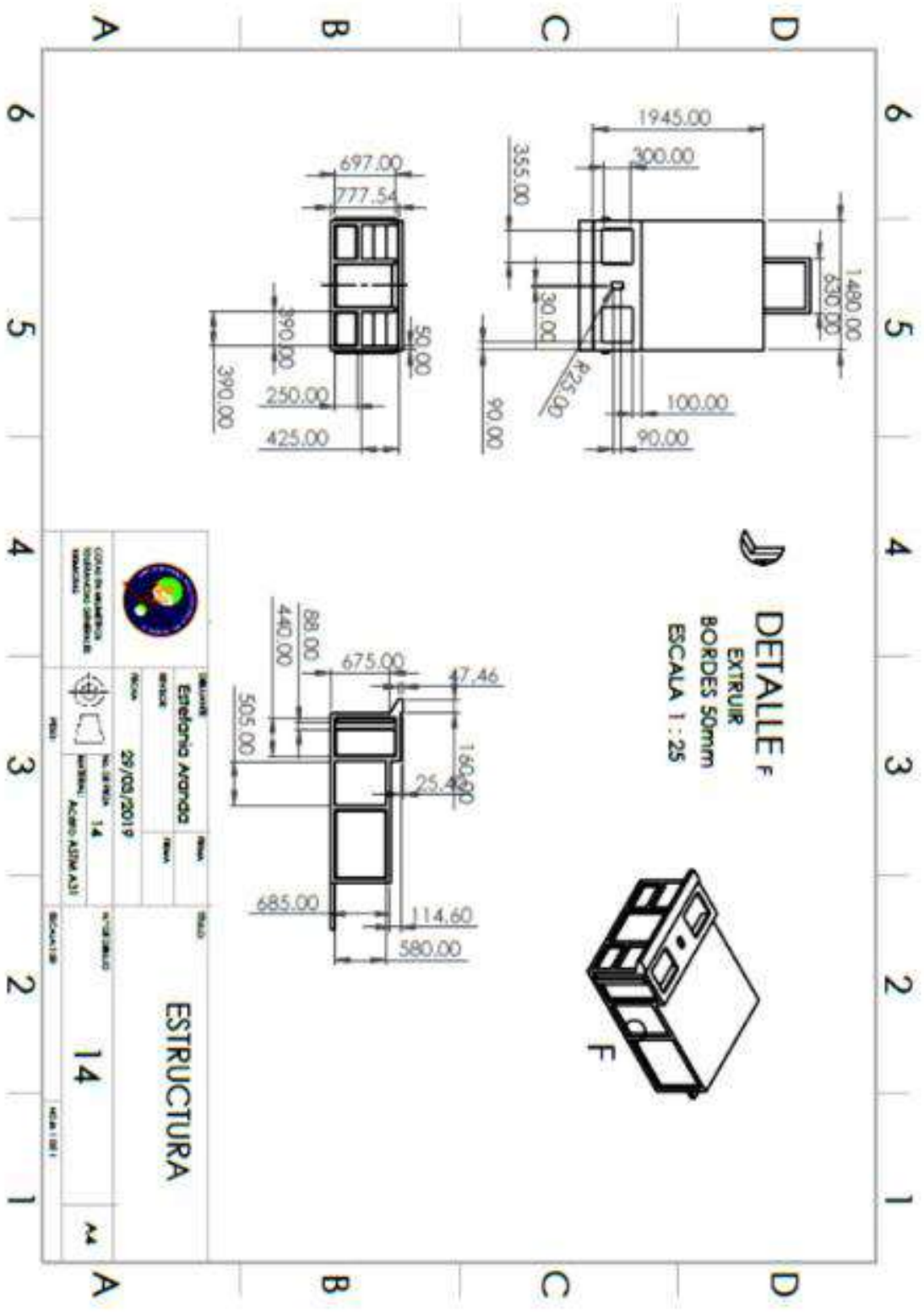


		REVISOR Esterlino Amorós		REVISOR 	
PROYECTISTA 		FECHA 28/03/2019		FECHA 	
PROYECTO 		NO. DE HOJA 6		NO. DE HOJAS 6	
CLIENTE 		PROYECTO 		ESCALA 	
PROYECTO 		PROYECTO 		ESCALA 	





		SECCION Estimio Anillo		ANILLOS	
CADA SECCION DESEÑADA EN UN SOLO PLANO (Cada sección diseñada en un solo plano)		FECHA: 20/03/2019		N° DE BLOQUE: 2	
DISEÑADO POR:		N° DE HOJA: 2		HOJA DE: 2	
REVISADO POR:		TITULO:		HOJA DE: 2	



ANEXOS B

**Componentes
electrónicos**

PLC

Unidades de control CECC

Características

FESTO

Asignación de pines de controlador de compensador CECC-D-BA



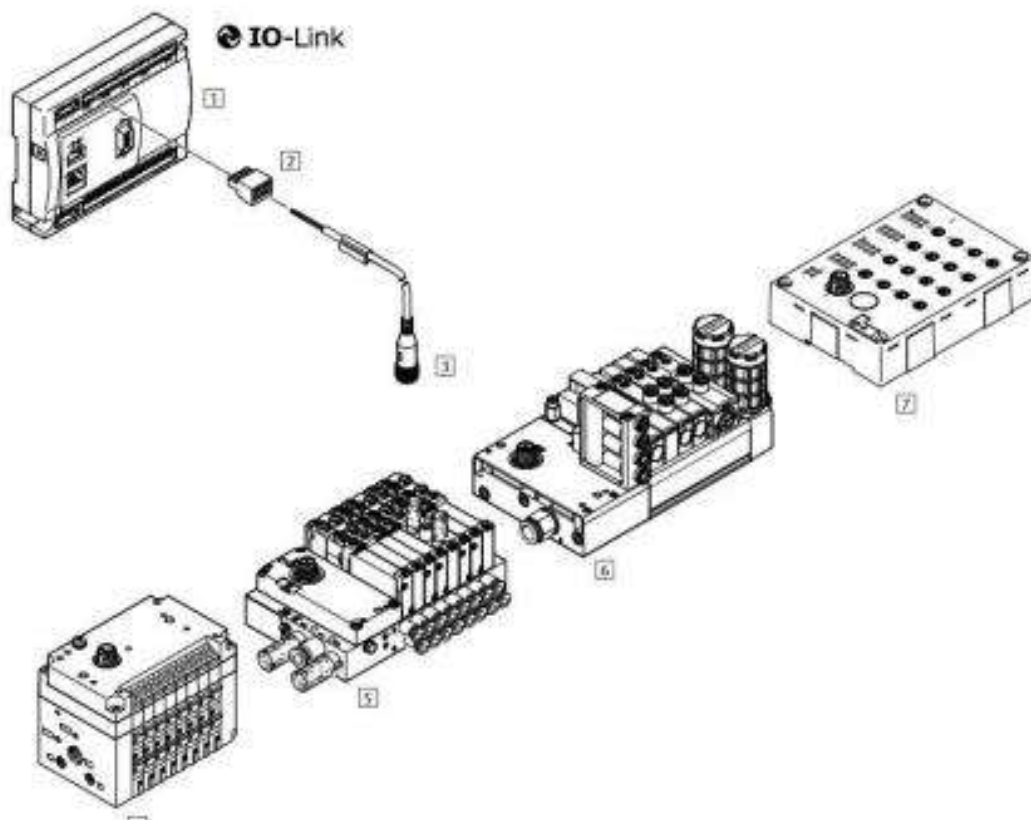
Contacto	Conexión	Función
X2.0	Entradas	Liberación funcionamiento
X2.1		Empañadura activa
X2.2		Error en entrada del monitor de revoluciones
X2.3		Sensor de referencia
X2.4		Desactivar error
X2.5		Cambiar el modo de funcionamiento
X2.6		Notificación de entrada del monitor de revoluciones
X2.7		No asignado
X3.0		Liberación del sistema (desconexión de emergencia)
X3.1 ... X3.5		Entradas configurables por el usuario
X4.0	Salidas	Funcionamiento habilitado
X4.1		Activar monitor de velocidad
X4.2		Válvula de cierre 1
X4.3		Válvula de cierre 2
X4.4		Error
X4.5		Modo de carga conducida activo
X4.6		Modo de compensador activo
X4.7		Sistema activo y disponible

Activar WinDC
ve a Configuración

Unidades de control CECC

Cuadro general de periféricos

FESTO



Elementos para el montaje y accesorios			
	Descripción	→ Página/Internet	
1	Unidades de control CECC	Gracias a la interfaz integrada IO-Link, la unidad CECC permite conectar terminales de válvulas y sensores de Festo de manera sencilla y rápida a una unidad de control	5
2	Conector NECC	Conectores conectorables, 2, 5, 6, 8 o 24 pines	10
3	Cables de conexión NEBU	Cables de conexión universales, 3, 4, 5 o 8 pines	11
4	Terminal de válvulas CPV	Terminal de válvulas compacto universal, adecuado para aplicaciones descentralizadas, función de diagnóstico integrada, posibilidad de generación de vacío, espacio hasta 8 posiciones de válvula	cpv
5	Terminal de válvulas VTUG	Terminal de válvulas universal, para interfaz de nodo de bus de campo CTEU o IO-Link, hasta 24 posiciones de válvula	vtug
6	Terminal de válvulas VTUB	Terminal de válvulas de fácil montaje y resistente a la corrosión, apto para caudales nominales reducidos, admite hasta 35 posiciones de válvula	vtub
7	Módulo de entrada CTSI	Los módulos de entradas digitales permiten la conexión de sensores de proximidad o de otros sensores de 24 V DC (inductivos, capacitivos, etc.)	ctsi

Sensores Finales de Carrera

Product datasheet
Characteristics

XCKM115
limit switch XCKM - thermoplastic roller lever -
1NC+1NO - snap action - Pg11



Price* : 32.23 GBP



Activar Windows
We're Configuring

Main

Range of product	OsiSense XC
Series name	Standard format
Product or component type	Limit switch
Device short name	XCKM
Body type	Fixed
Head type	Rotary head
Material	Metal
Body material	Zamak
Fixing mode	By the body
Movement of operating head	Rotary
Type of operator	Spring return roller lever thermoplastic
Type of approach	Lateral approach 2 directions
Cable entry	3 entries tapped for Pg 11 cable gland
Number of poles	2
Contacts type and composition	1 NC + 1 NO
Contact operation	Snap action

Complementary

Switch actuation	By 30° cam
Electrical connection	Screw-clamp terminals, clamping capacity: 1 x 0.34...2 x 1.5 mm ²
Contacts insulation form	Zb
Number of steps	1
Positive opening	With
Positive opening minimum torque	0.25 N.m
Minimum torque for tripping	0.1 N.m
Minimum actuation speed	0.01 m/min

Maximum actuation speed	1.5 m/s
Contact code designation	A300, AC-15 (U _e = 240 V, I _e = 3 A) conforming to EN/IEC 60947-5-1 appendix A Q300, DC-13 (U _e = 250 V, I _e = 0.27 A) conforming to EN/IEC 60947-5-1 appendix A
[I _{th}] conventional enclosed thermal current	10 A AC
[U _i] rated insulation voltage	300 V conforming to CSA C22.2 No 14 500 V degree of pollution 3 conforming to IEC 60947-1 300 V conforming to UL 508
Resistance across terminals	<= 25 MOhm conforming to IEC 60255-7 category 3
[U _{imp}] rated impulse withstand voltage	6 kV conforming to IEC 60664 8 kV conforming to IEC 60947-1
Short-circuit protection	10 A by gG cartridge fuse
Electrical durability	5000000 cycles, DC-13, inductive load type, 120 V, 4 W, operating rate: <= 60 cyc/min, load factor: 0.5 conforming to IEC 60947-5-1 appendix C 5000000 cycles, DC-13, inductive load type, 24 V, 7 W, operating rate: <= 60 cyc/min, load factor: 0.5 conforming to IEC 60947-5-1 appendix C 5000000 cycles, DC-13, inductive load type, 48 V, 10 W, operating rate: <= 60 cyc/min, load factor: 0.5 conforming to IEC 60947-5-1 appendix C
Mechanical durability	15000000 cycles
Width	64 mm
Height	64 mm
Depth	30 mm
Product weight	0.28 kg
Terminals description ISO n°1	(13-14)NO (21-22)NC

ANEXOS C

Cálculos de la Tolva

Tolva de alimentación.

La tolva de alimentación es donde se da lugar el ingreso de material al sistema, estará diseñada para introducir al sistema 1 bulto de material, sabiendo que cada bulto contiene 25 kg de PVC en pellets, es decir tendrá la capacidad de alimentar 25 kg de material, la densidad del PVC es de $1,22 \text{ g/cm}^3$.

9.3.2.1 Dimensiones de la tolva. Se calculan las dimensiones de la tolva partir de su geometría por cálculos trigonométricos para almacenar 25 kg de PVC.

Por conversión de unidades la densidad se da en kg/cm^3

$$1,22 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 1,22 * 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$$

Ahora se calcula el volumen de la tolva para su posterior dimensionamiento.

$$V_a = \frac{M}{\rho}$$

Dónde:

V_a = Volumen de alimentación en la tolva

M = Masa de 16 bultos de PVC

ρ = Densidad del PVC Reemplazando se obtiene.

$$V_a = \frac{25 \text{ kg}}{1,22 * 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}}$$

$$V_a = 20491,8032 \text{ cm}^3$$

Por conversión de unidades.

$$20.491,8032 \text{ cm}^3 * \frac{(1 \text{ m}^3)}{100 \text{ cm}^3} = 0,031 \text{ m}^3$$

A partir de este dato se pueden calcular las dimensiones mínimas de la tolva, para almacenar este volumen, la tolva dispone de 3 secciones, la primera sección se compone de un prisma rectangular, la segunda es un polígono trapezoidal y por último la garganta de alimentación que su geometría es de prisma rectangular, pero que su volumen no se tiene en cuenta para el volumen total de la tolva, con estas formas se pueden calcular sus dimensiones.

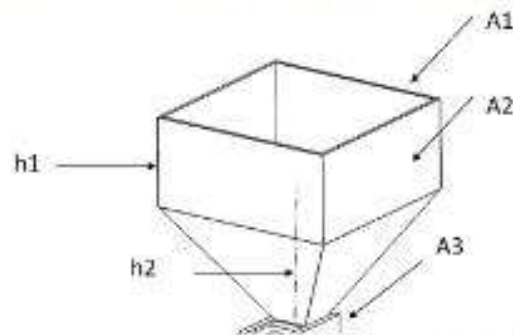


Figura 70 Geometría de la Tolva

Como primera condición para calcular las dimensiones de la tolva se toma como que el ángulo de reposo es 60° para el PVC. [6]

Se procede a calcular las dimensiones del polígono trapezoidal, sabiendo que las dimensiones de la garganta de alimentación están dadas por:

$$\begin{aligned} \text{Longitud de la garganta} &= 1,3 * \text{Diámetro del tornillo} \\ \text{Ancho de la garganta} &= \text{Diámetro del tornillo} \end{aligned}$$

Tomando un diámetro tentativo de 70mm

$$\begin{aligned} \text{Longitud de la garganta} &= 1,3 * 0,075 \text{ m} \\ \text{Longitud de la garganta} &= 0,091 \text{ m} \\ \text{Ancho de la garganta} &= 0,070 \text{ m} \end{aligned}$$

Se procede a calcular

$$A3 = lg * ag$$

Dónde:

$lg = \text{Longitud de la garganta}$

$ag = \text{ancho de la garganta}$

Reemplazando los valores se obtiene.

$$A3 = 0,070 \text{ m} * 0,091 \text{ m} = 6,37 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Con el ángulo de reposo se procede a calcular el área mayor del polígono trapezoidal, tomando como altura 30cm, esta altura se toma de la medida real de una tolva para una máquina inyectora directa al corte de la empresa GUMAR

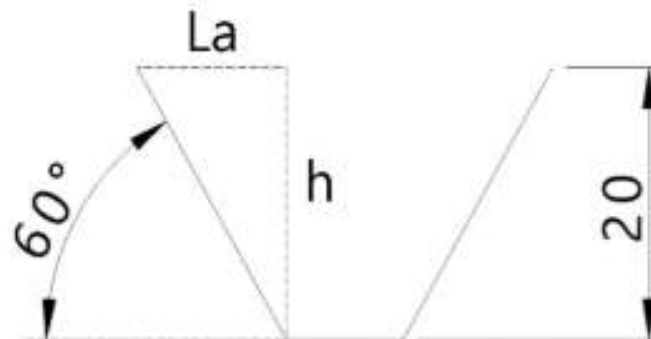


Figura 71 Geometría de polígono trapezoidal

Para calcular el área mayor del polígono se procede a calcular la longitud agregada (La), la cual se debe agregar a las longitudes del área menor del polígono.

$$\begin{aligned} \text{Tan}(60^\circ) &= \frac{h}{La} \\ La &= \frac{h}{\text{Tan}(60^\circ)} \\ La &= \frac{20\text{cm}}{\text{Tan}(60^\circ)} \\ La &= 11,547 \text{ cm} = 0,11547 \text{ m} \end{aligned}$$

Para hallar el área A2, se suma dos veces la longitud agregada al ancho y longitud de la garganta de la tolva, y a su vez se multiplican.

$$L = 0,091 \text{ m} + 2 * La$$

$$A = 0,070 \text{ m} + 2 * La$$

Dónde:

L = Longitud del área A2

A = ancho del área A2

La = Longitud agregada

Reemplazando se obtiene

$$L = 0,091 \text{ m} + 2 * 0,11547 \text{ m}$$

$$L = 0,32194 \text{ m}$$

$$A = 0,070 \text{ m} + 2 * 0,11547 \text{ m}$$

$$A = 0,30094 \text{ m}$$

Ahora se calcula el área A2.

$$A2 = L * A$$

$$A2 = 0,32194 \text{ m} * 0,30094 \text{ m}$$

$$A2 \approx 0,1 \text{ m}^2$$

La siguiente es la fórmula para calcular el Volumen de un polígono trapezoidal [8]

$$V_{pt} = \frac{h2}{2} * (A3 + A2 + \sqrt{(A3 * A2)})$$

Dónde:

Vpt = Volumen del polígono trapezoidal

h2 = Altura del polígono trapezoidal

A2 = Área mayor del polígono trapezoidal

A3 = Área menor del polígono trapezoidal

Reemplazando los valores

$$V_{pt} = \frac{0,2\text{m}}{2} * (6,37 * 10^{-3}\text{m}^2 + 0,1 \text{ m}^2 + \sqrt{(6,37 * 10^{-3}\text{m}^2)^2 + 0,1 \text{ m}^2})$$

$$V_{pt} = 0,01143 \text{ m}^3$$

Para calcular el volumen del prisma rectangular inferior, se tiene como restricción una altura de este de 10cm, el volumen es de;

$$V_{pi} = l * a * w$$

Dónde:

Vpi = Volumen del prisma inferior

l = largo del área A2

a = ancho del área A2

w = alto

Reemplazando los datos.

$$V_{pi} = 0,1 \text{ m} * 0,091 \text{ m} * 0,070 \text{ m}$$

$$V_{pi} = 6,37 * 10^{-4}\text{m}^3$$

Con este dato se calcula el alto del prisma rectangular superior, conociendo su largo y ancho que son las mismas dimensiones del área 2.

$$V_{ps} = V_a - V_{pt} - V_{pi}$$

Dónde:

V_{ps} = Volumen del prisma superior

V_a = Volumen de alimentación

V_{pt} = Volumen del polígono trapezoidal

V_{pi} = Volumen del prisma inferior

Reemplazando para despejar la altura del prisma rectangular superior

$$V_{ps} = 0,031 \text{ m}^3 - 0,01143 \text{ m}^3 - 6,37 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$
$$V_{ps} = 0,018933 \text{ m}^3$$

Con el valor de volumen del prisma superior, se procede a calcular su altura.

$$V_{ps} = l \cdot a \cdot h$$

Las dimensiones de largo y ancho son las mismas del área mayor del polígono trapezoidal, entonces su altura es;

$$h = \frac{V_{ps}}{l \cdot a}$$
$$h = \frac{0,018933 \text{ m}^3}{0,32194 \text{ m} \cdot 0,30094 \text{ m}}$$

$$h = 0,1954 \text{ m} \approx 0,2 \text{ m}$$

ANEXO D

**Circuito máquina SMH-
V19**

Circuito eléctrico

