



**UNIVERSIDAD POLITECNICA DE PUEBLA**  
ORGANISMO PÚBLICO DESCENTRALIZADO DEL ESTADO DE PUEBLA

---

Ingeniería Mecatrónica

Estadía Profesional en Sistemas Mecatrónicos

**Rediseño y automatización de una máquina extrusora  
para la fabricación de calzado**

PRESENTA

Francisco Javier Alonzo Torres

ASESOR

Dr. José Pedro Sánchez Santana

**DIRECCIÓN DEL PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA  
MECATRÓNICA**

**ACTA DE EXAMEN**

En el Municipio Juan C. Bonilla, Puebla a 17 de abril del año 2019 siendo las 10:30 horas, se reunieron en el aula D3-209 de esta Universidad, los integrantes del jurado:

Presidente: M.C. Nora Elena Martínez Romero

Secretario: Mtra. María Elibeth Morales Illescas

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. Francisco Javier Alonzo Torres con matrícula número 151403010.

Tomando en cuenta el contenido del trabajo cuyo título es: Rediseño y automatización de una máquina extrusora para la fabricación de calzado. que fue dirigido por Dr. José Pedro Sánchez Santana y codirigido por Mtra. María Elibeth Morales Illescas, una vez concluida la presentación oral se decidió que fuera: Aprobada.

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 11:30 horas y una vez leída y aprobada la presente fue firmada por las personas que en el acto intervinieron.

\_\_\_\_\_  
 Presidente

\_\_\_\_\_  
 Secretario

\_\_\_\_\_  
 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: **Alonzo Torres Francisco Javier**  
Número de matrícula: **151403010**  
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.

Por la Universidad

Por la Unidad Productiva o

Estudiante

UNIVERSIDAD  
DE PUEBLA

CIÓN ING  
CA

Dra. Rita Marina Aceves Pérez

**Directora del Programa  
Académico**

Ing. Víctor Manuel Guerrero

**Director de Producción**  
[www.gumar.com.mx](http://www.gumar.com.mx)

Alonzo Torres Francisco Javier

**UPPue**

Universidad Politécnica de Puebla

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PUEBLA

"Generamos Ciencia y Tecnología"

Tercer Carril del Ejido Serrano S/N, San Mateo Cuanalá

Mpio. Juan C. Bonilla, Puebla, México

C.P. 72040 Tels. (222) 774 66 40 al 46

ACAD-RG-05 Ver. 01

Pág. 1 de 1

**UTP**  
COORDINACIÓN GENERAL DE UNIVERSIDADES  
TECNOLOGICAS Y POLITÉCNICAS

[www.uppuebla.edu.mx](http://www.uppuebla.edu.mx)

**ENCUESTA DE SEGUIMIENTO, EVALUACIÓN DE SATISFACCIÓN DEL EMPLEADOR Y LIBERACIÓN DE ESTANCIA/ESTADIA.**

Nombre de la Empresa:	GUMAR Solución en Maquinaria				Fecha:	05/03/19	
Tamaño de la Empresa:	Micro(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:	Francisco Javier Alonzo Torres						
Programa Académico:	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
	<b>Total</b>	<b>55</b>

¿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?

Firma del asesor de empresa.

Realizó la Estancia/Estadía:

Firma del estudiante

**ENCUESTA DE SEGUIMIENTO, EVALUACIÓN DE SATISFACCIÓN DEL EMPLEADOR Y LIBERACIÓN DE ESTANCIA/ESTADIA.**

Nombre de la Empresa:	GUMAR Solución en Maquinaria			Fecha:	22/03/19	
Tamaño de la Empresa:	Micro(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:	Francisco Javier Alonzo Torres					
Programa Académico:	Mecatrónica		Área asignada:	Diseño mecánico y eléctrico		
	Estancia 1		Estancia 2		Estadía	x
	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
	<b>Total</b>	<b>5</b>

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

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

Firma del asesor de 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. Francisco Javier Alonzo Torres** alumno (a) de la carrera de **Ingeniería Mecatrónica** con número de matrícula **151403010**, 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 enviarle un cordial saludo.

—  
**Ing.**





### 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:

*Rediseño y automatización de una máquina extrusora para la fabricación de calzado*

Presentado por el alumno:

**Francisco Javier Alonzo Torres**

con número de matrícula 151403010, aspirante al grado de

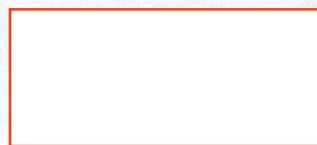
**Licenciado en Ingeniería en Mecatrónica**

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



M.C. Nora E. Martínez Romero  
Presidenta



Dr. José Pedro Sánchez Santana  
Asesor de Estadía



Mtra. Maria Elibeth Morales Illescas  
Secretaria



Dra. Directora de Ingeniería Mecatrónica



## CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En el Mpio. de Juan C. Bonilla, Puebla, el día 12 de abril del 2019, el que suscribe Francisco Javier Alonzo Torres alumno del Programa Académico de Ingeniería Mecatrónica con número de matrícula 151403010, 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 "Rediseño y automatización de una máquina extrusora para la fabricación de calzado", 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](mailto:jose.sanchez@uppuebla.edu.mx) Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



Francisco Javier Alonzo Torres

# Agradecimientos

El amor recibido, la dedicación y la paciencia con la que cada día se preocupaban mis padres por mi avance y desarrollo durante toda mi estancia universitaria, es simplemente única y se refleja en la vida de un hijo.

Gracias a mi padre Javier Alonzo Vázquez y mi madre Blanca Estela Torres Linares, por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias a mi madre por estar dispuesta a acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio, agotadoras noches en las que su compañía y la llegada de sus cafés era para mí como agua en el desierto, gracias a mi padre por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

# Resumen

El presente reporte inicia con la descripción detallada del estado actual del proceso para la fabricación de suelas, y la máquina extrusora encontrada en la empresa GUMAR “Solución de maquinaria”. Con la conceptualización del proceso que realiza esta máquina, se establece una alternativa de diseño para aumentar el número de procesos que puede realizar del calzado, es decir, la máquina además de hacer suela colocara punteras y estas dos piezas irán directo al corte. Además, se describe el proceso que se realizó para automatizar el sistema dando buenos resultados ya que se disminuyó la intervención humana, por consiguiente, eliminando tiempo muertos y el aumento de la producción, todo este proceso inicio con la selección del controlador, la declaración de la secuencia lógica y la implementación en lenguaje KOP.

Una vez descrito todo el desarrollo realizado se valida el diseño mediante análisis de esfuerzos aplicados en la estructura, y la simulación del circuito eléctrico de control mediante el apoyo del software FluidSIM® y CODESYS®.

**Palabras clave:** Máquinas, extrusión, proceso, automatización, diseño

# Abstract

The present report begins with the detailed description of the current state of the process for the manufacture of soles, the current state of the extruder machine found in the company GUMAR "Machine solution". With the conceptualization of the process carried out by this machine, a design alternative is established to increase the number of processes that can be made of the footwear, that is, the machine, in addition to making a sole, will place toes and these two pieces will go directly to the cut, where the In charge of the project in the company, Ing. Gerardo Guardado Márquez approved the modifications and I accept it as an adequate alternative based on specific needs given. In addition, it describes the process that was carried out to automate the system giving good results as human intervention was reduced, therefore, eliminating downtime and the increase of production, this whole process started with the selection of the controller, the declaration of the logical sequence and the implementation in KOP language.

Once all the development has been described, the design is validated by means of stress analysis applied to the structure, and the simulation of the electric control circuit through the support of the FluidSIM® and CODESYS® software.

# Índice general

Dedicatoria .....	I
Agradecimientos .....	II
Resumen .....	III
Abstract .....	IV
Índice de Figuras .....	VII
Índice de Tablas .....	X
Capítulo 1 .....	1
1.1 Introducción .....	1
1.2 GUMAR “Solución en Maquinaria” .....	2
1.3 Antecedentes .....	3
1.4 Identificación del problema.....	4
1.5 Justificación.....	4
1.6 Objetivos .....	5
1.6.1 Objetivo general .....	5
1.6.2 Objetivos específicos.....	5
Capítulo 2.....	6
2.1 Proceso para la producción de calzado.....	6
2.2 Diversidad Maquinaria y herramientas para el proceso .....	6
2.3 Definición de Polímeros.....	7
2.4 Policloruro de vinilo (PVC) .....	7
2.5 Proceso de extrusión.....	8
2.6 Aluminio 1060 .....	9
2.7 Hierro fundición gris .....	9
2.8 Acero estructural .....	9
2.9 Acero 1045 .....	10
2.10 Cilindros neumáticos.....	10
2.11 PLC FESTO CECC-LK .....	10
2.12 Software CODESYS .....	12
2.13 Software FluidSIM.....	13
2.14 Software SolidWorks .....	14
Capítulo 3.....	15
3.1 Proceso actual de la máquina “SMN.V19” .....	15

3.1.1 Unidad de cierre .....	16
3.1.2 Unidad de extrusión .....	16
3.1.3 Unidad de potencia.....	18
3.1.4 Unidad de control.....	19
3.1.5 Características técnicas del estado actual.....	21
3.3 Metodología del proceso .....	23
3.4 Sistema mecánico.....	23
3.4.1 Estructura .....	24
3.4.2 Unidad de hormas.....	27
3.4.3 Unidad de anillos.....	2
3.4.4 Molde de mordazas .....	2
3.4.5 Unidad de punteras.....	4
3.5 Sistema de control.....	37
3.5.1 Descripción del proceso .....	38
3.5.2 Sistema eléctrico .....	40
3.5.3 Sistema neumático.....	40
3.6 Programación en PLC .....	41
3.7 Diseño de molde de mordazas.....	48
3.7.1 Punto de inyección .....	48
3.7.2 Canal de inyección .....	49
Capítulo 4.....	50
4.1 Análisis estáticos.....	50
4.1.1 Análisis de esfuerzos: zona principal .....	50
4.1.2 Análisis de esfuerzos: zona secundaria .....	54
4.2 Simulación en software validando el funcionamiento de la programación.....	56
4.3 Simulación de molde de suela.....	66
4.4 Comparación entre el estado actual y rediseño .....	69
Conclusión.....	70
Bibliografía .....	XI
Glosario .....	XII
ANEXO A: Planos .....	XIII

# Índice de Figuras

Figura 1-1: Logo GUMAR.....	3
Figura 2-1: Diversidad de maquinaria en los distintos procesos de producción. ....	7
Figura 2-2: Estructura química del policloruro de vinilo. ....	8
Figura 2-3: Controlador CECC-LK FESTO. ....	11
Figura 2-4: Logo software CODESYS.....	13
Figura 2-5: Página principal, FESTO FluidSIM. ....	13
Figura 2-6: Logo SolidWorks. ....	14
Figura 3-1: Prensa hidráulica, 1 estación. ....	16
Figura 3-2: Unidad de extrusión.....	17
Figura 3-3: Despiece de unidad de potencia para el husillo.....	18
Figura 3-4: Diagrama Hidráulico de control. ....	19
Figura 3-5: Unidad de potencia hidráulica. ....	19
Figura 3-6: Diagrama de control eléctrico, Estación 1.....	20
Figura 3-7: Diagrama de control eléctrico, Estación 2.....	20
Figura 3-8: Diagrama de control eléctrico, Estación 3.....	21
Figura 3-9: Diagrama de control eléctrico, Estación 4.....	21
Figura 3-10: Identificación de las distintas unidades que componen a la máquina. ....	22
Figura 3-11: Boceto general de los mecanismos implementados. ....	24
Figura 3-12: Diseño de estructura de Acero A36 con placa de acero inoxidable 304. ....	25
Figura 3-13: Vista explosionada de la estructura. ....	26
Figura 3-14: Despiece de la estructura. ....	26
Figura 3-15: Diseño 3D de unidad de hormas.....	27
Figura 3-16: Vista explosionada de la unidad de hormas. ....	27
Figura 3-17: Despiece de la unidad de hormas .....	27
Figura 3-18: Triangulo de hormas.....	2
Figura 3-19: Diseño de la unidad de anillos.....	3
Figura 3-20: Vista explosionada de la unidad de anillos.....	3
Figura 3-21: Despiece unidad de anillos. ....	3
Figura 3-22: Molde de mordazas y horma .....	2
Figura 3-23: Diseño de unidad de punteras.....	5
Figura 3-24: Vista explosionada de unidad de punteras.....	5
Figura 3-25: Despiece de la unidad de punteras.....	5
Figura 3-26: Propuesta de diagrama eléctrico para una estación. ....	37
Figura 3-27: Propuesta de diagrama eléctrico para un control automático. ....	40
Figura 3-28: Diagrama Neumático.....	41
Figura 3-29: Variables globales. ....	42
Figura 3-30: Variables de uso general.....	42
Figura 3-31: Código KOP, línea 1. ....	42
Figura 3-32: Código KOP, línea 2. ....	43
Figura 3-33: Código KOP, línea 3. ....	43
Figura 3-34: Código KOP, línea 4. ....	43

Figura 3-35: Código KOP, línea 5. ....	44
Figura 3-36: Código KOP, línea 6. ....	44
Figura 3-37: Código KOP, línea 7. ....	45
Figura 3-38: Código KOP, línea 8. ....	45
Figura 3-39: Código KOP, línea 9. ....	45
Figura 3-40: Código KOP, línea 10. ....	46
Figura 3-41: Código KOP, línea 11. ....	46
Figura 3-42: Código KOP, línea 12. ....	46
Figura 3-43: Código KOP, línea 13. ....	46
Figura 3-44: Código KOP, línea 14. ....	47
Figura 3-45: Conexión de dispositivos eléctricos y neumáticos al PLC. ....	48
Figura 3-46: Ubicación punto de inyección. ....	49
Figura 3-47: Canal de inyección. ....	49
Figura 4-1: Estado inicial. ....	57
Figura 4-2: Estado inicial de funcionamiento. ....	57
Figura 4-3: Simulación CODESYS línea 1. ....	58
Figura 4-4: Simulación FluidSIM, inicio. ....	58
Figura 4-5: Cilindro de hormas accionado. ....	58
Figura 4-6: Simulación CODESYS, línea 8. ....	59
Figura 4-7: Simulación FluidSIM, A+. ....	59
Figura 4-8: Cierre de anillos. ....	59
Figura 4-9: Simulación CODESYS, línea 10. ....	60
Figura 4-10: Simulación FluidSIM, B+. ....	60
Figura 4-11: Colocación de punteras. ....	60
Figura 4-12: Simulación CODESYS, línea 10. ....	61
Figura 4-13: Simulación FluidSIM, C+. ....	61
Figura 4-14: Simulación CODESYS, línea 14. ....	61
Figura 4-15: Simulación FluidSIM, inyección. ....	62
Figura 4-16: Simulación CODESYS, TIMER 15 seg. ....	62
Figura 4-17: Brazo de punteras desactivado. ....	63
Figura 4-18: Simulación CODESYS, línea 13. ....	63
Figura 4-19: Simulación FluidSIM, C-. ....	63
Figura 4-20: Mordazas abiertas. ....	64
Figura 4-21: Simulación CODESYS, paso 6. ....	64
Figura 4-22: Simulación FluidSIM, B-. ....	64
Figura 4-23: Hormas arriba. ....	65
Figura 4-24: Simulación CODESYS, paso 7. ....	65
Figura 4-25: Simulación FluidSIM, A-. ....	65
Figura 4-26: Tiempo de llenado. ....	66
Figura 4-27: Confianza de llenado. ....	67
Figura 4-28: Predicción de la calidad. ....	67
Figura 4-29: Presión de inyección. ....	68
Figura 4-30: Temperatura necesaria para plastificación del PVC. ....	68
Figura 4-31: Resultado final. ....	69



# Índice de Tablas

Tabla 2-2: Propiedades térmicas del PVC.....	8
Tabla 2-3: Características técnicas de entradas digitales del controlador CECC-LK. [5] .....	11
Tabla 2-4: Características técnicas de salidas digitales del controlador CECC-LK. [5].....	12
Tabla 3-1: Dimensiones de la máquina extrusora. ....	22
Tabla 3-2: Características generales SMN.V19. ....	23
Tabla 3-3: Dimensiones de estructura. ....	25
Tabla 3-4: Lista de despiece .....	26
Tabla 3-5: lista de despiece de unidad de hormas.....	29
Tabla 3-6: Tipos de moldes .....	2
Tabla 3-7: Lista de despiece unidad de anillos.....	2
Tabla 3-8: Propiedades de materiales para molde.....	4
Tabla 3-9: Lista de despiece, unidad de punteras.....	37
Tabla 3-10: Variables utilizadas, línea 1. ....	42
Tabla 3-11: Variables utilizadas, línea 2. ....	43
Tabla 3-12: Variables utilizadas, línea 3. ....	43
Tabla 3-13: Variables utilizadas, línea 4. ....	44
Tabla 3-14: Variables utilizadas, línea 5. ....	44
Tabla 3-15: Variables utilizadas, línea 6. ....	44
Tabla 3-16: Variables utilizadas, línea 7. ....	45
Tabla 3-17: Variables utilizadas, línea 8. ....	45
Tabla 3-18: Variables utilizadas, línea 9. ....	45
Tabla 3-19: Variables utilizadas, línea 10. ....	46
Tabla 3-20: Variables utilizadas, línea 11. ....	46
Tabla 3-21: Variables utilizadas, línea 12. ....	46
Tabla 3-22: Variables utilizadas, línea 13. ....	47
Tabla 3-23: Variables utilizadas, línea 14. ....	47
Tabla 4-1: Información del diseño CAD.....	51
Tabla 4-2: Propiedades físicas del material.....	52
Tabla 4-3: Carga y sujeciones. ....	53
Tabla 4-4: Desplazamiento.....	53
Tabla 4-5: Analisis de factor de seguridad zona principal. ....	54
Tabla 4-6: Carga y sujeciones, zona secundaria.....	55
Tabla 4-7: Desplazamiento en milímetros. ....	55
Tabla 4-8: Factor de seguridad, zona secundaria. ....	56

# 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 intensiva 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 ventas en su maquinaria debido a que los procesos de estas máquinas se consideran antiguos ya que cuenta con lógica cableada, incumpliendo 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 profesional 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 montaje 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. Gracias a esto se pueden implementar a una sola máquina los pasos ya mencionados y por consiguiente se puede llegar a la automatización 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 GUMAR “Solución en Maquinaria”**

Con 30 años de experiencia, esta 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.

Buscan 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 los clientes.

Ubicación:

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

[www.gumar.com.mx](http://www.gumar.com.mx)



*Figura 1-1: Logo GUMAR.*

### **1.3 Antecedentes**

La industria del calzado ha existido desde que el hombre intencionalmente transformo la materia prima y la convirtió en un producto distinto. Esta actividad ha atravesado por distintas etapas, que le han convertido en un componente importante dentro del sector económico a nivel mundial.

En México es una actividad comercial de renombre con más de 400 años de antigüedad que han servido para perfeccionar esta industria y lograr así una cadena industrial sumamente competitiva. El sector calzado es una industria muy diversificada que abarca una gran variedad de materiales (tela, plástico, caucho y cuero) y productos, desde los tipos generales de calzado para hombre, mujer y niños hasta productos más especializados, como botas para practicar snowboard, calzado médico, calzado para diabéticos y calzado de protección. [2]

Esto ha llevado a una transformación en la fabricación de máquinas que puedan cumplir la competitividad demandada por el mercado para producir calzado, desde máquinas manuales de palanca, hasta máquinas extrusoras.

## **1.4 Identificación del problema**

La empresa GUMAR “Solución de maquinaria” construye máquinas para la industria del calzado, logrando posicionarse a nivel nacional durante 30 años, logrando tener máquinas competitivas para producir calzado de calidad. 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, hoy en día se enmarcan nuevos retos, dando como resultado la necesidad de realizar una actualización y mejoramiento de sus máquinas, principalmente la máquina SMH.V19 4 Estaciones, que actualmente cuenta con la capacidad para producir bajos volúmenes y solo produce suelas.

Adicionalmente, el control semi automático se basa en lógica cableada y esto implica un uso excedente de componentes eléctricos como contactores, relevadores y temporizadores haciendo tableros robustos. Además, la detección de fallas y modificaciones se vuelven un problema mayor que genera tiempo muerto y retrasos en la construcción del tablero

## **1.5 Justificación**

La necesidad de estar en el mercado competitivo obliga a la empresa GUMAR “Solución en Maquinaria” a participar en los métodos de mejoramiento continuo en sus sistemas que actualmente demanda el mercado, ya que en los últimos meses la empresa se ha visto estancada en la innovación de sus máquinas dando como consecuencia bajas ventas de las mismas.

Es por ello que es de vital importancia para la empresa, la maquinaria para la producción de suelas cuente con una expansión de sistemas el cual tenga como resultado la unión de distintos procesos manuales en uno automatizado, modificando el diseño actual de cierre por prensa por un sistema de molde basado en hormas con sistema de cierre de tipo mordazas, así como la implementación de brazos mecánicos laterales para el posicionamiento de punteras.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo general**

Realizar un rediseño de una máquina extrusora de PVC mediante la implementación de nuevas unidades mecánicas para aumentar los procesos de fabricación de calzado como son: suela, puntera, corte en menor tiempo.

### **1.6.2 Objetivos específicos**

- Inspeccionar la máquina de 4 estaciones a través de su funcionamiento original para obtener el nuevo rediseño.
- Definir mejora a la máquina 4 estaciones a fin de obtener un diseño asistido por computadora (CAD) y la ingeniería asistida por computadora (CAE) para implementar y las nuevas unidades mecánicas, así como la utilización de un controlador lógico programable (PLC) para el control automático.
- Validar el funcionamiento de rediseño mediante el análisis virtual para obtener resultados en la producción y ahorro de tiempo.

# Capítulo 2

## Marco teórico

En este capítulo, se describen los aspectos teóricos más importantes que se necesitan conocer para lograr un correcto entendimiento del proceso.

### 2.1 Proceso para la producción de calzado

La producción de calzado cuenta con un proceso de varias etapas hasta llegar al producto final, los cuales son los siguientes:

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

### 2.2 Diversidad Maquinaria y herramientas para el proceso

La industria del calzado es una actividad de uso intensivo que utiliza mucha mano de obra, además existe una gran diversidad de máquinas y herramientas empleadas en el proceso.

La diversidad de maquinaria que se requiere para la fabricación de calzado es tan grande que para cubrir 5 procesos se han inventado más de 50 tipos de máquinas, a continuación, se muestra en la Figura 2-1 las distintas máquinas que se requieren según la fase del proceso.

El montando y ensuelado son pasos que se pueden unir en un mismo proceso, ya que es una tarea repetitiva.

Corte	Pespunte	Montado o avio	Ensuelado	Acabado	Adorno
Suajadora Troqueladora Entreteladora	Ojilladora Perforadora Enlazadora Máquina pespunte 1 y 2 agujas Rematadora de Pespunte Remachadora Elotadora Encasquilladora Rebajadora Dobladora Habadora Cosedora 1 y 2 agujas Máquina costura zigzag Máquina de poste Ribeteadora	Máquina activadora de casquillo Armadora de tacón Dobladilladora Eyector aire caliente Homo Aplanadora de acero Activador de suela Pulidora Máquina deshormadora Maquinaria desviradora de cantos Enchineladora Máquina enfriadora de cantos Sujetadores de avio Vaporizador Montadora Caja Tacón Puntas Lados Talones Suela Asentadora Cortadora Engrapadora Máquina para levantar Hendido Prensa conformadora Banda transportadora	Montadora de suela Activador de suela Banda transportadora Asentadores de suela Suajadora Biseladores Cardadores	Máquina desviradora de cantos Secador Máquina grabadora Máquina apomazadora Troqueladora Máquina cementadora Banco de cepillar Banda transportada	Armadora de cajas Pistola de aire

Fuente: Extrusión, the definitive processing guide

Figura 2-1: Diversidad de maquinaria en los distintos procesos de producción.

## 2.3 Definición de Polímeros

Se denomina polímero a la molécula constituida por la repetición de cierta unidad básica llamada monómero. La palabra Polímero significa literalmente “muchas partes”. La reacción química sucesiva para crear un polímero se denomina polimerización. [3]

La polimerización consiste en tomar las moléculas reactivas, relativamente simples y provocar que estas pequeñas moléculas, se enlacen en condiciones adecuadas de manera covalente entre sí, en estructuras de cadena larga (polímeros).

## 2.4 Policloruro de vinilo (PVC)

Es el resultado de la polimerización del cloruro de vinilo. Es el derivado del plástico más versátil.

Se presenta como un material blanco que comienza a reblandecer alrededor de los 80°C y se descompone sobre los 140°C, es un polímero por adición que tiene muy buena resistencia eléctrica. [4]

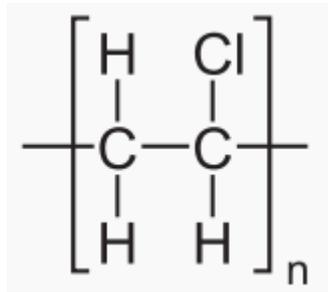


Figura 2-2: Estructura química del policloruro de vinilo.

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

Tabla 2-1: Propiedades térmicas del PVC.

## 2.5 Proceso de extrusión

La extrusión de materiales poliméricos para producir productos con acabados en aplicaciones industriales o de consumo, es un proceso integrado, siendo la extrusora el componente

principal de todo el sistema. Si la temperatura de extrusión está mal configurada, el polímero durante el proceso de plastificación puede no cumplir los índices de calidad.

El polímero es recibido e inspeccionado para posteriormente ser mezclado con aditivos, después es secado e introducido al proceso de extrusión en el cual es fundido y expulsado a un molde para su enfriamiento. Como operación secundaria está el empaquetado y venta del producto terminado. [4]

## **2.6 Aluminio 1060**

Este material (aluminio 1060) se caracteriza por una excelente resistencia a la corrosión, alta conductividad térmica y eléctrica, bajas propiedades mecánicas. Además de ser el material no ferroso mayormente consumido en el mundo. [5]

En la empresa es utilizado por sus grandes propiedades resistivas a la corrosión además de su alta conductividad térmica y su baja densidad, es utilizado mayormente para el uso de moldes de suelas, hormas y aditamentos de las mismas

## **2.7 Hierro fundición gris**

El hierro fundido, hierro colado o fundición gris es un tipo de aleación del hierro. Es uno de los materiales ferrosos más empleados y su nombre se debe a la apariencia de su superficie al romperse. Esta aleación ferrosa contiene en general más de 2% de carbono y más de 1% de silicio, además manganeso, fósforo y azufre.

Su mayor ventaja se debe a su relativo bajo costo y buena maquinabilidad además de su buena resistencia al desgaste, en la empresa es utilizado como soporte de pequeños mecanismos

## **2.8 Acero estructural**

El acero estructural es un acero al carbono, utilizado en construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación, herrajes eléctricos y estructuras de máquinas. [6]

En la empresa es utilizado en todo tipo de máquinas realizadas por GUMAR, por sus grandes propiedades resistivas a la deformación por cargas excesivas.

## **2.9 Acero 1045**

Es un acero con capacidad de endurecimiento de bajo procesamiento, es decir, tiene baja dureza en penetración de sección transversal y su límite de uso se da a piezas con secciones no mayores a 60 mm. Tiene buena relación entre la fuerza y la resistencia a la fractura por lo que es un material excelente para piezas de uso mecánico rudo. Utilizado principalmente para uso de ejes, rotulas, tornillos cilindros, pernos, entre otros.

## **2.10 Cilindros neumáticos**

Los cilindros son aquellos que convierten la energía cinética del aire comprimido en movimiento mecánico lineal. Desempeñan una infinidad de aplicaciones en la industria como mover y detener cargas, operaciones de sujeción, entre muchas más y se pueden instalar en cualquier orientación. Independientemente del estilo del cilindro, estos se dividen en dos grandes grupos: simple efecto y doble efecto.

En la empresa GUMAR en su mayoría son cilindros de doble efecto ya que se requiere el control y trabajo en ambos sentidos y son utilizados para dar el movimiento de los sistemas mecánicos de sus máquinas.

## **2.11 PLC FESTO CECC-LK**

Los controladores CECC son unidades de control modernas, compactas y versátiles, que permiten programar con CODESYS.

Una variante de estos controladores es la unidad CECC-LK el cual incluye cuatro conexiones master IO-Link Device. Gracias a la interfaz IO-Link, la unidad CECC-LK permite conectar terminales de válvulas de FESTO de manera sencilla y rápida a una unidad de control. [7]

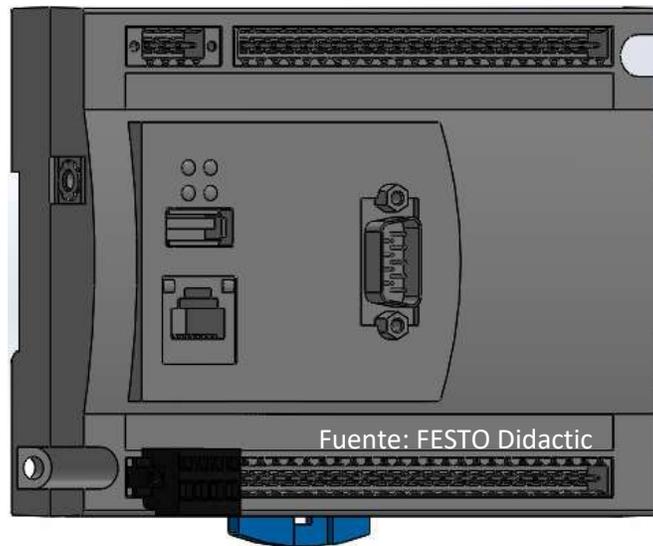


Figura 2-3: Controlador CECC-LK FESTO.

Este controlador es de aplicación industrial, de instalación rápida y sencilla y cuenta con las siguientes características.

Entradas Digitales	
	CECC-LK
<b>Cantidad</b>	12
<b>Lógica de conmutación</b>	Lógica Positiva (PNP)
<b>Entradas Digitales rápidas</b>	2, con un máximo de 200 kHz cada una
<b>Retardo de la señal de entrada</b>	3 ms tip.
<b>Tensión de entrada [V DC]</b>	24
<b>Valor nominal para TRUE [V DC]</b>	Mayor o igual a 15
<b>Valor nominal para FALSE [V DC]</b>	Menor o igual a 5
<b>Separación de potencial</b>	Si, mediante optoacoplador
<b>Indicación de estado</b>	LED
<b>Longitud Máx. Admisible del cable de conexión [m]</b>	30

Tabla 2-2: Características técnicas de entradas digitales del controlador CECC-LK. [7]

Salidas digitales	
	CECC-LK
<b>Cantidad</b>	8
<b>Lógica de conmutación</b>	Lógica positiva (PNP)
<b>Contacto</b>	Transistor
<b>Tensión de salida [V DC]</b>	24

<b>Corriente de salida [mA]</b>	500
<b>Separación de potencial</b>	Sí, mediante optoacoplador
<b>Indicación de estado</b>	LED
<b>Frecuencia de conmutación [kHz]</b>	Máx. 1
<b>Resistencia a cortocircuitos</b>	Sí

Tabla 2-3: Características técnicas de salidas digitales del controlador CECC-LK. [7]

La elección de este Controlador Lógico Programable se debe a que GUMAR tiene un contacto con FESTO, ya que es uno de los principales proveedores que tiene la empresa. Además, el controlador de FESTO cumple con nuestras necesidades ya que el PLC tiene 8 entradas, 8 salidas que son justamente las que ocuparemos.

## 2.12 Software CODESYS

CODESYS es uno de los sistemas de programación más comunes para PLC's. Permite programar controladores de diferentes fabricantes, así como generar código para algunos tipos de microprocesadores. Es un software que utiliza el estándar de programación de PLC IEC 61131-3 con los 5 lenguajes de programación. [8]

- Lenguaje escalera (LD- Ladder Diagram)
- Diagrama de bloque de funciones (FBD – Function Block Diagram)
- Texto estructurado (ST- Structured Text)
- Lista de instrucciones (IL- Instruction List)
- Bloques de función secuenciales (SFC- Sequential Function Chart)

FESTO es una de las decenas de empresas en el mundo de la automatización industrial que utiliza la plataforma de CODESYS en sus equipos programables, ya que tiene un simulador integrado permitiendo testear y simular programas. Además, CODESYS tiene una relación directa con FESTO lo que le permite simular programas en los simuladores de FESTO como FluidSIM. [9]

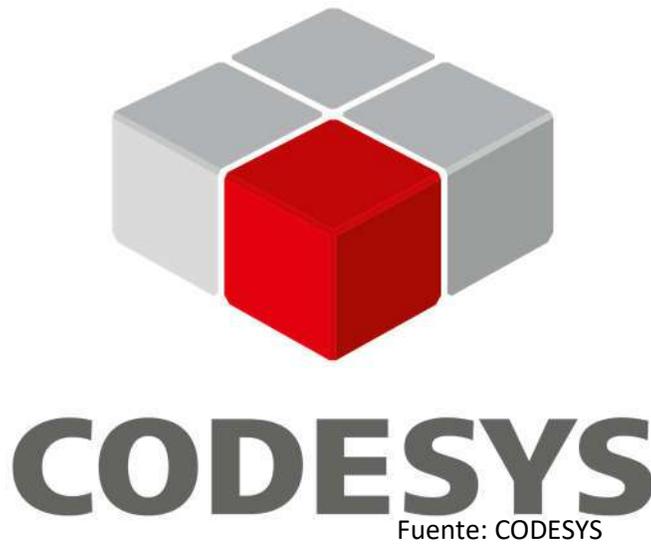
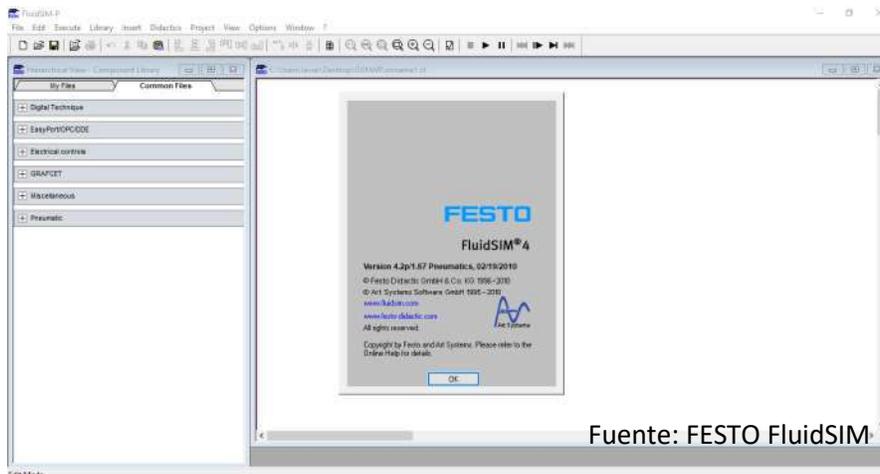


Figura 2-4: Logo software CODESYS.

## 2.13 Software FluidSIM

FluidSIM es un software pensado para la creación, simulación, instrucción y estudio electro neumático, electrohidráulico y de circuitos digitales. Hace más de 20 años que el software constituye el programa de simulación y diseño de esquema del circuito líder en todo el mundo.

La simulación de controles y procesos se considera un estándar industrial desde hace bastante tiempo, minimiza las pérdidas por colapso y sirve para aumentar tanto la eficiencia como la calidad ya que permite ensayos en tiempo real. [9]



Fuente: FESTO FluidSIM

Figura 2-5: Página principal, FESTO FluidSIM.

La idea de utilizar el software FluidSIM surge ante la consecuencia de comprar un controlador de FESTO, lo que facilita la conexión entre dispositivos y software, además es un software por excelencia para la simulación de procesos electroneumáticos.

## 2.14 Software SolidWorks

SolidWorks es un software CAD para modelado mecánico en 2D y 3D desarrollado en la actualidad por **Dassault Systèmes SOLIDWORKS Corp.** Proporciona una gran variedad de herramientas necesarias para abordar los problemas más complejos con el nivel de detalle adecuado con el fin de conseguir un acabado pormenorizado en todos los trabajos. Sus funciones le permiten mejorar el proceso de desarrollo de productos para que pasen a producción mucho antes. [10]

Con la función SolidWorks Simulation, se puede probar las ideas en un entorno virtual y obtener información útil sobre durabilidad, esfuerzos, resistencia y el rendimiento.



*Figura 2-6: Logo SolidWorks.*

Se utilizó el software por la gran variedad de funciones y herramientas que tiene SolidWorks, esto nos permitirá hacer un diseño con un nivel adecuado de calidad y simulaciones detalladas de esfuerzos para validar los mecanismos a implementar.

# Capítulo 3

## Desarrollo

En este capítulo se presenta la identificación del estado actual de la máquina SMN.V19 4 estaciones. Dicho reconocimiento se hace con la finalidad de obtener un rediseño adecuado para una futura implementación de distintos procesos de calzado (suela, puntera y corte) en una misma máquina. Además, se describen las distintas unidades mecánicas a implementar en el rediseño, así como el sistema de control para la automatización de la misma.

### 3.1 Proceso actual de la máquina “SMN.V19”

El estado actual de la máquina extrusora de la empresa GUMAR solución de maquinaria modelo “SMN.V19” tiene como único proceso el movimiento lineal de prensas hidráulica para la apertura o cierre del molde de suelas. Esta cuenta con 4 estaciones, una prensa y un sistema inyector por estación dando como producto final una suela. La máquina está compuesta por diferentes sistemas fundamentales, los cuales son:

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

### 3.1.1 Unidad de cierre

La unidad de cierre se basa en una prensa hidráulica, la cual tiene como función el cierre y apertura de un molde mediante la acción de un cilindro hidráulico. Esta unidad está constituida por los siguientes componentes: Cilindro hidráulico, guías para molde, platinas fijas, platina viajera. Las prensas hidráulicas se utilizan a presiones de 1800 y 2100 PSI. En la Figura 3-1 se muestra las partes que componen a la prensa hidráulica.

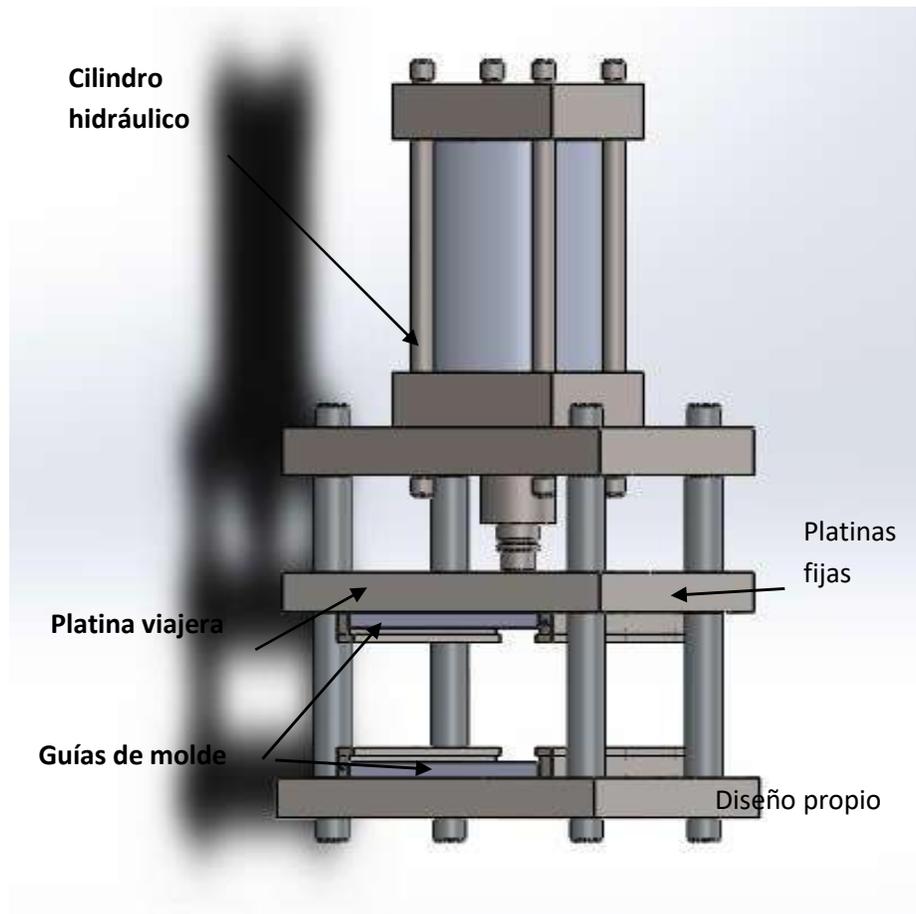


Figura 3-1: Prensa hidráulica, 1 estación.

### 3.1.2 Unidad de extrusión

Esta unidad es la encargada de la plastificación y extrusión del PVC. Está compuesta de una tolva la cual es la encargada de suministrar la materia prima, un husillo, camisa de

plastificación y resistencias eléctricas tipo abrazadera, estos últimos 3 elementos componen al proceso de plastificación del PVC.

El proceso de plastificación se hace con el calentamiento de la cámara de plastificación a través de la conducción de calor que provocan las resistencias eléctricas, con el giro del husillo y el movimiento de un rodamiento axial permite la extrusión del material a través de la boquilla que conduce el polímero por el bebedero y posteriormente a las cavidades del molde. Las resistencias eléctricas son controladas a una temperatura de entre 150°C y 160°C, dicha temperatura está definida para permitir la correcta fundición del PVC.

En la Figura 3-2 se muestra la vista isométrica de la unidad de extrusión para una estación.

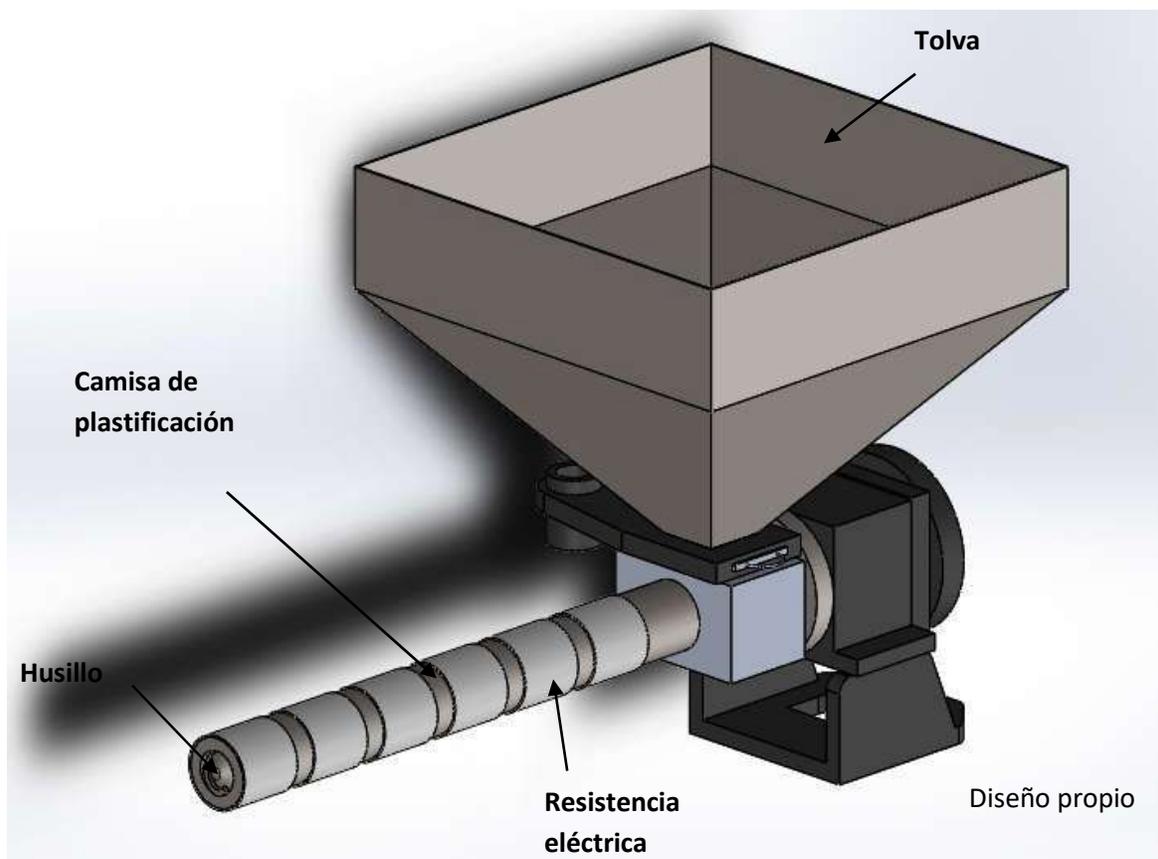


Figura 3-2: Unidad de extrusión.

### 3.1.3 Unidad de potencia

La unidad de potencia es la encargada de realizar la fuerza motriz y está compuesta por dos subsistemas. [4]

#### 3.1.3.1 Unidad de potencia: Husillo

Este subsistema es el encargado de realizar la fuerza motriz para el giro del husillo y la posterior extrusión de material. Está compuesto por un motor eléctrico acoplado a una caja de baleros y una caja reductora de velocidad. [4]

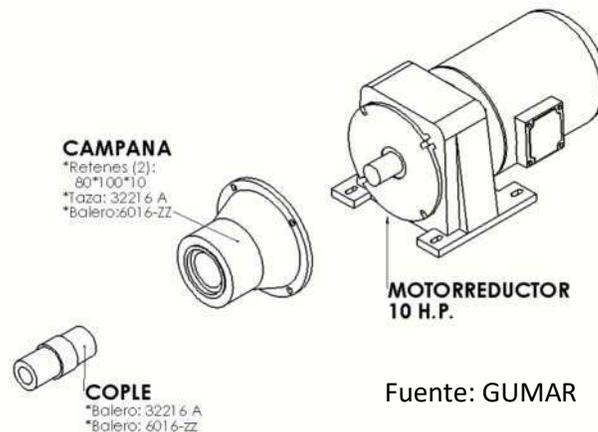


Figura 3-3: Despiece de unidad de potencia para el husillo.

#### 3.1.3.2 Unidad de potencia: subsistema hidráulico

Este subsistema es el encargado de permitir la conducción de aceite a los cilindros de las prensas hidráulicas mediante el accionamiento de electroválvulas 5/2 biestables. El sistema de potencia está compuesto por una bomba eléctrica, un filtro y una caja de almacenamiento de aceite.

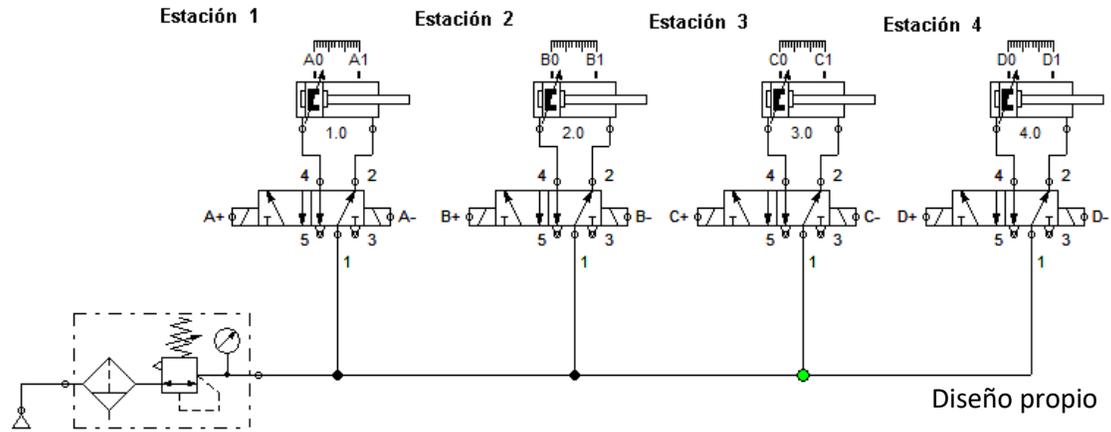


Figura 3-4: Diagrama Hidráulico de control.



Figura 3-5: Unidad de potencia hidráulica.

### 3.1.4 Unidad de control

El sistema de control está basado en lógica cableada lo que implica que los tableros eléctricos sean de una dimensión considerable y las modificaciones sean de dificultad ya que se tiene que modificar la estructura del cableado. Además, esta máquina solo puede ser controlada en modo manual esto significa que depende totalmente de la manipulación humana por lo tanto la producción no es continua dando como resultado retrasos en la producción.

Una desventaja notable es que el control de cada estación es dependiente de la otra, es decir, solo puede funcionar una estación y no las cuatro simultáneamente.

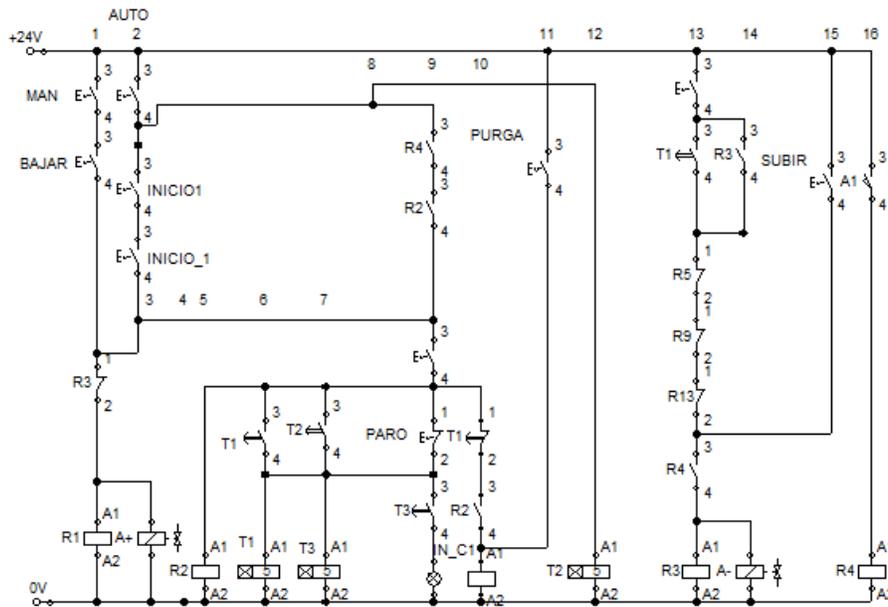


Figura 3-6: Diagrama de control eléctrico, Estación 1.

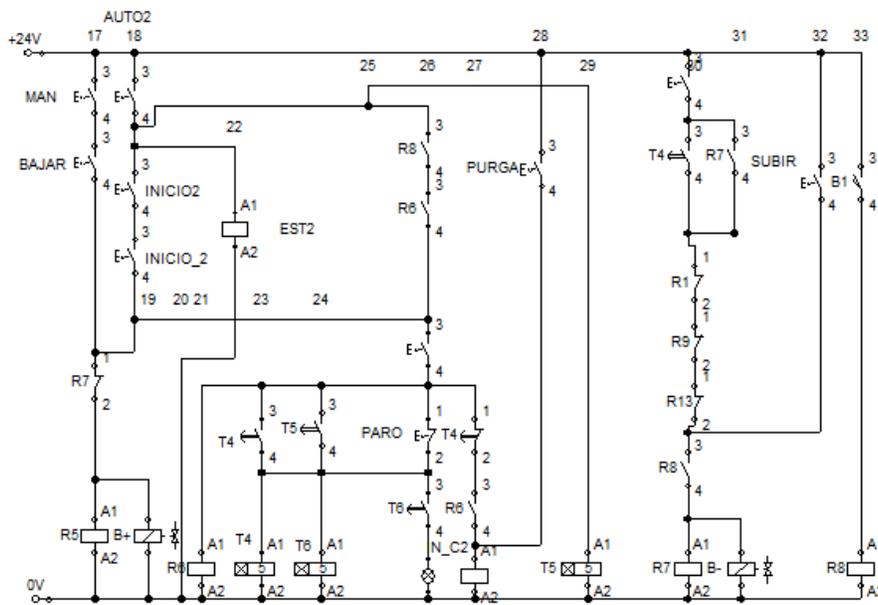


Figura 3-7: Diagrama de control eléctrico, Estación 2.

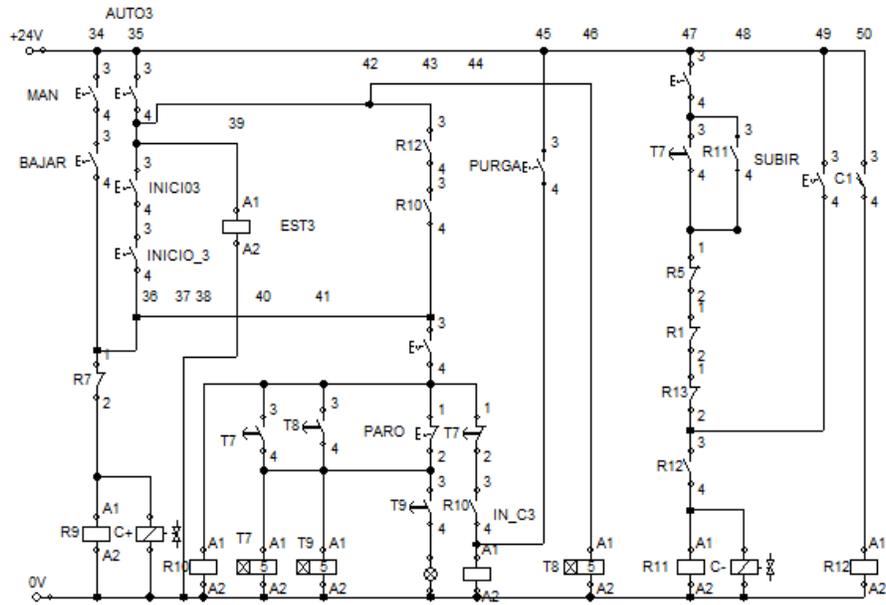


Figura 3-8: Diagrama de control eléctrico, Estación 3.

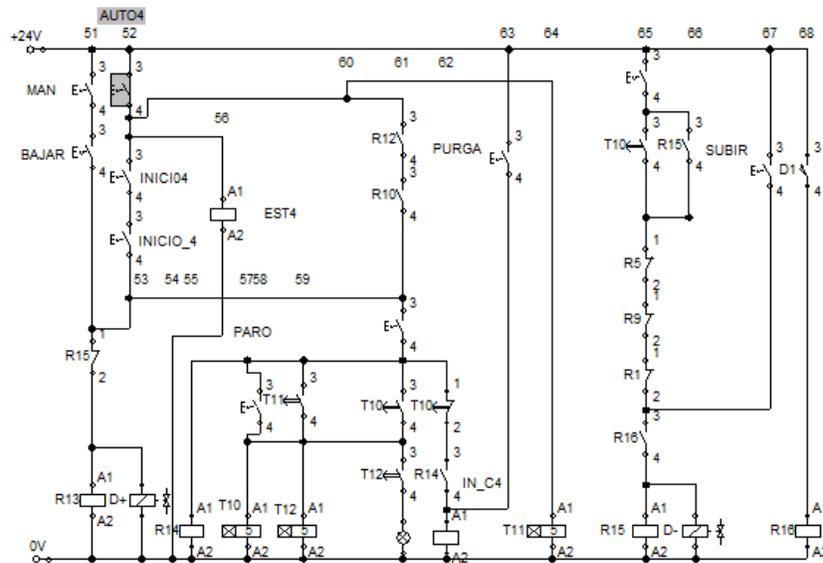


Figura 3-9: Diagrama de control eléctrico, Estación 4.

### 3.1.5 Características técnicas del estado actual

Una vez identificadas y descritas las distintas unidades que componen a la máquina de extrusión “SMN.V19”, se procede al reconocimiento de las características técnicas con la finalidad de hacer notables sus ventajas y desventajas para así realizar una correcta modificación de diseño y la posterior validación del mismo.

A continuación, se muestra en la Figura 3-10 el esquema de la máquina extrusora, señalando donde se encuentran las distintas unidades.

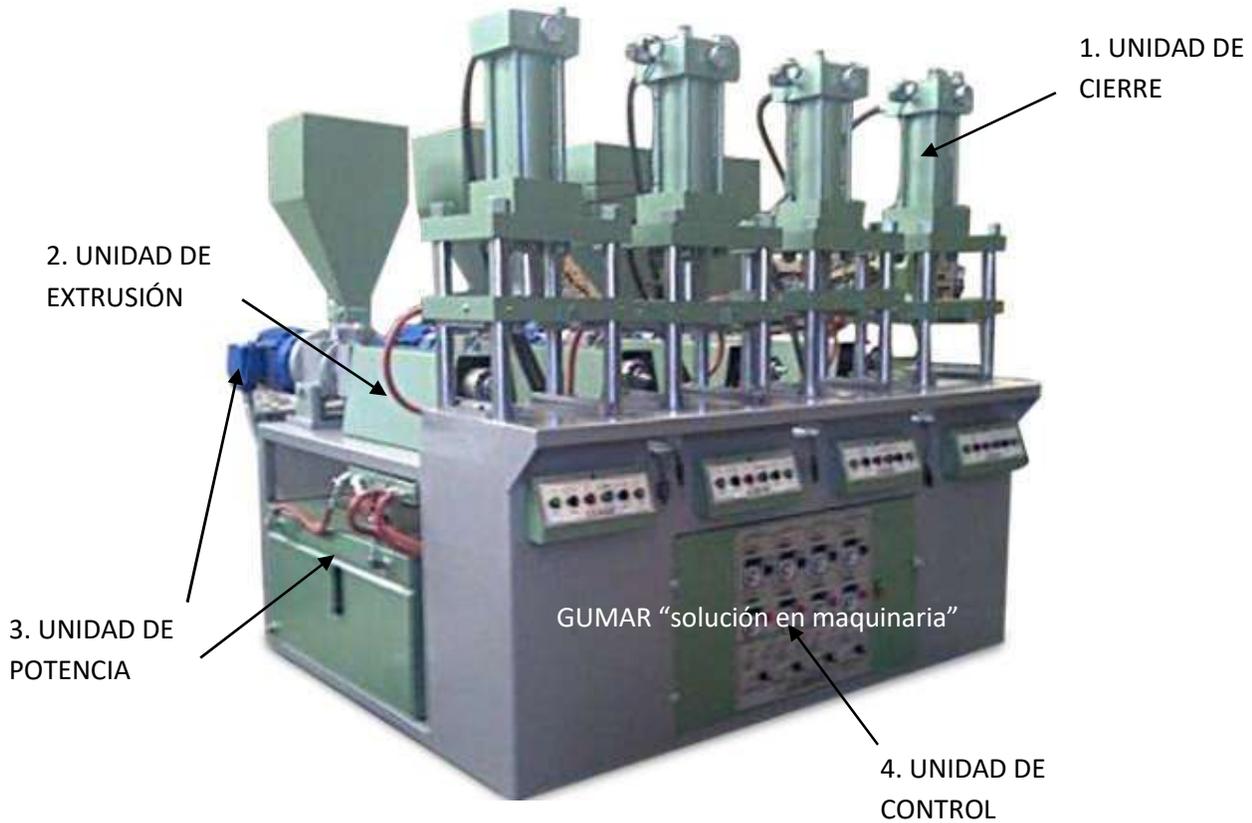


Figura 3-10: Identificación de las distintas unidades que componen a la máquina.

En la Tabla 3-1 se muestran las dimensiones físicas de la máquina extrusora por prensa.

Descripción	Dimensiones
<b>Longitud</b>	2500 mm
<b>Ancho</b>	2150 mm
<b>Altura</b>	2200 mm

Tabla 3-1: Dimensiones de la máquina extrusora.

En la Tabla 3-2 se muestran características generales de la máquina.

Descripción	Valor
<b>Potencia requerida</b>	45 HP
<b>Pares por turno</b>	500
<b>Placas de refrigeración</b>	Si
<b>Ajuste de moldes</b>	Si
<b>Fuerza de cierre</b>	1800-2500 PSI
<b>Procesos a realizar</b>	Únicamente suela

*Tabla 3-2: Características generales SMN.V19.*

Una vez definido el estado actual, ventajas y desventajas que tiene actualmente la máquina extrusora para creación de suelas, se definen distintas mejoras con el fin de aumentar el número de procesos que la máquina que puede realizar (suela, puntera y corte). También se define la implementación de un sistema automatizado con el cual se disminuye la intervención humana y se mejoran los tiempos de producción

### **3.3 Metodología del proceso**

El sistema debe cubrir los siguientes procesos: creación de suela, posicionamiento de punteras y que estos procesos vayan directo al corte del calzado. Es por ello que se procede a diseñar un primer boceto general del diseño propuesto para la implementación de mecanismos con ayuda de herramientas CAD, Solidworks®.

El rediseño y automatización de la maquina se divide en dos partes: Sistema mecánico y de control.

### **3.4 Sistema mecánico**

El rediseño de la máquina se basa en 3 unidades fundamentales las cuales se encargarán de cumplir los procesos de creación de suelas, posicionamiento de punteras y la unión directo al corte. Para cumplir los procesos previamente mencionados es necesario un rediseño de estructura y de sistemas mecánicos. Los sistemas o unidades mecánicas son las siguientes

- Unidad de hormas
- Unidad de anillos
- Unidad de punteras

La propuesta de diseño mecánico se define para 2 estaciones, es decir, la cantidad de unidades previamente mencionadas serán dos, esta propuesta fue dada por la empresa ante la necesidad de disminuir la mano de obra por lo tanto al tener dos estaciones solo se requiere un operador. En la Figura 3-11 se muestra el boceto de las 3 unidades a implementar

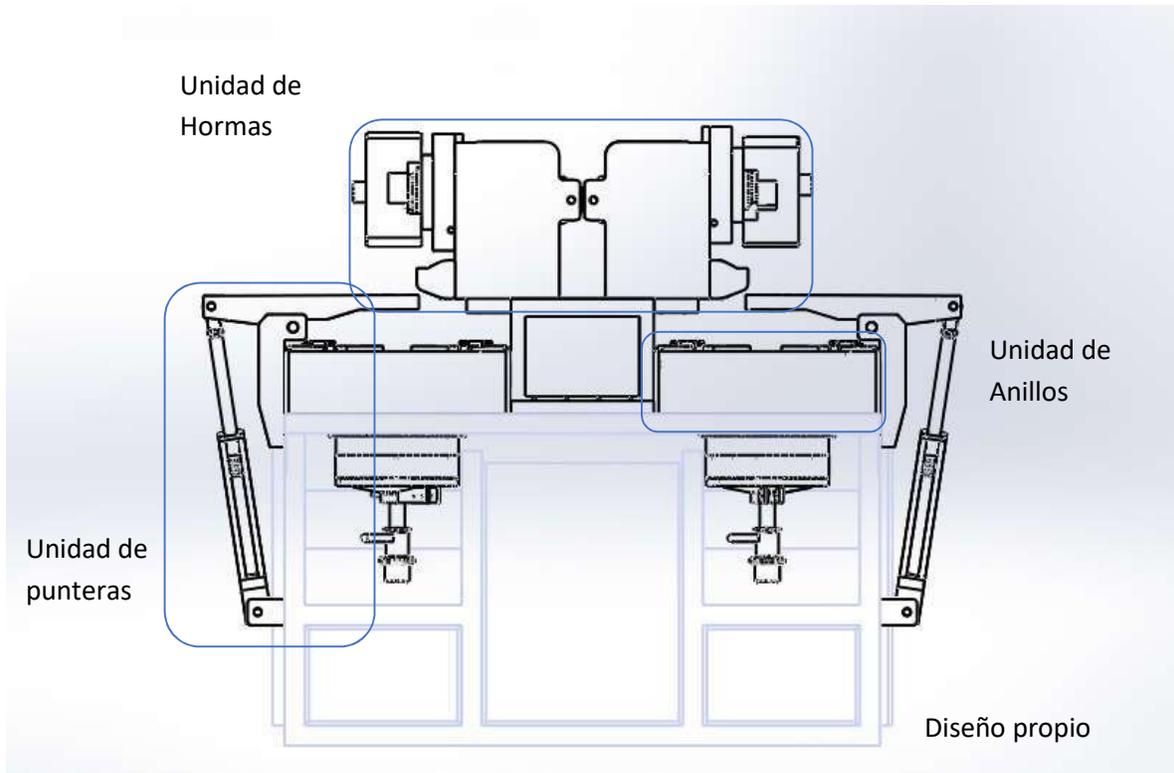


Figura 3-11: Boceto general de los mecanismos implementados.

### 3.4.1 Estructura

La estructura es una parte fundamental de la máquina ya que de esta depende la validación de las unidades de hormas, anillos y punteras. Es importante diseñar una buena estructura porque se encargará de soportar la masa de las distintas unidades

Es por ello que para el diseño de la estructura se eligió perfil cuadrado de 5 centímetros de material *Acero estructural A36*, el perfil de acero es una aleación de acero al carbono de propósito general muy comúnmente usado en aplicaciones estructurales lo cual cubre perfectamente nuestras necesidades, y para dar una mayor resistencia y reducir el riesgo de tener deformaciones, se reforzó la estructura con una placa de 1 pulgada de *Acero inoxidable 304*. Figura 3-12

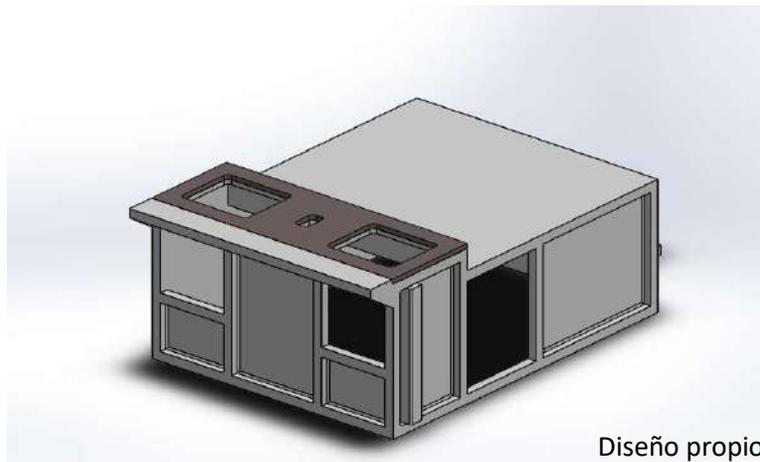
La Tabla 3-3 muestra las dimensiones del nuevo diseño de la estructura

Descripción	Dimensiones
<b>Longitud</b>	1940 mm
<b>Ancho</b>	1480 mm
<b>Altura</b>	825 mm

*Tabla 3-3: Dimensiones de estructura.*

Al comparar las dimensiones del nuevo diseño de la estructura al del estado actual se infiere una optimización ya que se disminuyeron considerablemente las dimensiones y esto implica un ahorro de material.

En la Figura 3-12 se muestra el ensamble del rediseño propuesto para la estructura de la máquina.



Diseño propio

*Figura 3-12: Diseño de estructura de Acero A36 con placa de acero inoxidable 304.*

### 3.4.1.1 Despiece de estructura

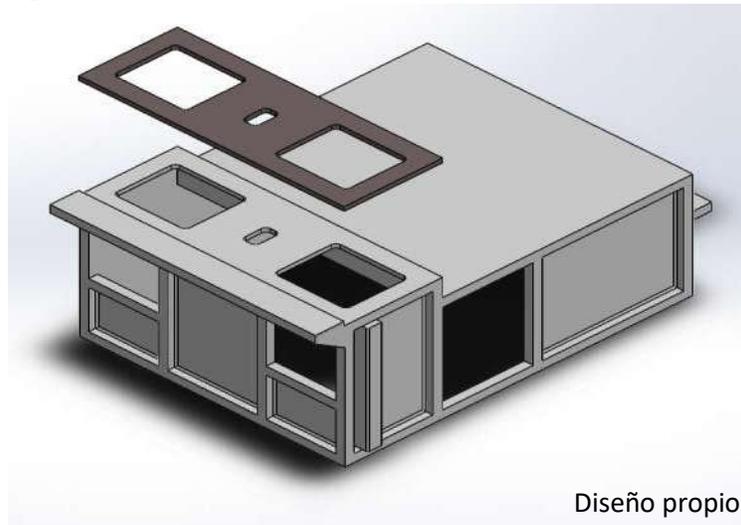


Figura 3-13: Vista explosionada de la estructura.

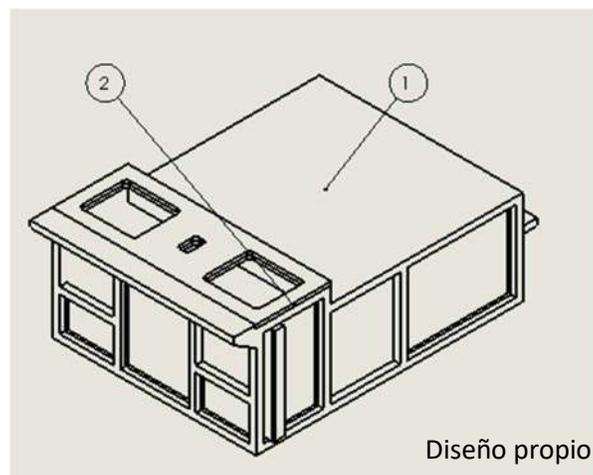


Figura 3-14: Despiece de la estructura.

La Tabla 3-4 muestra la lista de las piezas, material y descripción del despiece de la estructura en la Figura 3-14.

N.º De Elemento	Nombre de pieza	Descripción	Material	Cantidad
1	Placa	Placa de 1in de espesor	Acero 304	1
2	Estructura	Estructura de perfil cuadrado de 5 cm	Acero estructural A36	1

Tabla 3-4: Lista de despiece

### 3.4.2 Unidad de hormas

El sistema mecánico de hormas es el encargado de posicionar correctamente la horma al molde de la suela, dicho posicionamiento se debe hacer mediante la acción de un cilindro doble efecto, el cual debe mover un mecanismo de rotulas que permitirá dar movimiento lineal al carro porta hormas y a su vez posicionar el triángulo en el sistema de anillos. El sistema de hormas se sujeta a un soporte llamado “mesa central” con el objetivo de dar altura para el lograr el desplazamiento y giro manual del triángulo.

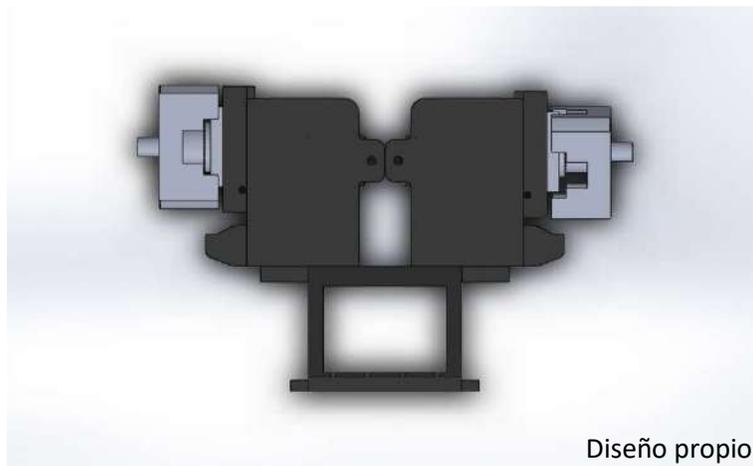


Figura 3-15: Diseño 3D de unidad de hormas.

#### 3.4.2.1 Despiece de unidad de hormas

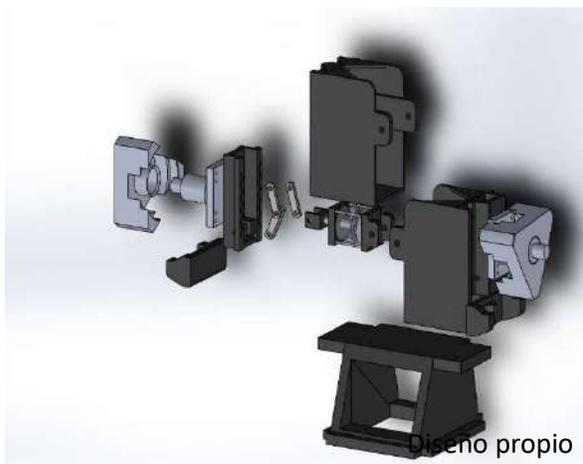


Figura 3-16: Vista explosionada de la unidad de hormas.

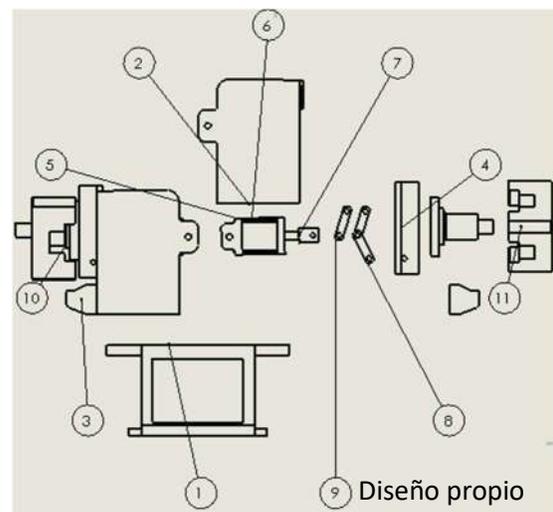


Figura 3-17: Despiece de la unidad de hormas

La Tabla 3-5 muestra la lista de las piezas que componen a la unidad de hormas, así como la descripción de cada pieza individualmente, el material del que están hechas y la cantidad que se ocupa en la unidad mecánica.

N.º De Elemento	Nombre de pieza	Descripción	Material	Cantidad
1	Mesa central	Soporte para unidad de hormas	Fundición gris	1
2	Soporte de hormas	Soporte para cilindro, carro porta hormas y triangulo	Fundición gris	2
3	Tope de triangulo	Pieza que sirve como límite para el triángulo de hormas	Fundición gris	2
4	Carro porta hormas	Pieza que permite el desplazamiento lineal	Fundición gris	2
5	Cilindro de hormas	Cilindro neumático doble efecto	Fundición gris, acero AISI 1045 estirado en frio	2
6	Vástago y embolo	Vástago y embolo del cilindro de hormas	Aluminio 1060	2
7	Cople C	Cople que permite la conexión entre el vástago y el carro porta hormas	Fundición gris	2
8	Rotula lateral	Rotulas laterales, mecanismo de rotulas	AISI 1045 acero estirado en frio	2
9	Rotula media	Rotula central, mecanismo de rotulas	AISI 1045 acero estirado en frio	4
10	Perno de giro	Perno que permite el giro del triángulo de hormas	AISI 1045 acero estirado en frio	2
11	Triángulo de hormas	Triangulo con 3 diferentes tallas de hormas	Aluminio 1060	2

Tabla 3-5: lista de despiece de unidad de hormas

### 3.4.2.2 Triángulo de hormas

Esta pieza tiene como función la rotación de 3 diferentes tallas de hormas. Es una pieza mecánica maquinada en aluminio AISI 1060 ya que se requiere que sea ligera y fácil de manipular

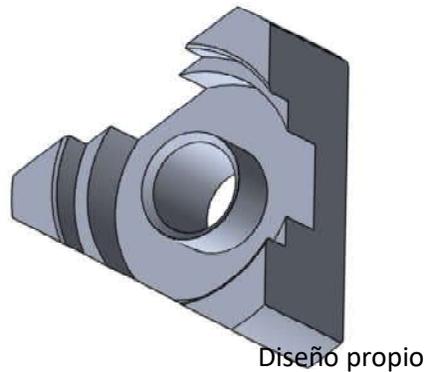


Figura 3-18: Triangulo de hormas.

### 3.4.3 Unidad de anillos

Existe una gran variedad de sistemas para moldes de creación de suelas, según la norma DIN E-16750, la clasificación de los moldes se muestra en la Tabla 3-6. [11]

No.	Tipo
1	Molde estándar (dos placas)
2	Molde de mordazas (anillos)
3	Molde por extracción por segmentos
4	Molde de tres placas
5	Molde de pisos
6	Molde de canal caliente

Tabla 3-6: Tipos de moldes

Por propuesta de la empresa el molde utilizado para la fabricación de suelas el de tipo de molde por mordazas ya que es un sistema simple, fácil de diseñar y sobre todo reduce el material usado en la fabricación del molde en comparación con los moldes estándar.

El sistema mecánico de anillos se compone de una pieza llamada “tortuga” la cual actúa como soporte y guía para la apertura y cierre de los anillos. El desplazamiento lineal que realizan

los anillos se hace mediante la acción de dos cilindros neumáticos y un mecanismo basado en rótulas.

En la Figura 3-19 se muestra el diseño de una estación de la unidad de anillos

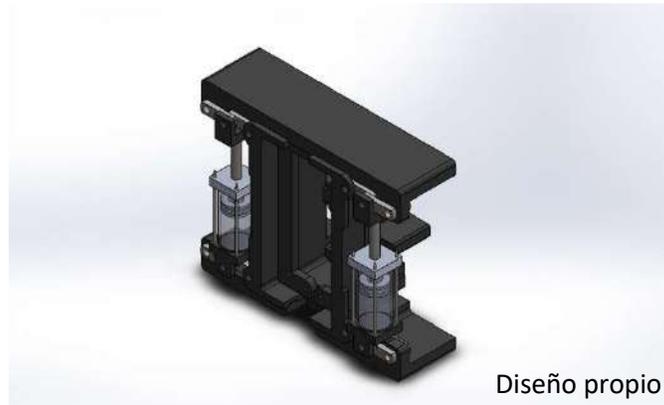


Figura 3-19: Diseño de la unidad de anillos.

### 3.4.3.1 Despiece de unidad de anillos

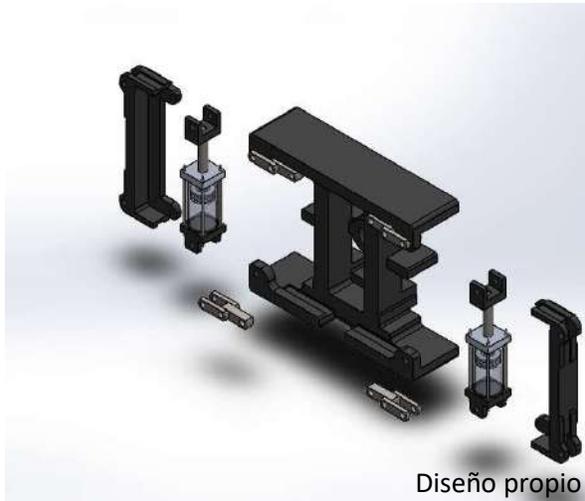


Figura 3-20: Vista explosionada de la unidad de anillos.

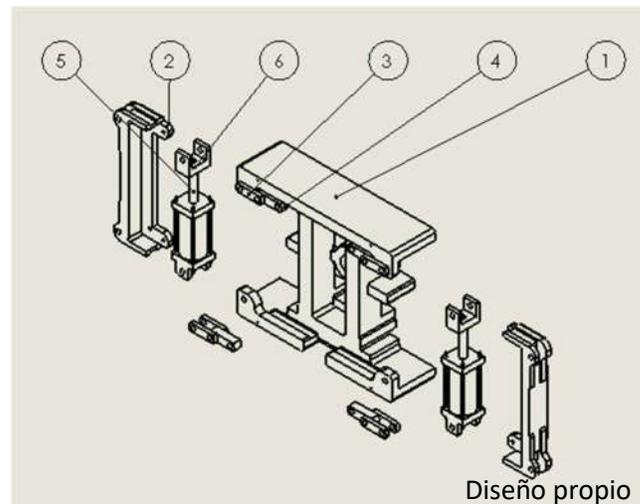


Figura 3-21: Despiece unidad de anillos.

La Tabla 3-7 muestra la lista de las piezas que componen a la unidad de anillos, así como la descripción de cada pieza individualmente, el material del que están hechas y la cantidad que se ocupa en la unidad mecánica.

N.º De Elemento	Nombre de pieza	Descripción	Material	Cantidad
1	Tortuga	Soporte de la unidad de anillos	Fundición gris	1
2	Anillos	Pieza móvil para la apertura y cierre del molde de suela	Fundición gris	2
3	Rotula lateral	Rotula de 0.5 in de espesor	AISI 1045 acero estirado en frio	8
4	Rotula central	Rotula de 1 in de espesor	AISI 1045 acero estirado en frio	4
5	Cilindro de anillos	Cilindro de anillos	Fundición gris, AISI 1045 acero estirado en frio	2
6	Embolo y vástago	Embolo y vástago del cilindro de anillos	Aluminio 1060	2

Tabla 3-7: Lista de despiece unidad de anillos

### 3.4.4 Molde de mordazas

Una vez definido los sistemas encargados de crear la suela y hacer la unión al corte del calzado, se procede al reconocimiento de molde y horma.

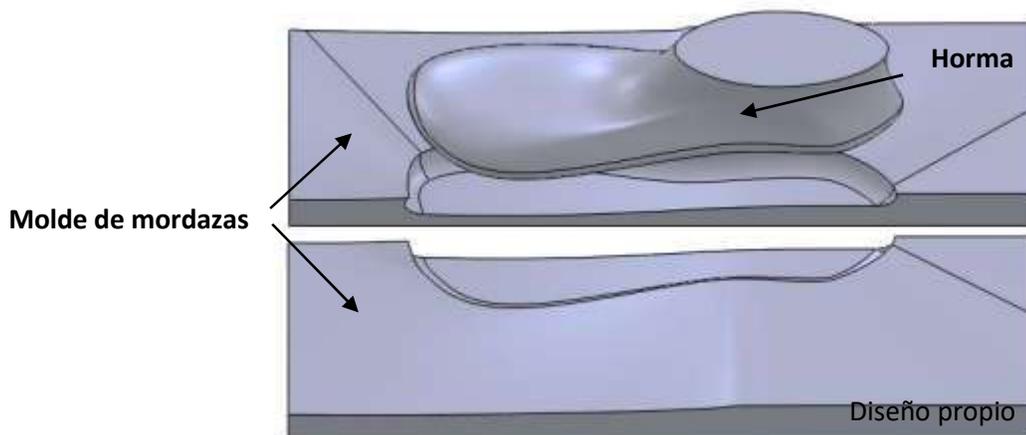


Figura 3-22: Molde de mordazas y horma

#### 3.4.4.1 Selección de material

La selección de material nos permite definir una buena calidad en la pieza teniendo como objetivo la máxima utilidad, por lo tanto, para conseguir nuestro objetivo propuesto se necesita definir las siguientes propiedades:

- Resistencia al desgaste: Hacer un molde es de un costo elevado por lo tanto se requiere diseñar un molde basado en un material que tenga buena resistencia al desgaste ya que deben soportar materiales altamente abrasivos y contacto constante con diferentes piezas mecánicas
- Resistencia a la corrosión: Es importante elegir un material resistente a la corrosión ya que los moldes sufren cambios drásticos constantes de temperatura
- Temperatura de fusión: Debe tener buena resistencia a temperaturas de fusión para no disminuir las propiedades físicas del molde porque estará en contacto constante a temperaturas de 160°C entonces se debe evitar la deformación del material del molde para mantener la calidad del producto
- Conductividad térmica: Debe tener una buena conductividad térmica porque requiere una velocidad alta de disipación de temperatura para tener buena velocidad de producción.
- Maquinabilidad: Debe ser un material que tenga una propiedad alta de maquinabilidad.
- Densidad: Para facilitar el trabajo del operador y no tener tiempos muertos, se debe elegir un material con baja densidad para que en el proceso de cambio de moldes sea rápido y sin complicaciones

Material	Resistencia al desgaste	Resistencia a la corrosión	Temperatura de fusión. °C	Conductividad térmica	Maquinabilidad	Densidad Kg/m <sup>3</sup>
<b>Acero AISI 4340</b>	Alta	Baja	1510	Media	Media	7850
<b>Acero inoxidable ASTM20</b>	Alta	Alta	1400	Media	Media	8000

<b>Acero AISI 4140</b>	Alta	Baja	1585	Media	Media	7850
<b>Cobre</b>	Baja	Alta	1085	Alta	Alta	8960
<b>Aluminio AW 7022</b>	Media	Alta	660	Alta	Alta	2700

Tabla 3-8: Propiedades de materiales para molde.

Identificando las distintas propiedades que tiene cada uno de los materiales y haciendo una comparación entre ellos, se elige el material *Aluminio AW 7022*. A pesar de que su resistencia al desgaste no es la mejor comparada a los otros materiales, en los otros aspectos como resistencia a la conductividad, conductividad térmica y maquinabilidad es de los mejores. Es el material con menor temperatura de fusión siendo de 660 °C, pero las temperaturas que debe resistir no son mayores a 200°C por lo que está dentro del límite establecido. Por último, se necesitaba un molde con material de baja densidad para su fácil manipulación y el aluminio es el que mejor cumple esa necesidad.

### 3.4.5 Unidad de punteras

En esta unidad se colocan brazos mecánicos horizontales en los laterales de la estructura, los cuales van sujetos a un soporte fijo en la máquina, el movimiento que realizan para el posicionamiento de la puntera es gracias a la acción de un cilindro de doble efecto, el cual al activarse permite que el brazo baje y posicione la puntera al corte del calzado.



Figura 3-23: Diseño de unidad de punteras.

### 3.4.5.1 Despiece de unidad de punteras



Figura 3-24: Vista explosionada de unidad de punteras.

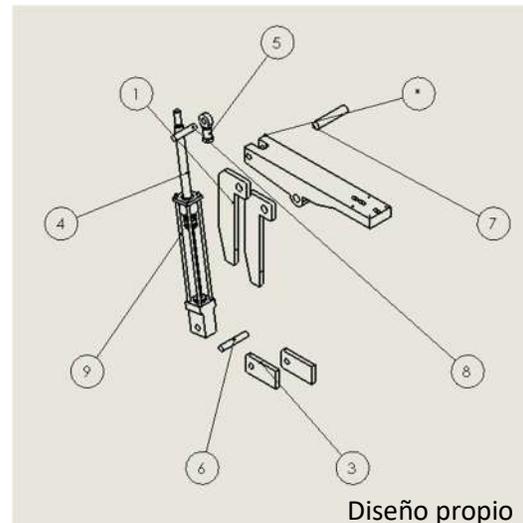


Figura 3-25: Despiece de la unidad de punteras

La Tabla 3-9 muestra la lista de las piezas que componen a la unidad de punteras, así como la descripción de cada pieza individualmente, el material del que están hechas y la cantidad que se ocupa en la unidad mecánica.

N.º De Elemento	Nombre de pieza	Descripción	Material	Cantidad
1	Guías de punteras	Soporte de brazos	Fundición gris	2

2	Brazo	Pieza mecánica para puntera	Fundición gris	1
3	Soporte	Soporte de cilindro	Fundición gris	2
4	Vástago y embolo	Vástago y embolo de cilindro de puteras	Aluminio 1060	1
5	Rotula redonda	Rotula omnidireccional	AISI 1045 Acero estirado en frio	1
6	Perno de cilindro	Eje acerado	AISI 1020 acero	1
7	Perno brazo	Eje acerado	AISI 1020 acero	1
8	Perno guías	Eje acerado	AISI 1020 acero	1
9	Cilindro de punteras	Cilindro de punteras	Fundición gris, AISI 1045 Acero estirado en frio	1

Tabla 3-9: Lista de despiece, unidad de punteras

### 3.5 Sistema de control

El circuito que se encargara de controlar la máquina, inicialmente fue propuesto por un técnico de la empresa GUMAR. En la Figura 3-26 se muestra el circuito eléctrico propuesto para el funcionamiento automático de una estación.

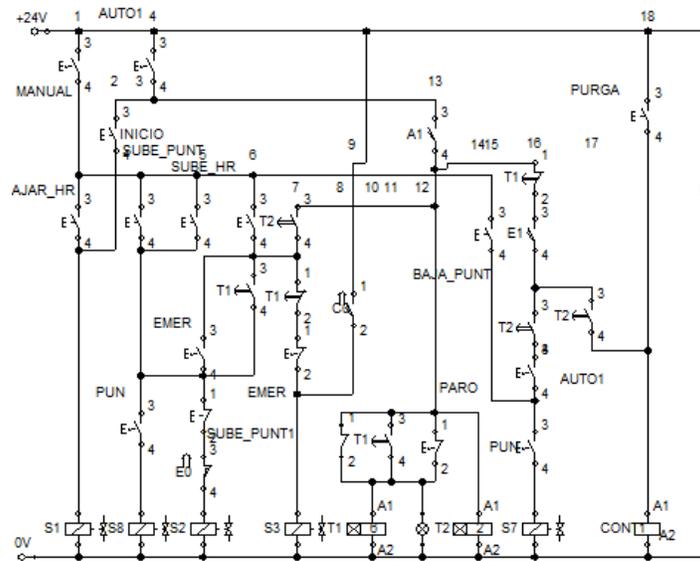


Figura 3-26: Propuesta de diagrama eléctrico para una estación.

El circuito de control propuesto realiza correctamente el funcionamiento automático de la máquina, pero está diseñado a base de lógica cableada por lo que carece de orden, además tiene un uso excesivo de componentes eléctricos dando como resultado que las dimensiones físicas del tablero sean grandes, también hace que las posibles modificaciones sean de gran dificultad.

Por lo tanto, esta propuesta de circuito eléctrico no cumple con las especificaciones dadas ya que no interviene una innovación y optimización del sistema eléctrico por lo que se procede a realizar una nueva propuesta aplicando ingeniería de sistemas de control.

### 3.5.1 Descripción del proceso

El primer paso es hacer una conceptualización visual del proceso completo que realizará la máquina. El control debe cumplir las siguientes condiciones, iniciando con la propuesta de la ecuación de secuencia lógica

$$A +/B +/C +/INY/A -/B -/C - \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

A: Representa el accionamiento del cilindro Hormas

B: Representa el accionamiento del cilindro de anillos

C: Representa el accionamiento del cilindro de punteras

INY: Representa la variable que activara la extrusión de material en el molde de suela.

La representación textual de la secuencia previamente definida es: El cilindro A se encarga de accionar el carro porta hormas para así bajar el triángulo y posicionar la horma, para que a continuación un cilindro B sea accionado dando como resultado el desplazamiento de los anillos, cerrando los moldes para que la horma quede sujeta y así un cilindro C puede ser accionado y hacer que el brazo posicione la puntera finalizando con el proceso de extrusión. Además, este proceso debe contener un TIMER que controlara el tiempo de inyección.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo del proceso completo que tendrá el rediseño y automatización.

## Proceso Máquina de Extrusión



### 3.5.2 Sistema eléctrico

Una vez mencionadas las condiciones y la conceptualización del funcionamiento se procede a realizar un diseño eléctrico para la instrumentación para la máquina, con el soporte de FluidSIM para el diseño y simulación del diagrama eléctrico.

El circuito se realiza por la metodología paso a paso para control de electroválvulas biestables.

En la Figura 3-27 se muestra el diagrama de control propuesto mediante secuencia paso a paso con lógica cableada

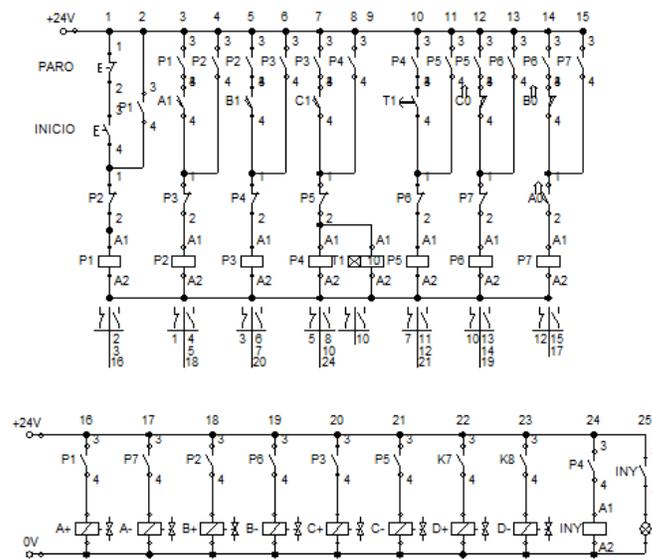


Figura 3-27: Propuesta de diagrama eléctrico para un control automático.

### 3.5.3 Sistema neumático

Para la implementación del sistema neumático se utilizan distintos dispositivos como son:

- Electroválvulas biestables 5/2
- Cilindros doble efecto
- Unidad de mantenimiento

En la Figura 3-28 se muestra el diagrama neumático teniendo en cuenta la siguiente nomenclatura:

- Cilindro A: Hormas
  - A0 y A1: Dispositivos eléctricos como finales de carrera
  - A+ y A-: Solenoides de las válvulas biestables
- Cilindro B: Anillos
  - B0 y B1: Dispositivos eléctricos como finales de carrera
  - B+ y B-: Solenoides de las válvulas biestables
- Cilindro C: Punteras
  - C0 y C1: Dispositivos eléctricos como finales de carrera
  - C+ y C-: Solenoides de las válvulas biestables

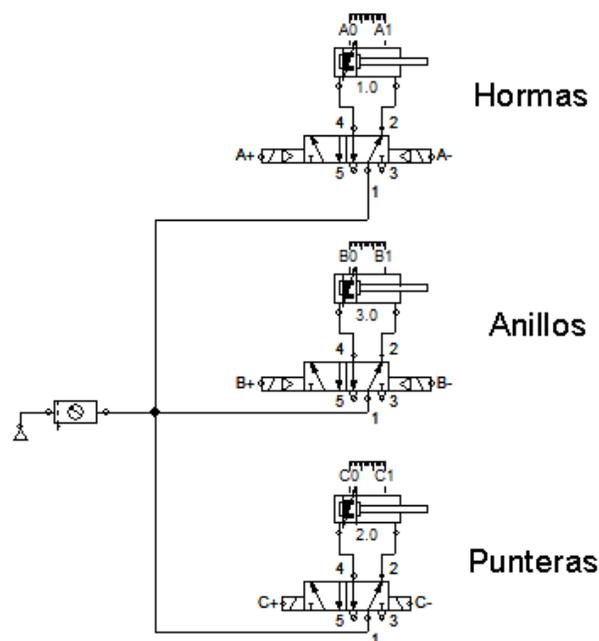


Figura 3-28: Diagrama Neumático.

### 3.6 Programación en PLC

El circuito eléctrico para el control de la máquina directa al corte previamente diseñado cumple correctamente el proceso, pero mantiene la lógica cableada por lo que no cumple con una optimización de sistema.

Por lo tanto, para lograr el objetivo propuesto se diseña un código de programación en Ladder mostrado de la Figura 3-31 a la Figura 3-44 donde con apoyo del software CODESYS se pondrá en marcha mediante la conexión al controlador CECC-LK de FESTO.

En la Figura 3-29 y Figura 3-30 se muestran las variables utilizadas en el código de programación

```

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 3-29: Variables globales.

```

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 3-30: Variables de uso general.

De la Figura 3-31 a la Figura 3-44 se muestra las distintas líneas del código de programación utilizado para realizar el proceso automático de la máquina directa al corte.

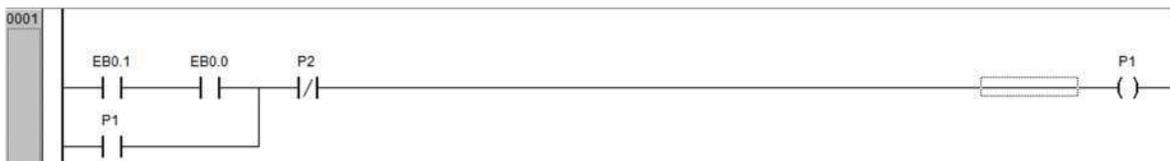


Figura 3-31: Código KOP, línea 1.

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

Tabla 3-10: Variables utilizadas, línea 1.

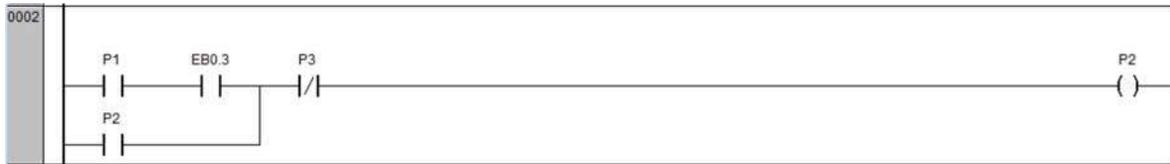


Figura 3-32: Código KOP, línea 2.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
<b>EB0.3</b>	A1	Micro Switch de salida, Hormas
<b>P3</b>	P3	Variable paso 3
<b>P1</b>	P1	Variable paso 1
<b>P2</b>	P2	Variable paso 2

Tabla 3-11: Variables utilizadas, línea 2.



Figura 3-33: Código KOP, línea 3.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
<b>EB0.5</b>	B1	Micro Switch de salida, anillos
<b>P3</b>	P3	Variable paso 3
<b>P1</b>	P1	Variable paso 1
<b>P4</b>	P4	Variable paso 4

Tabla 3-12: Variables utilizadas, línea 3.



Figura 3-34: Código KOP, línea 4.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN

<b>EB0.7</b>	C1	Micro Switch de salida, punteras
<b>P3</b>	P3	Variable paso 3
<b>P4</b>	P4	Variable paso 4
<b>P5</b>	P5	Variable paso 5

Tabla 3-13: Variables utilizadas, línea 4.

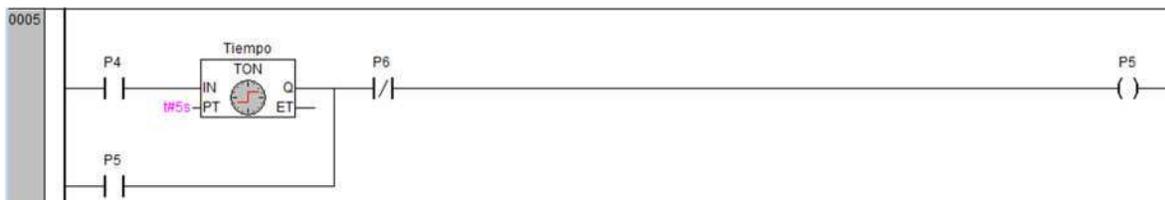


Figura 3-35: Código KOP, línea 5.

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

Tabla 3-14: Variables utilizadas, línea 5.



Figura 3-36: Código KOP, línea 6.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
<b>P5</b>	P5	Variable paso 5
<b>P6</b>	P6	Variable paso 6
<b>P7</b>	P7	Variable paso 7
<b>EB0.6</b>	C0	Micro Switch de entrada, punteras.

Tabla 3-15: Variables utilizadas, línea 6.



Figura 3-37: Código KOP, línea 7.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
<b>EB0.4</b>	B0	Micro Switch de entrada, anillos
<b>EB0.2</b>	A0	Micro Switch de entrada, hormas
<b>P6</b>	P6	Variable paso 6
<b>P7</b>	P7	Variable paso 7

Tabla 3-16: Variables utilizadas, línea 7.



Figura 3-38: Código KOP, línea 8.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
<b>P1</b>	P1	Variable paso 1
<b>AB0.0</b>	A+	Electroválvula de salida, hormas

Tabla 3-17: Variables utilizadas, línea 8.



Figura 3-39: Código KOP, línea 9.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
<b>P7</b>	P7	Variable paso 7
<b>AB0.1</b>	A-	Electroválvula de entrada, hormas

Tabla 3-18: Variables utilizadas, línea 9.



Figura 3-40: Código KOP, línea 10.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
<b>P2</b>	P2	Variable paso 2
<b>AB0.2</b>	B+	Electroválvula de salida, anillos

Tabla 3-19: Variables utilizadas, línea 10.



Figura 3-41: Código KOP, línea 11.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
<b>P6</b>	P6	Variable paso 6
<b>AB0.3</b>	B-	Electroválvula de entrada, anillos

Tabla 3-20: Variables utilizadas, línea 11.



Figura 3-42: Código KOP, línea 12.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
<b>P3</b>	P3	Variable paso 3
<b>AB0.4</b>	C+	Electroválvula de salida, punteras

Tabla 3-21: Variables utilizadas, línea 12.



Figura 3-43: Código KOP, línea 13.

Variables utilizadas		
----------------------	--	--

CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
<b>P5</b>	P5	Variable paso 5
<b>AB0.5</b>	C-	Electroválvula de entrada, punteras

Tabla 3-22: Variables utilizadas, línea 13.



Figura 3-44: Código KOP, línea 14.

Variables utilizadas		
CODESYS	FLUIDSIM	DESCRIPCIÓN
<b>P4</b>	P4	Variable paso 4
<b>AB0.6</b>	INY	Contactador para activación de extrusión

Tabla 3-23: Variables utilizadas, línea 14.

A continuación, en la Figura 3-45 se muestran las conexiones eléctricas (Botón de inicio, paro, interruptor límite de carrera cilindro A, B, C y electroválvulas) y conexiones neumáticas que se deben hacer hacia el PLC mediante la simulación en FluidSIM

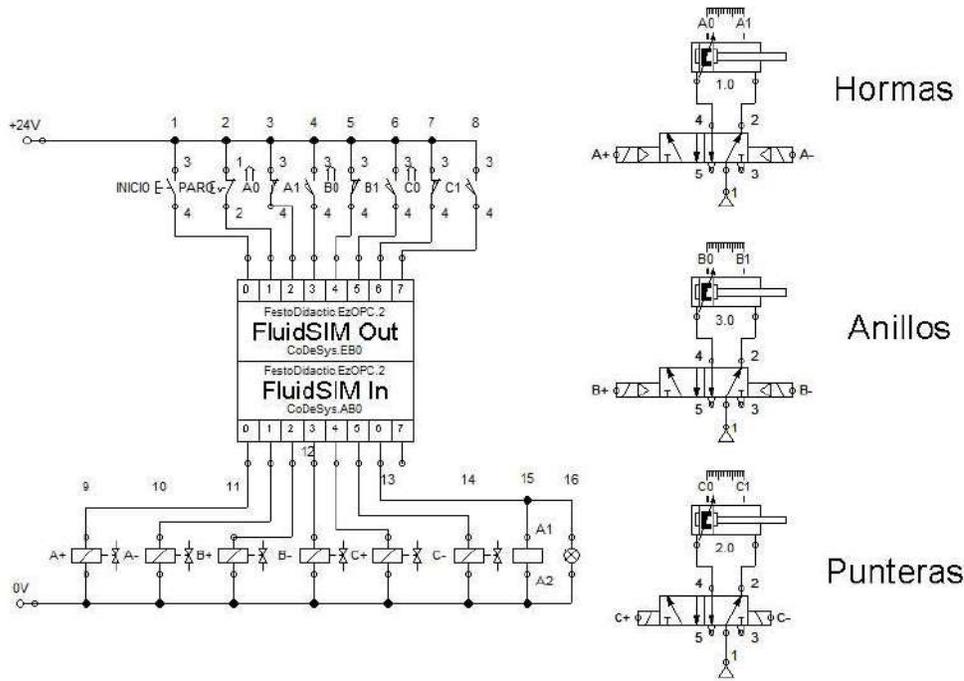


Figura 3-45: Conexión de dispositivos eléctricos y neumáticos al PLC.

### 3.7 Diseño de molde de mordazas

Como se diseñaron nuevos sistemas mecánicos, dando como resultado la sustitución del sistema estándar de molde por un sistema de molde por anillos o mordazas mediante el prensado de horma, se propuso un nuevo diseño de molde de suela en este caso de talla 25.

El diseño de la suela se hizo con MOLDFLOW de Autodesk basándose en la horma proporcionada por la empresa.

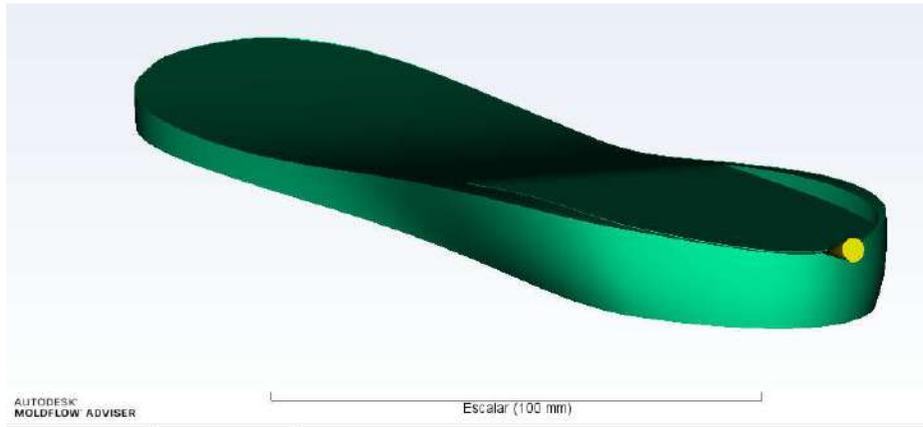
Para crear un diseño apropiado de la suela y su posterior simulación se deben definir distintos conceptos fundamentales como son el punto de inyección y el canal de entrada.

#### 3.7.1 Punto de inyección

Este punto nos indica la posición de la entrada del molde de suela para la inyección del material, para una inyección adecuada del molde, el punto de inyección debe tener una posición estratégica para que el llenado no tenga problemas y la calidad sea lo más cercano

al 100%. En los moldes de calzado la posición usual es en la parte posterior de la suela a su altura máxima.

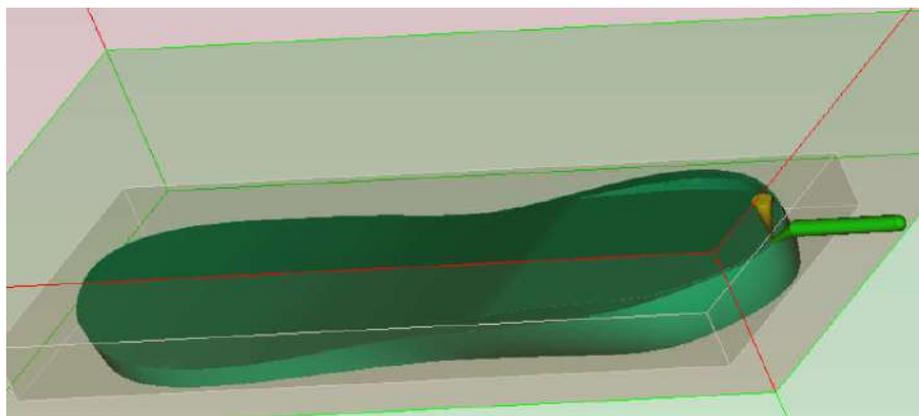
En la Figura 3-46 se muestra la ubicación del punto de inyección mostrado con un cono de color amarillo.



*Figura 3-46: Ubicación punto de inyección.*

### **3.7.2 Canal de inyección**

El canal de inyección es el lugar por donde el material fluye desde el bebedero del sistema extrusor hasta el punto de inyección, este canal va dentro del molde de aluminio y es de 4 mm de diámetro. En la Figura 3-47 se indica el canal de inyección mostrado de color verde.



*Figura 3-47: Canal de inyección.*

# Capítulo 4

## Resultados

En este capítulo se incluyen los resultados obtenidos mediante la validación de análisis estáticos de fuerzas aplicadas en la estructura. También se incluye la simulación del código de programación mostrando los resultados con una interconexión de CODESYS y FluidSIM

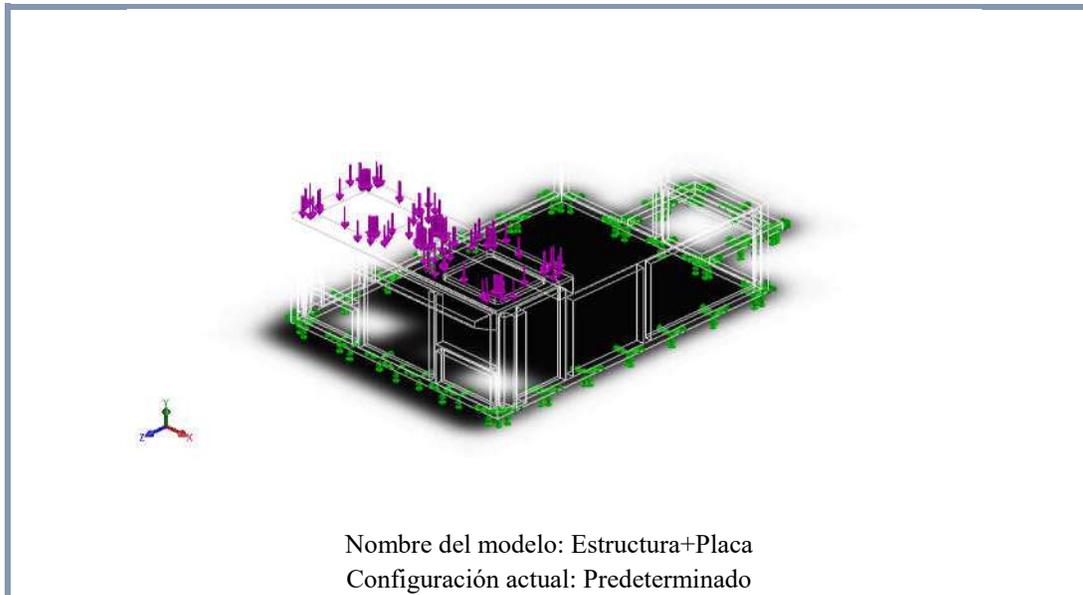
### 4.1 Análisis estáticos

La validación de las 3 diferentes unidades mecánicas que componen la máquina extrusora se realiza mediante el análisis estático en la estructura, aplicando fuerzas equivalentes a la masa de las distintas unidades (horma, anillo y puntera) mecánicas, en dos distintas zonas de la estructura (principal y secundaria).

#### 4.1.1 Análisis de esfuerzos: zona principal

La zona principal es la encargada de resistir la carga aplicada por los sistemas de hormas, anillos y punteras.

En la Tabla 4-1 se muestra la información con las propiedades físicas de la estructura mostrando datos como masa, volumen, densidad y peso de las dos piezas que componen a la estructura



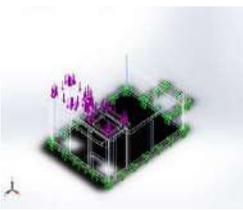
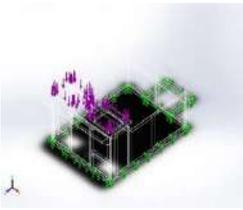
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Estructura PTR 	Sólido	Masa:1465.7 kg Volumen:0.186714 m <sup>3</sup> Densidad:7850 kg/m <sup>3</sup> Peso:14363.9 N	C:\Users\Javier\Desktop\SMN.V17 corte\Ensamble\Pieza 27.SLDPRT Apr 9 23:35:26 2019
Placa Base 	Sólido	Masa:105.849 kg Volumen:0.0132311 m <sup>3</sup> Densidad:8000 kg/m <sup>3</sup> Peso:1037.32 N	C:\Users\Javier\Desktop\SMN.V17 corte\SMN.V17\SMN .CORTES\SMN.Placa Base\buena.SLDPRT Apr 9 23:35:24 2019

Tabla 4-1: Información del diseño CAD.

En la Tabla 4-2 se muestran las propiedades físicas de los materiales usados en cada pieza.

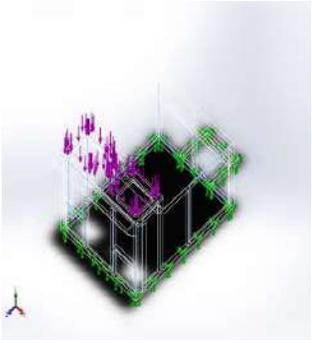
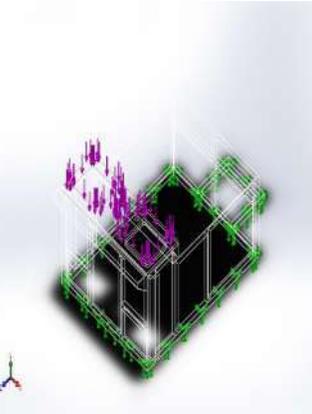
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: ASTM A36 Acero                      Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Límite elástico: 2.5e+08 N/m<sup>2</sup>                      Límite de tracción: 4e+08 N/m<sup>2</sup>                      Módulo elástico: 2e+11 N/m<sup>2</sup>                      Coeficiente de Poisson: 0.26                      Densidad: 7850 kg/m<sup>3</sup>                      Módulo cortante: 7.93e+10 N/m<sup>2</sup></p>	<p>Estructura PTR</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		
	<p>Nombre: AISI 304                      Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Límite elástico: 2.06807e+08 N/m<sup>2</sup>                      Límite de tracción: 5.17017e+08 N/m<sup>2</sup>                      Módulo elástico: 1.9e+11 N/m<sup>2</sup>                      Coeficiente de Poisson: 0.29                      Densidad: 8000 kg/m<sup>3</sup>                      Módulo cortante: 7.5e+10 N/m<sup>2</sup>                      Coeficiente de dilatación térmica: 1.8e-05 /Kelvin</p>	<p>Placa base de 1 pulgada de espesor</p>

Tabla 4-2: Propiedades físicas del material.

La Tabla 4-3 muestra el valor de la carga aplicada sobre la estructura, así como la ubicación de la misma representada con flechas azules. La fuerza aplicada es con distribución uniforme teniendo como valor 5226.22 N.

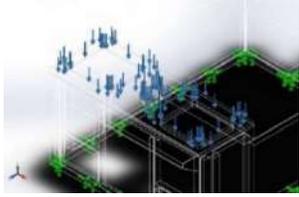
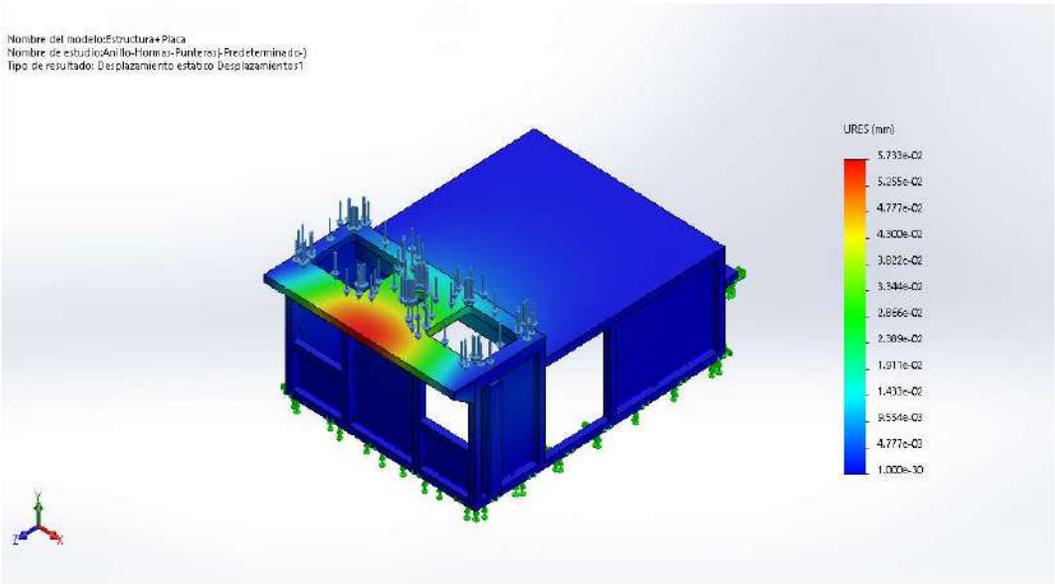
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: <b>1 cara(s)</b> Tipo: <b>Aplicar fuerza normal</b> Valor: <b>5226.22 N</b>

Tabla 4-3: Carga y sujeciones.

En la Tabla 4-4 se muestran los resultados del trazado de desplazamiento. Se observa que el mayor desplazamiento es de 0.05733 milímetros y este se encuentra en el nodo 2969 mostrado de color rojo. Aun con esa zona roja el análisis de desplazamiento es satisfactorio ya que el valor es pequeño

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00 mm Nodo: 7	5.733e-02 mm Nodo: 2959

Nombre del modelo: Estructura+Placa  
Nombre de estudio: Anillo-Hormas-Punteras-Predefinido-1  
Tipo de resultado: Desplazamiento estacionario Desplazamientos1



Estructura+Placa-Anillo-Hormas-Punteras-Desplazamientos-Desplazamientos1

Tabla 4-4: Desplazamiento.

El factor de seguridad es una de las características más importantes a tener en cuenta durante el diseño de una pieza, componente o estructura. La importancia del FOS en los diseños resulta obvia. Una falla en una estructura puede costar enormes pérdidas. Para validar el diseño, el factor de seguridad debe ser igual o mayor a 1.

El resultado obtenido mediante el análisis en SolidWorks da un valor mínimo de 49.18, el resultado es mayor a 1 por lo que la validación del diseño es aprobada.

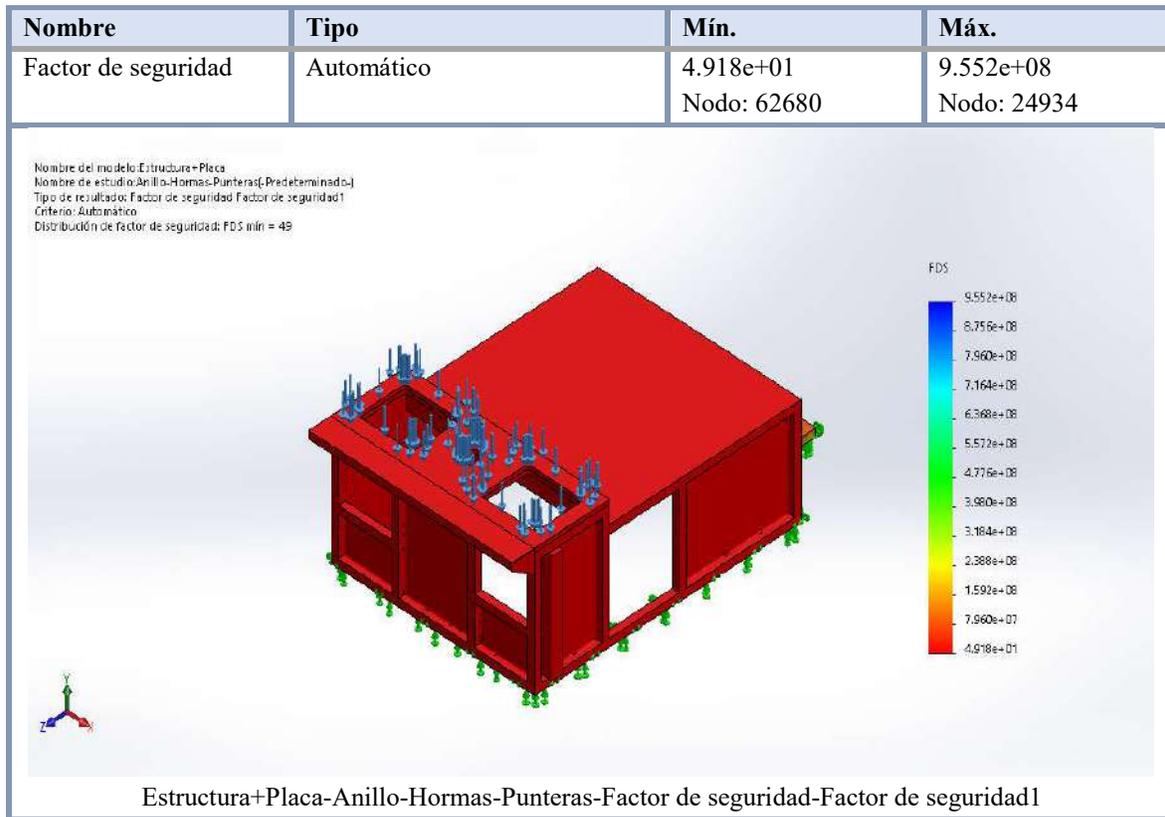


Tabla 4-5: Análisis de factor de seguridad zona principal.

### 4.1.2 Análisis de esfuerzos: zona secundaria

La zona secundaria es la encargada de resistir la carga aplicada por los sistemas de extrusión.

La Tabla 4-6 muestra el valor de la carga aplicada sobre la estructura en su zona secundaria, así como la localización de la misma representada con flechas azules. La fuerza aplicada es con distribución uniforme teniendo como valor 4173.18 N.

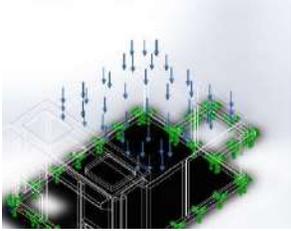
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
<b>Fuerza-1</b>		Entidades: <b>1 cara(s)</b> Tipo: <b>Aplicar fuerza normal</b> Valor: <b>4173.18 N</b>

Tabla 4-6: Carga y sujeciones, zona secundaria.

En la Tabla 4-7 se muestran los resultados del trazado de desplazamiento de la zona secundaria. Se observa que el mayor desplazamiento es de 0.01342 milímetros y este se encuentra en el nodo 61182 mostrado de color rojo. Aun con esa zona roja el análisis de desplazamiento es satisfactorio ya que el valor es pequeño.

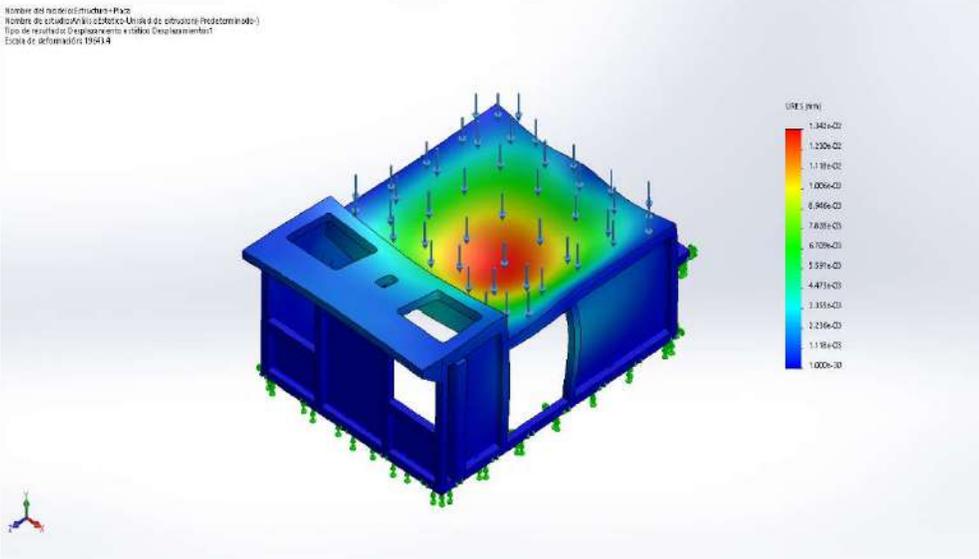
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00 mm Nodo: 7	1.342e-02 mm Nodo: 61182
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 8px; margin-right: 10px;"> <p>Nombre del modelo: Estructura+Placa</p> <p>Nombre de estudio: Análisis estático (Unidad de extrusión-Desplazamientos)</p> <p>Tipo de resultado: Desplazamientos e índices Desplazamientos1</p> <p>Escala de deformación: 1000.0</p> </div> <div style="flex-grow: 1;">  </div> <div style="font-size: 8px; margin-left: 10px;"> <p>URES (mm)</p> <p>1.342e+02</p> <p>1.232e+02</p> <p>1.118e+02</p> <p>1.006e+02</p> <p>8.946e+01</p> <p>7.831e+01</p> <p>6.709e+01</p> <p>5.591e+01</p> <p>4.471e+01</p> <p>3.351e+01</p> <p>2.236e+01</p> <p>1.118e+01</p> <p>0.000e+00</p> </div> </div> <p data-bbox="321 1780 1300 1808">Estructura+Placa-AnálisisEstatico-Unidad de extrusion-Desplazamientos-Desplazamientos1</p>			

Tabla 4-7: Desplazamiento en milímetros.

El resultado obtenido del factor de seguridad es de 179 como valor mínimo y este cumple con la condición de ser igual o mayor a uno por lo tanto el diseño es aprobado.

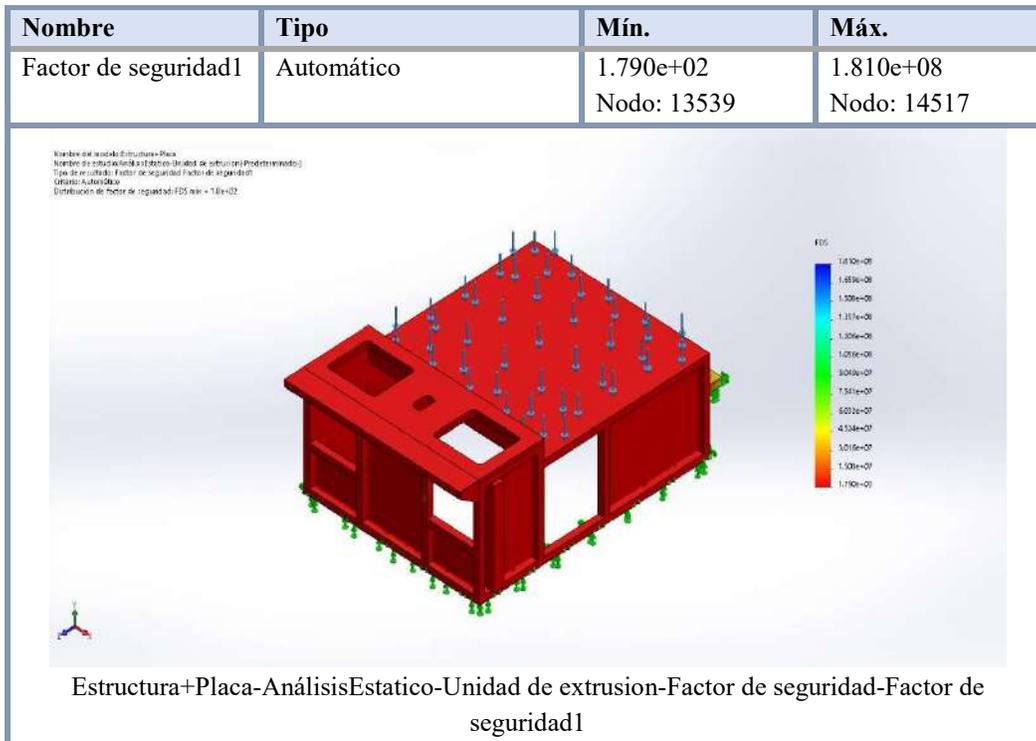


Tabla 4-8: Factor de seguridad, zona secundaria.

## 4.2 Simulación en software validando el funcionamiento de la programación

En este primer segmento la máquina se encuentra sin horma, con el sistema arriba, los anillos abiertos y el brazo de puntera desfasado. Antes de iniciar el proceso se debe verificar que se ha colocado el corte del calzado en la norma. En la Figura 4-1 se muestra el estado inicial y de reposo de la máquina.

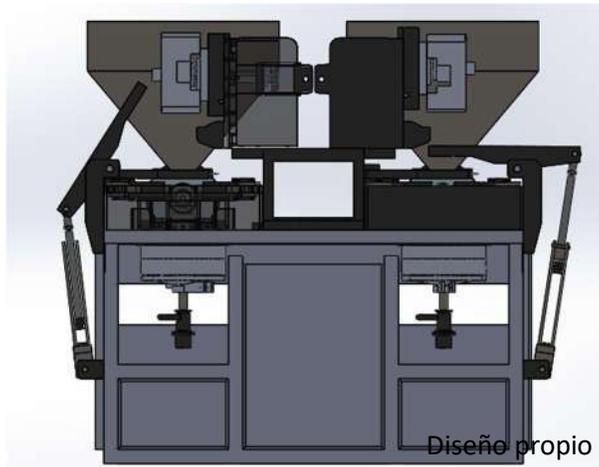


Figura 4-1: Estado inicial.

El código de programación inicia con los 3 cilindros de control de cada uno de las unidades en estado normalmente cerrado o también llamado en programación estado FALSE. Lo que implica que 3 de sus entradas estén activadas o en estado TRUE por la retracción de los cilindros. En la imagen 53 se muestra el estado inicial antes de ser iniciado el proceso

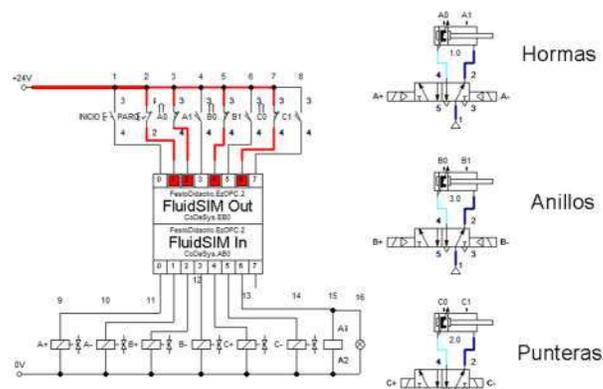


Figura 4-2: Estado inicial de funcionamiento.

Para iniciar el proceso automático se debe accionar el botón pulsador de Inicio representado con la variable EB0.0 como se muestra en la Figura 4-3.

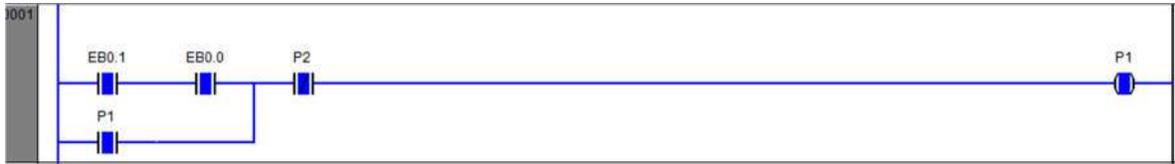


Figura 4-3: Simulación CODESYS línea 1.

En la Figura 4-4 se puede observar el circuito de PLC en FluidSIM donde se acciona el botón pulsador INICIO activando la entrada 0 (EB0.0)

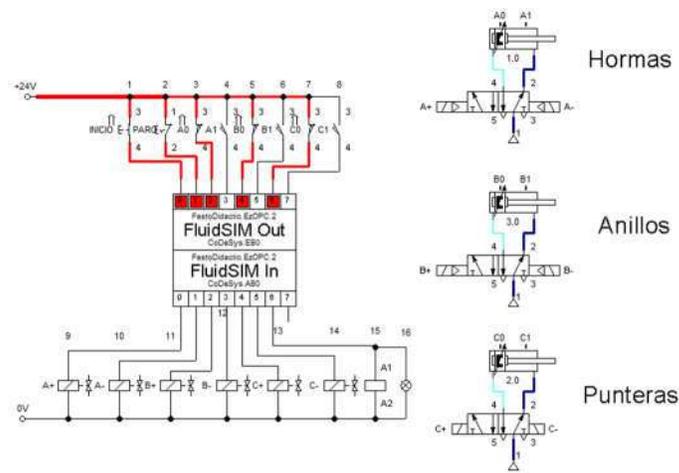


Figura 4-4: Simulación FluidSIM, inicio.

Una vez accionado el botón de inicio, el proceso automático de la máquina comienza con la activación del cilindro de hormas para bajar el triángulo como se muestra en la Figura 4-5.

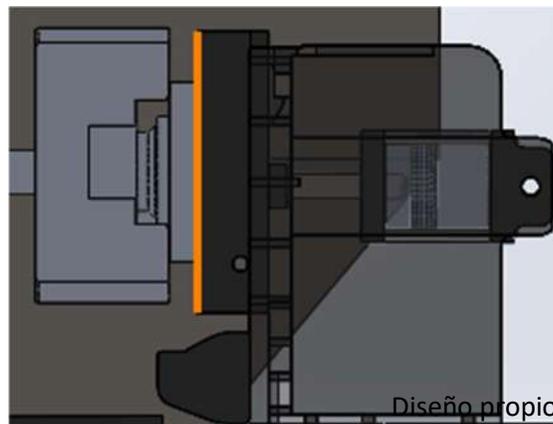


Figura 4-5: Cilindro de hormas accionado.

Este es el primer paso de la secuencia lógica previamente definida en donde para accionar el cilindro de hormas se debe poner en estado TRUE la salida AB0.0 dando como consecuencia la activación de la electroválvula A+



Figura 4-6: Simulación CODEYS, línea 8.

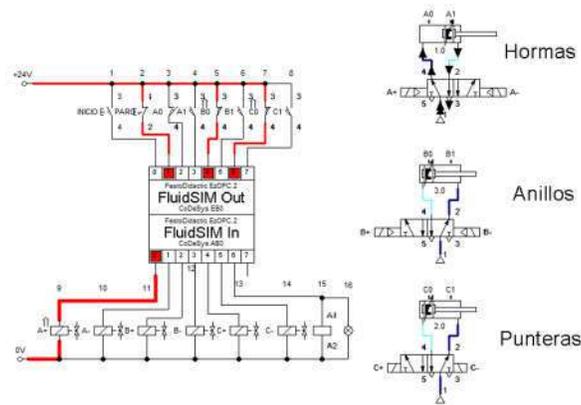


Figura 4-7: Simulación FluidSIM, A+.

El segundo paso de la secuencia corresponde a la activación del cilindro para el cierre de los anillos como se muestra en la Figura 4-8.

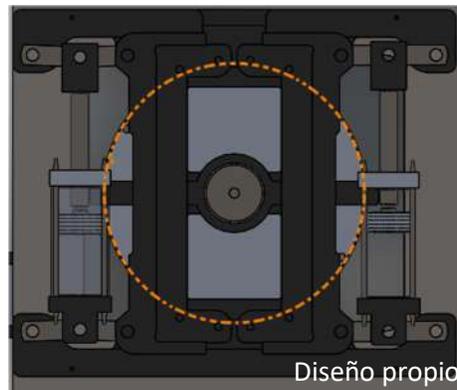


Figura 4-8: Cierre de anillos.

El segundo paso de la secuencia lógica es el encargado de accionar el cilindro de anillos poniendo en estado TRUE la salida AB0.2 dando como consecuencia la activación de la electroválvula B+.



Figura 4-9: Simulación CODESYS, línea 10.

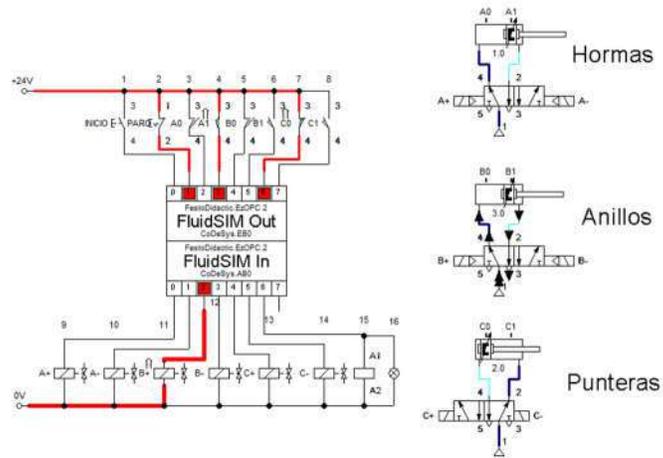


Figura 4-10: Simulación FluidSIM, B+.

El tercer paso de la secuencia corresponde a la activación del cilindro para el posicionamiento de las punteras como se muestra en la Figura 4-11.

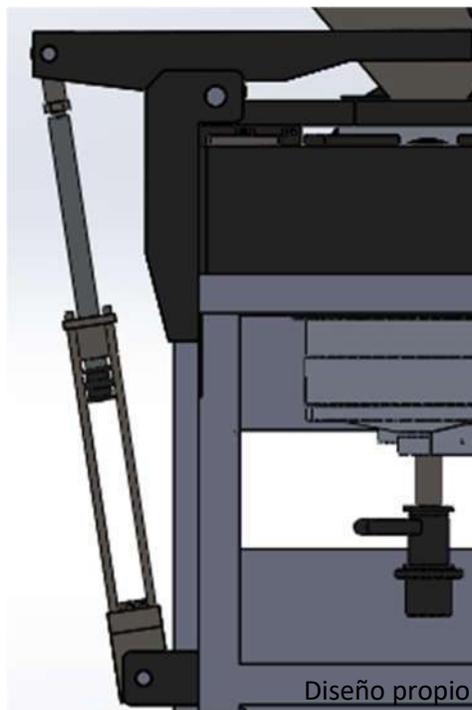


Figura 4-11: Colocación de punteras.

El tercer paso de la secuencia lógica es el encargado de accionar el cilindro para el posicionamiento de las punteras mediante la activación de la salida AB0.4 dando como consecuencia la activación de la electroválvula C+



Figura 4-12: Simulación CODESYS, línea 10.

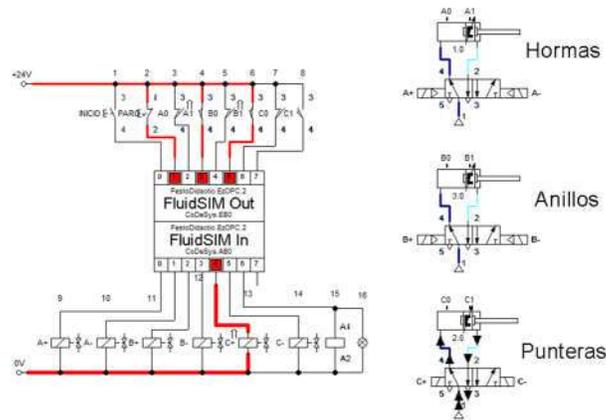


Figura 4-13: Simulación FluidSIM, C+.

El cuarto paso de la secuencia es el encargado de activar el contactor para la extrusión del material al molde de suelas, la activación se hace mediante el estado lógico TRUE de la salida AB0.6.



Figura 4-14: Simulación CODESYS, línea 14.

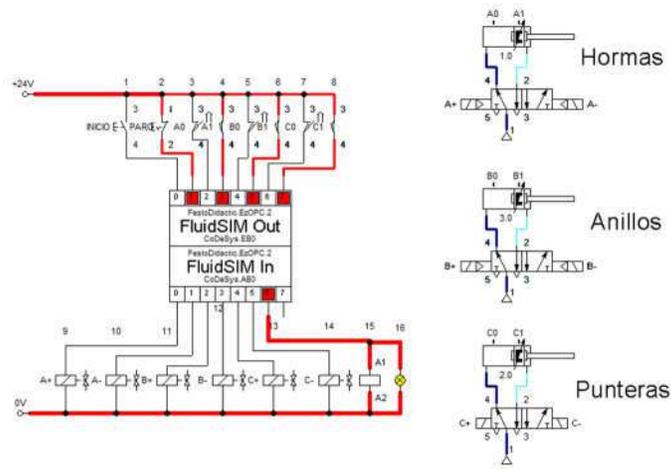


Figura 4-15: Simulación FluidSIM, inyección.

Durante el proceso de extrusión hay un TIMER con configuración de 15 segundos, este TIMER es el que da el tiempo de duración de la extrusión de material. Una vez terminado ese tiempo, el paso 5 continua.

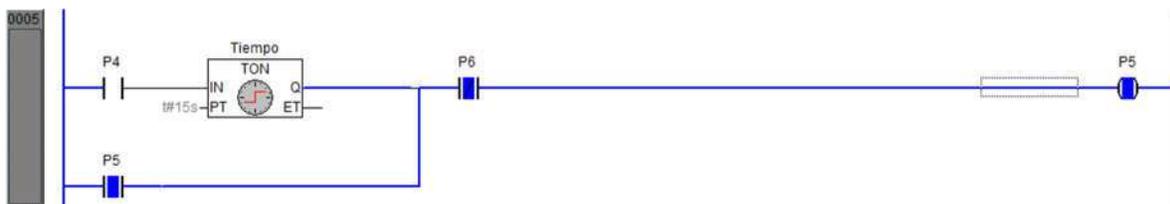


Figura 4-16: Simulación CODESYS, TIMER 15 seg.

Al terminar el tiempo de extrusión, empieza el paso 5,6 y 7 encargados de la desactivación de los cilindros de hormas, anillos y punteras.

El paso 5 es el encargado de desactivar el cilindro de punteras, levantando el brazo como se muestra en la Figura 4-17.

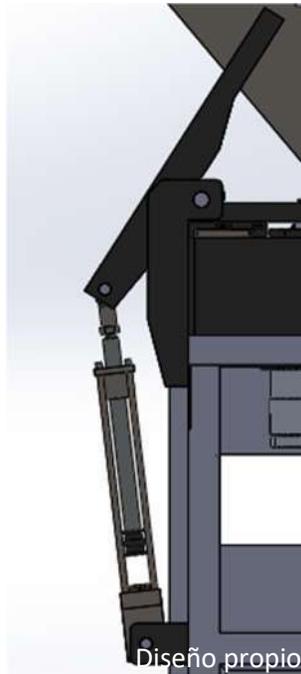


Figura 4-17: Brazo de punteras desactivado.

Para desactivar el cilindro de punteras se debe activar la salida AB0.5 encargada de accionar la electroválvula C-



Figura 4-18: Simulación CODESYS, línea 13.

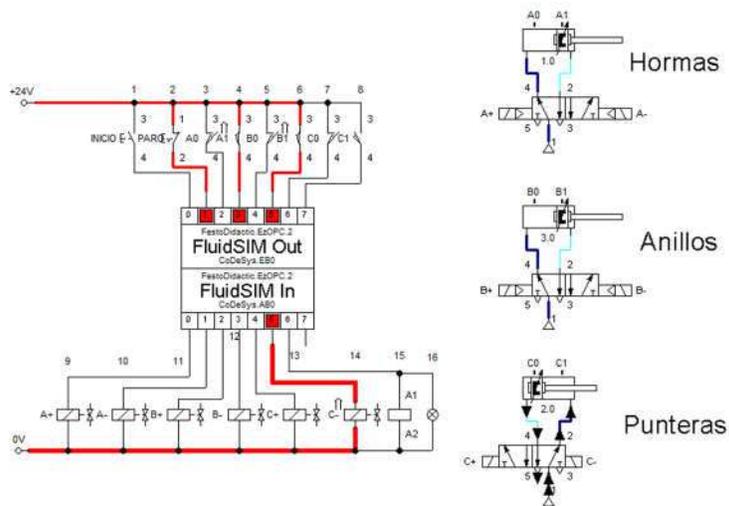


Figura 4-19: Simulación FluidSIM, C-.

El paso 6 es el encargado de desactivar el cilindro de anillos, abriendo las mordazas como se muestra en la Figura 4-20.

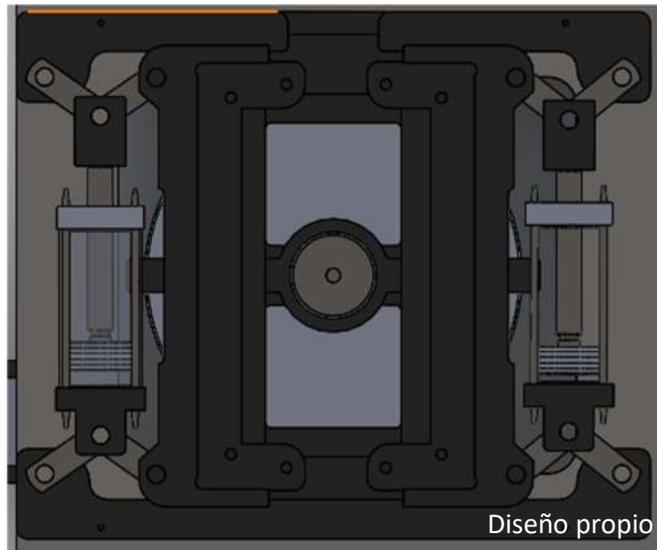


Figura 4-20: Mordazas abiertas.

Para desactivar el cilindro de anillos se debe activar la salida AB0.3 encargada de accionar la electroválvula B-



Figura 4-21: Simulación CODESYS, paso 6.

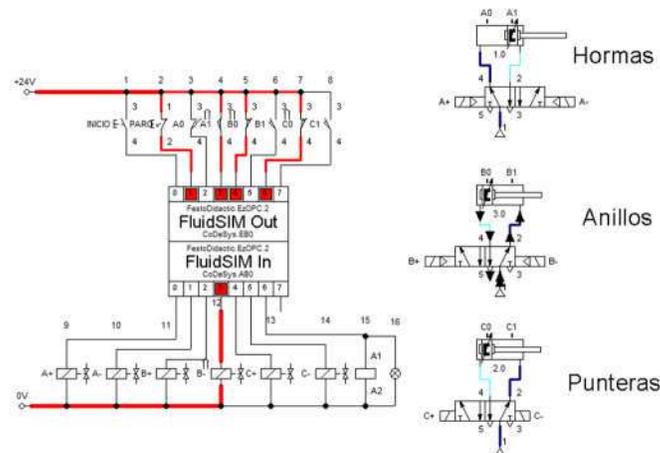


Figura 4-22: Simulación FluidSIM, B-.

El paso 7 es el encargado de desactivar el cilindro de Hormas, desplazando el carro porta hormas junto con el triángulo hacia arriba como se muestra en la Figura 4-23.

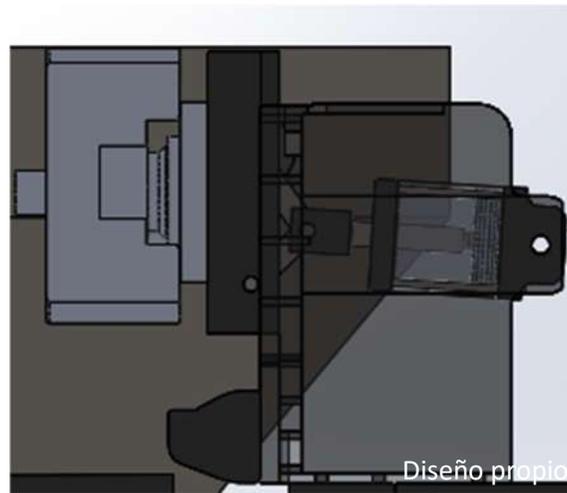


Figura 4-23: Hormas arriba.

Para desactivar el cilindro de hormas se debe activar la salida AB0.1 encargada de accionar la electroválvula A-



Figura 4-24: Simulación CODESYS, paso 7.

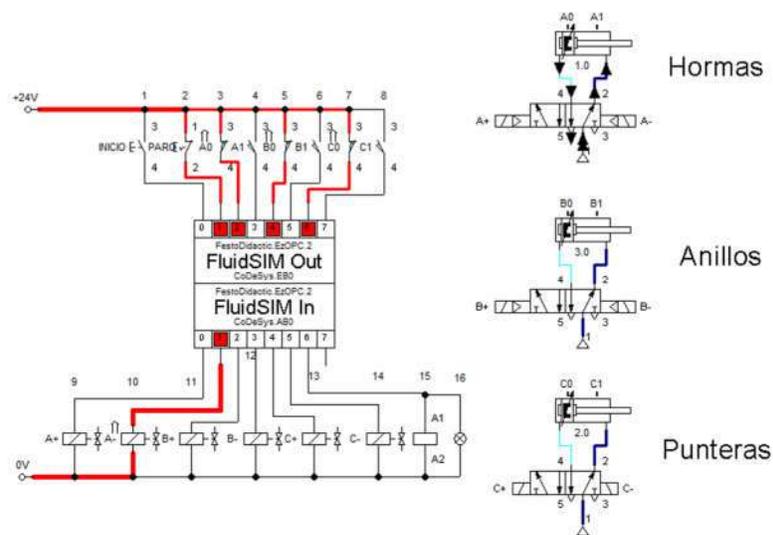


Figura 4-25: Simulación FluidSIM, A-.

### 4.3 Simulación de molde de suela

En el capítulo 3 se indicó el nuevo diseño de molde de suela a implementar en el nuevo sistema de máquina extrusora, también se mostró el punto y canal de inyección del mismo. Todo esto con la finalidad de validar el nuevo diseño del molde y mostrar resultados que aporten a la optimización del sistema.

La simulación se realizó con los siguientes parámetros:

- Material usado: PVC
- Temperatura de fundición para el PVC: 160°C
- Temperatura ambiente: 25°C
- Un punto de inyección.

Los resultados son los siguientes:

Para alcanzar el llenado total del molde se necesita un tiempo de inyección de 9.208 como se muestra en la Figura 4-26.

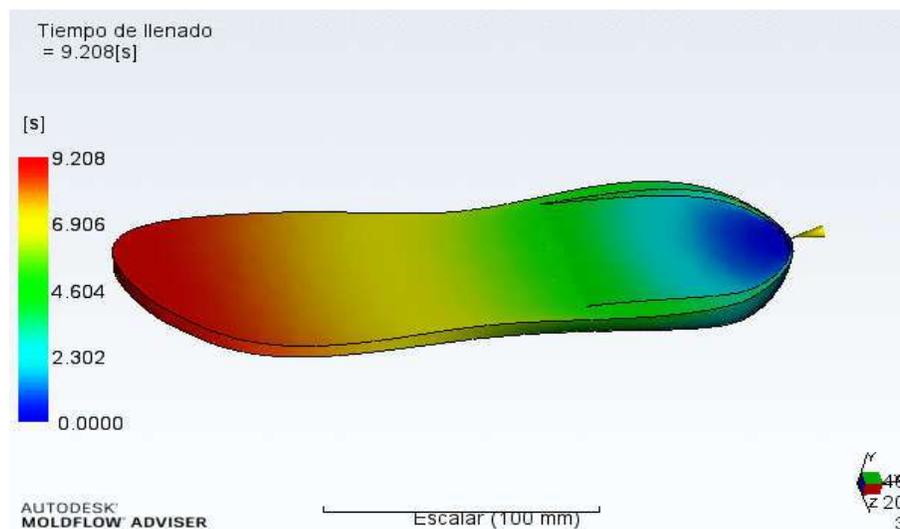


Figura 4-26: Tiempo de llenado.

En la Figura 4-27 se muestra la confianza de llenado mostrado en porcentaje y en la Figura 4-28 se muestra la calidad del molde, con esto validamos el diseño ya que los parámetros propuestos del canal y punto de inyección fueron los correctos dando como resultado un 99.7% de confianza de llenado, aunque en el punto de entrada de inyección tiene una zona roja con valor de 3.15% de calidad y la calidad del molde en general no es la más alta, el diseño es aceptado ya que aun sin tener la mejor calidad esta es cercana a ella con un valor de 96.9%

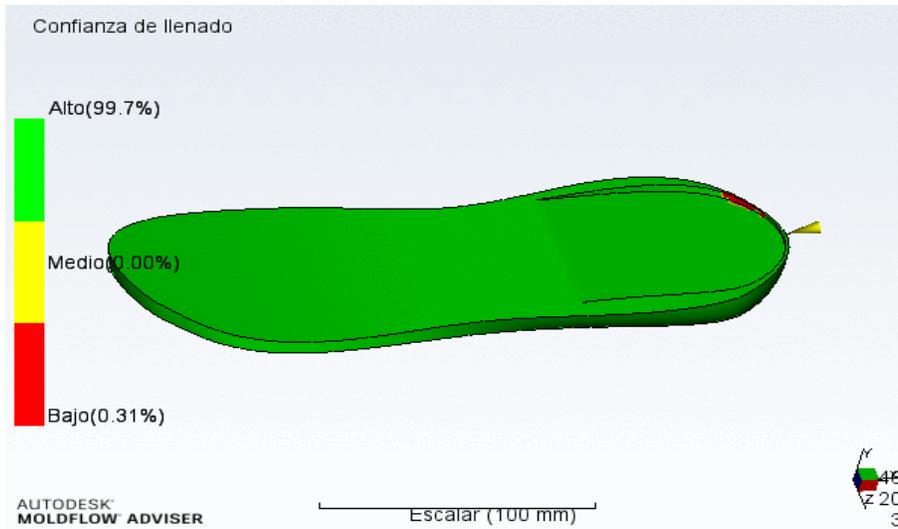


Figura 4-27: Confianza de llenado

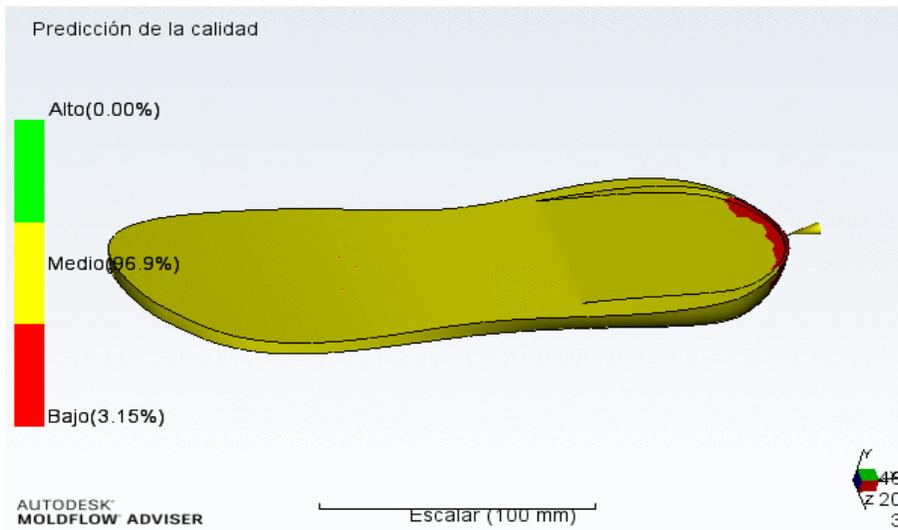


Figura 4-28: Predicción de la calidad.

En la Figura 4-29 se muestra la presión que necesita tener el extrusor para tener un llenado correcto y de calidad dando como resultado 34.62 MPa

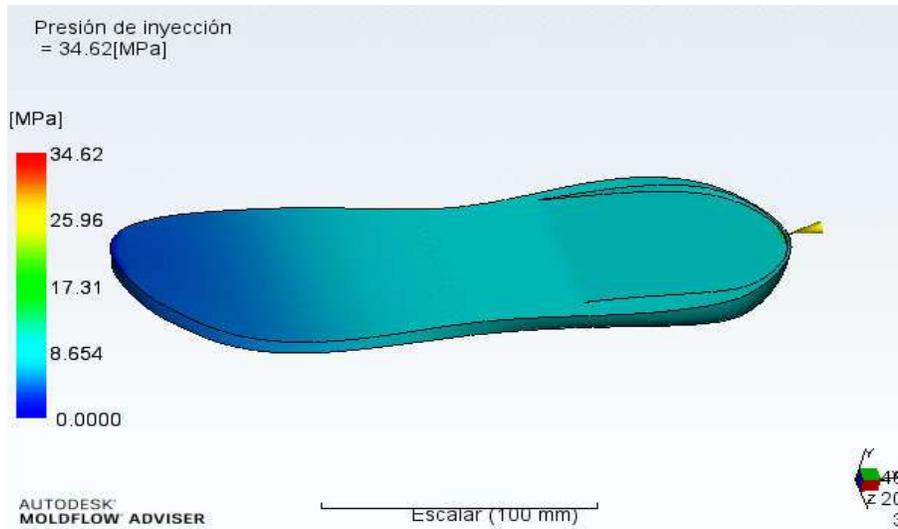


Figura 4-29: Presión de inyección.

Para realizar el análisis y simulación de la suela, se definió como condición inicial una temperatura de 160°C para la fundición del material PVC, pero a través del análisis y ajuste de parámetros que realizó el software dio como resultado un valor de 164.4°C para una correcta plastificación del PVC, entonces esa es la temperatura a la que se configura el extrusor.

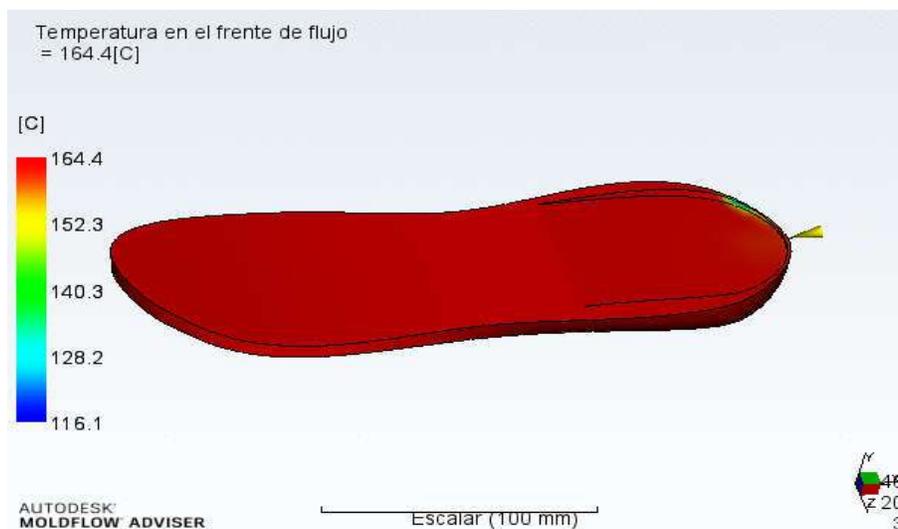


Figura 4-30: Temperatura necesaria para plastificación del PVC.

## 4.4 Comparación entre el estado actual y rediseño

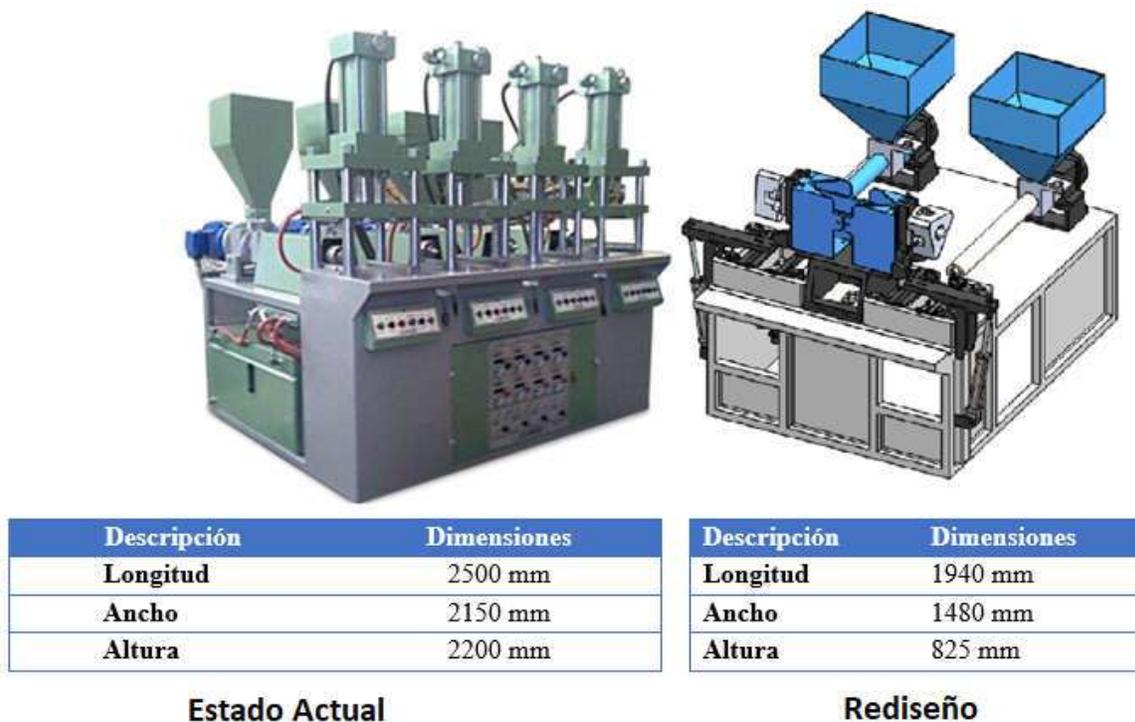


Figura 4-31: Resultado final.

En la Figura 4-31 se muestra la comparación entre la máquina SMN.V19 y el rediseño final. Se puede observar que tuvo cambios considerables en su estructura desde la implementación de nuevos sistemas y/o aditamentos, las dimensiones físicas, hasta el número y tipo de procesos que realiza cada una.

Anteriormente la máquina se basaba en tener como único proceso la creación de suelas y actualmente puede hacer hasta 3 procesos (suela, puntera y unión directa al corte) lo que implica un ahorro de tiempo a pesar de su reducción a 2 estaciones, aunque esto también implica un ahorro en mano de obra ya que solo se necesita un operador para la manipulación.

Además, la máquina SMN.V19 utilizaba moldes estándar que necesitaban 15 segundos para su completo llenado y en el rediseño del molde que lleva el sistema de anillos se necesita un tiempo de 9.208 segundos lo cual es una considerable optimización y por ende un ahorro de tiempo.

# Conclusión

La realización del proyecto significó un gran cambio en el desarrollo personal del ámbito industrial, ya que a través del esfuerzo se logró cumplir los objetivos planteados en este proyecto, llevando a la validación los diferentes sistemas mecánicos propuestos.

EL objetivo principal de implementar nuevos sistemas mecánicos para el aumento del proceso de creación de calzado fue concluido satisfactoriamente ya que de tener una máquina que solo producía suela a realizar una máquina que produce suela, coloca puntera y une los procesos anteriores directo al corte fue sin duda un gran logro, porque con los conocimientos obtenidos durante la estancia universitaria se consiguió la correcta innovación y optimización de máquinas de calzado, dando como resultado una máquina capaz de competir en el mercado.

Además, se concluyó satisfactoriamente el diseño de un nuevo circuito eléctrico de control con el cual se redujo considerablemente el uso de dispositivos eléctricos y se mejoró el control automático dando como resultado el ahorro de tiempo y el aumento de producción ya que el sistema minimizó la intervención humana. También se facilitó la construcción del tablero eléctrico de control ya que al utilizar un PLC solo se necesita programar el controlador y esto implica un enorme ahorro de tiempo ya que se necesita hasta 10 minutos como máximo, en contraste al sistema de lógica cableada que llevaba hasta 48 horas para terminar el cableado de los dispositivos eléctricos

# Bibliografía

- [1] «Contacto PYME,» [En línea]. Available: [http://www.contactopyme.gob.mx/estudios/docs/calzado\\_edomex.PDF](http://www.contactopyme.gob.mx/estudios/docs/calzado_edomex.PDF).
- [2] «Gobierno de México,» [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/se/articulos/la-industria-del-calzado-en-mexico>.
- [3] M. M. E., Introducción a la ciencia y tecnología de los plásticos, México: Trillas, 2010.
- [4] H. F. Giles, Extrusión. The definitive processing guide and handbook, New York: William Andrew, 2005.
- [5] X. Nava, «Aluminio 1060,» 2016.
- [6] P. Hernández, «Acero Estructural A36,» 2017.
- [7] FESTO, Unidades de Control CECC.
- [8] G. CODESYS, «3S-Smart Software Solutions GmbH,» 2019. [En línea]. Available: [www.codesys.com](http://www.codesys.com).
- [9] FESTO, «FluidSIM,» Festo Didactic, 2019. [En línea]. Available: <https://www.festo-didactic.com/es-es/productos/software-e-learning/fluidsim/fluidsim-5.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4LjU5MS43OTc1>.
- [10] D. Systemes, «SolidWorks,» [En línea]. Available: [www.solidworks.com/es](http://www.solidworks.com/es).
- [11] «Normas DIN,» [En línea]. Available: <https://sistemas.com/normas-din.php>.

# Glosario

PVC: Policloruro de Vinilo.

PLC: Controlador Lógico Programable.

CAD: Diseño Asistido por Computadora

CAE: Ingeniería Asistida por Computadora

FOS: Factor de seguridad

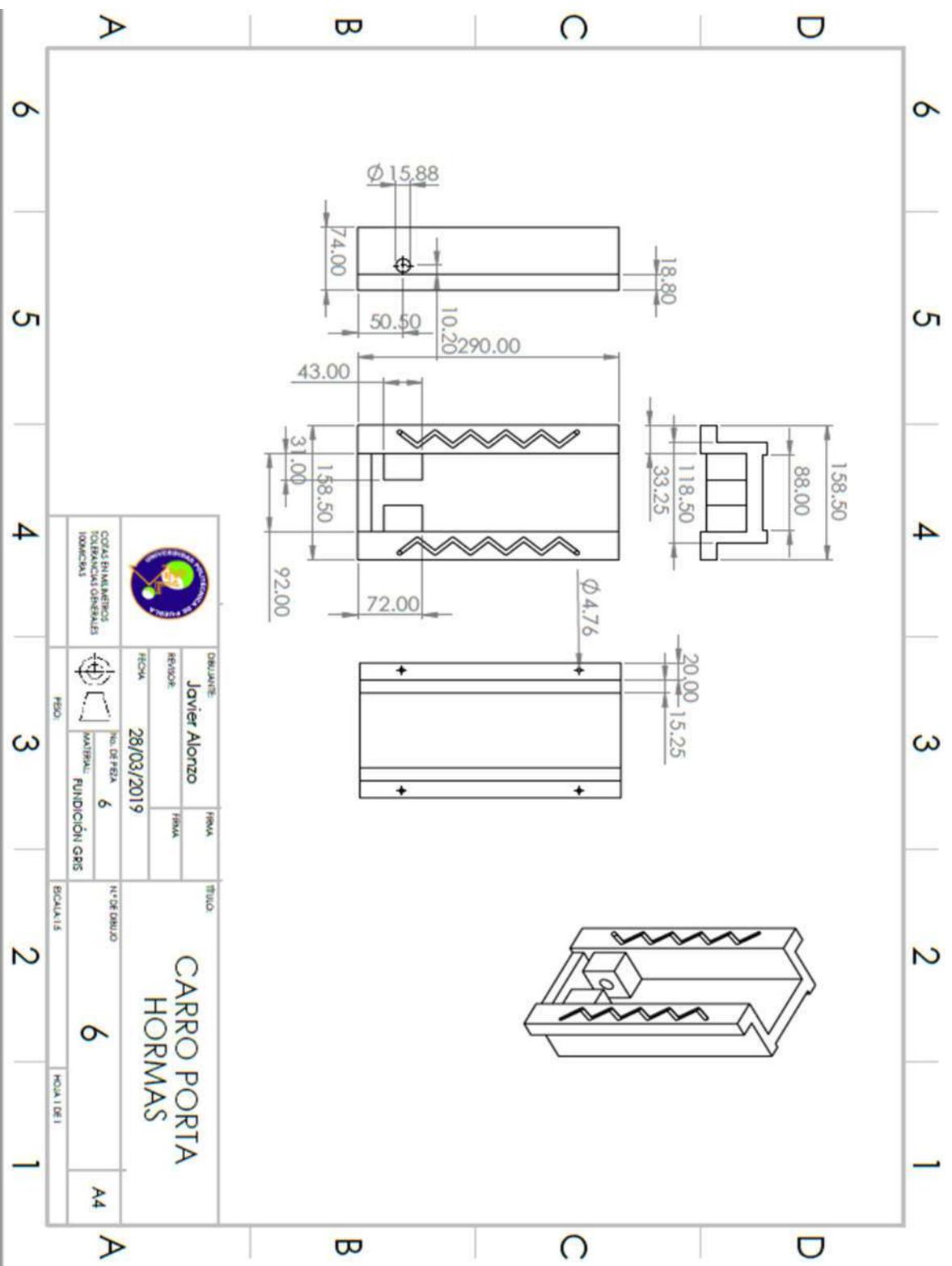
KOP: Lenguaje de contactos

MPa: Mega Pascales

Mm: Milímetros

%: Porcentaje 0-100

# **ANEXO A: Planos**

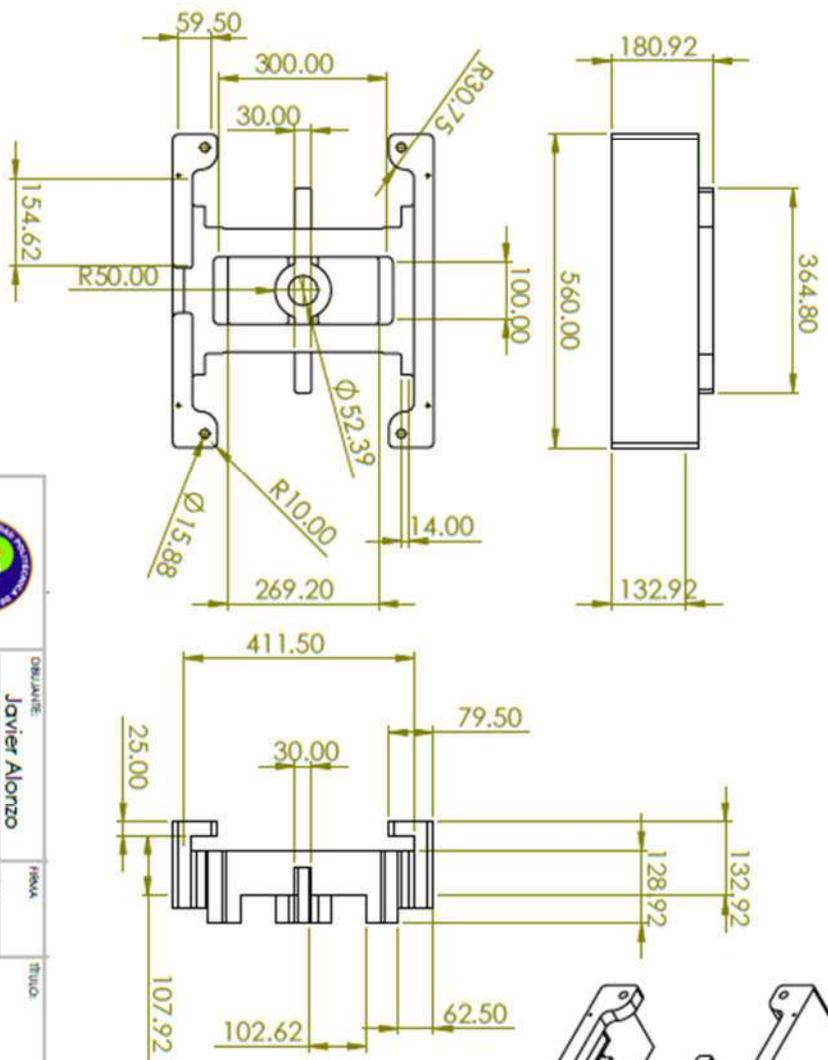


6 5 4 3 2 1

6 5 4 3 2 1

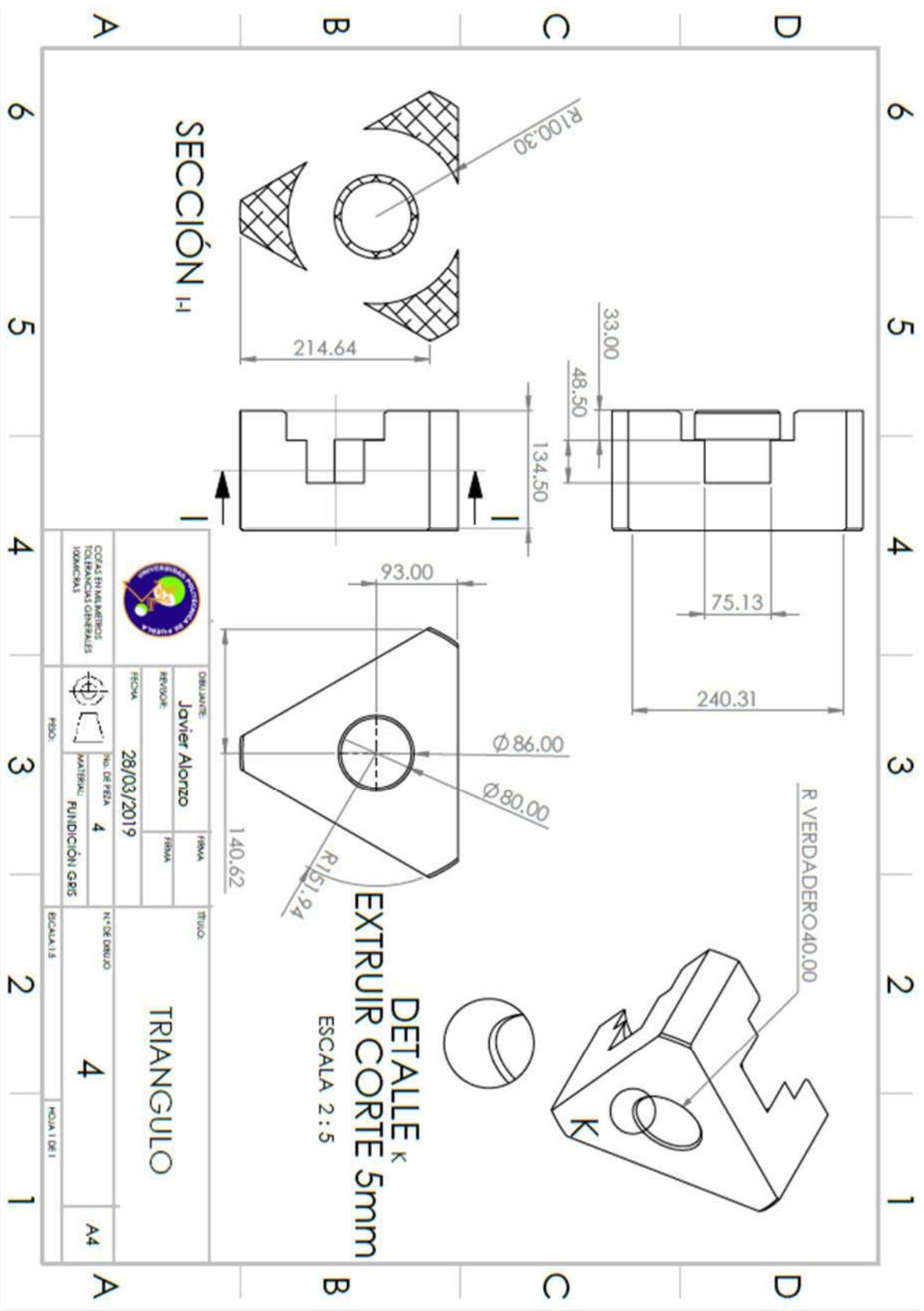
A B C D

A B C D



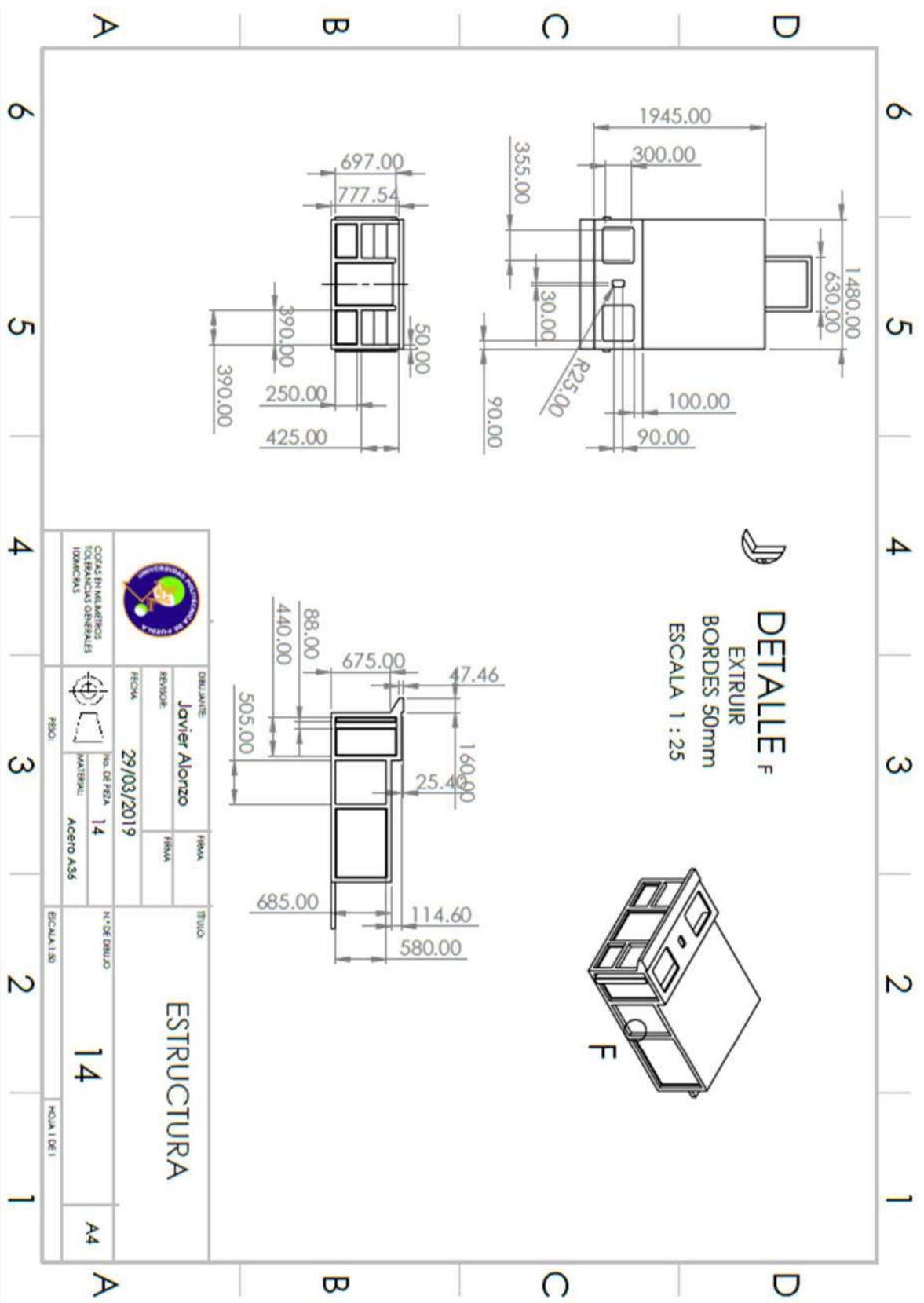
REDONDEOS VERTICES  
Y ARISTAS 5MM

		ORIGINANTE: <b>Javier Alonzo</b>		FIRMA:	
CODIG. BILBAINENOS ESPECIALIDAD: OFICINALES 100MERCAS		REVISOR:		FIRMA:	
FECHA: <b>28/03/2019</b>		No. DE PIEZA: <b>8</b>		MATERIAL: <b>FUNDICIÓN G85</b>	
TÍTULO: <b>TORTUGA</b>		N.º DE DIBUJO: <b>8</b>		ESCALA: 1:1	
Hoja 1 de 1		Hoja 1 de 1		A4	

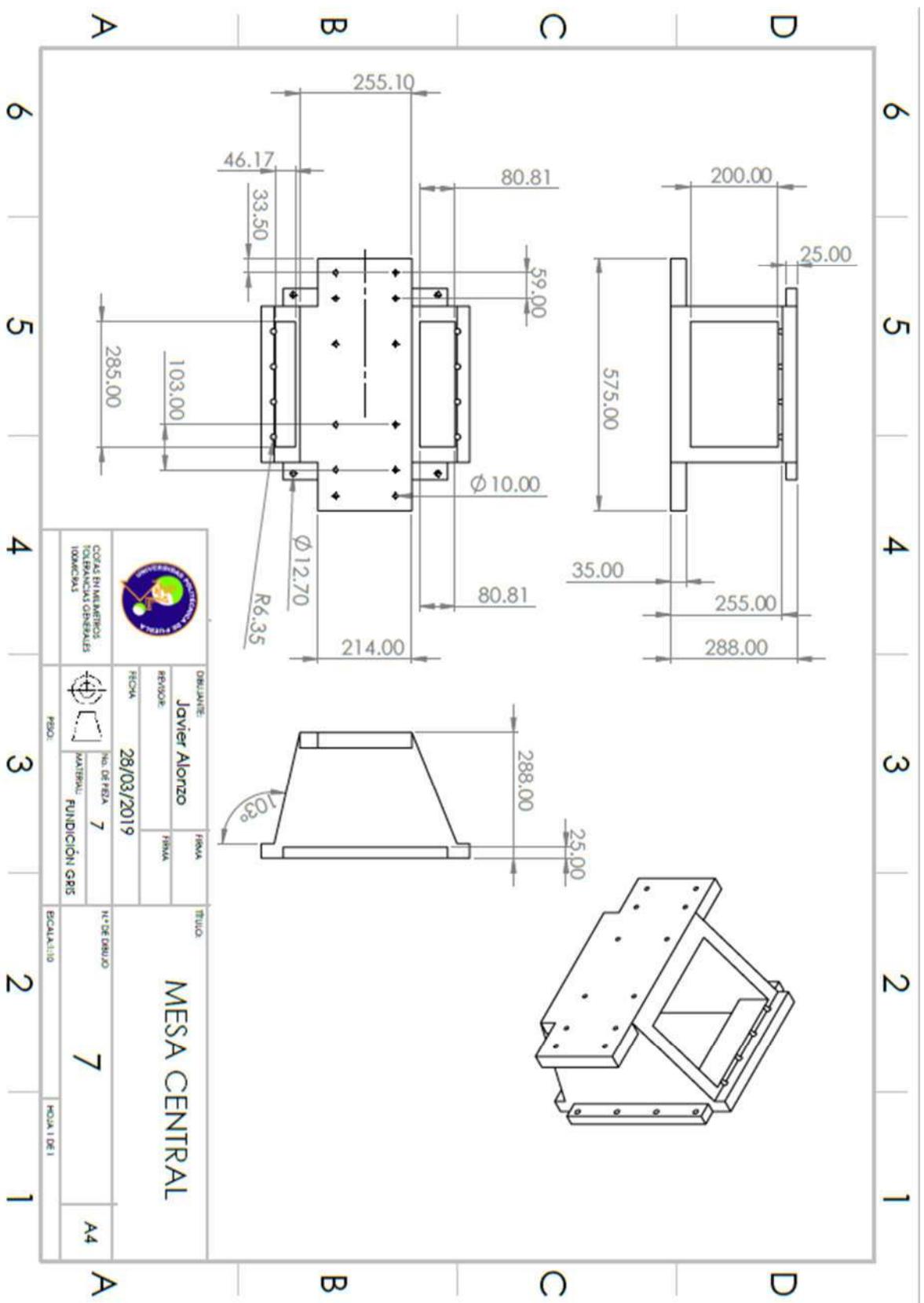


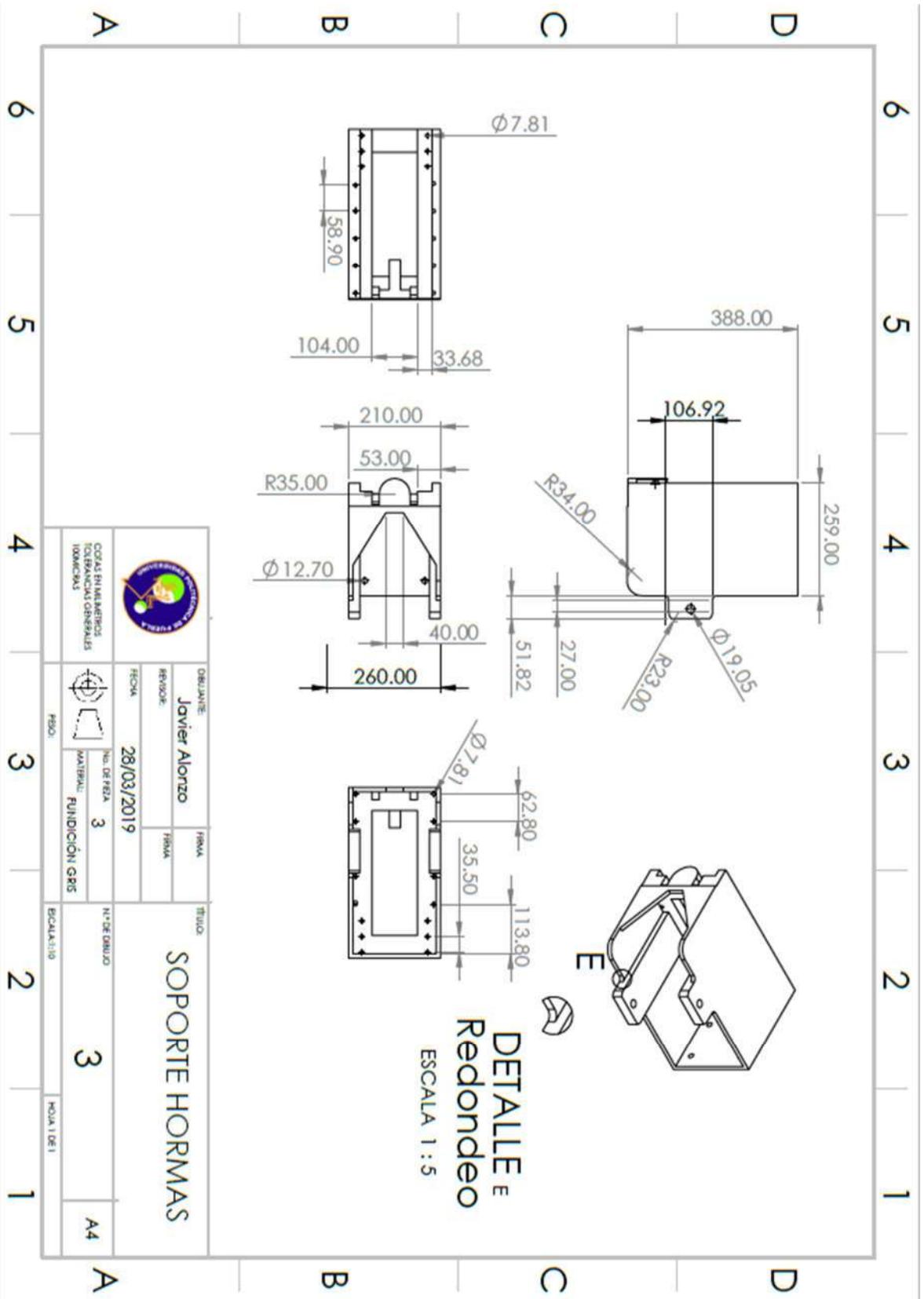
	DISEÑANTE: <b>Javier Alonzo</b>	FIRMA:	TÍTULO: <b>TRIANGULO</b>
	REVISOR:	FIRMA:	
FECHA: <b>28/03/2019</b>	No. DE FOLIA: <b>4</b>	MATERIAL: FUNDICIÓN GRS	N.º DE DIBUJO: <b>4</b>
ESCALA:	HOJA 1 DE 1	ESCALA 1:5	A4

COLEGIO BILINGÜE TORREBONICOS GENEVALES IBEROAMERICANA

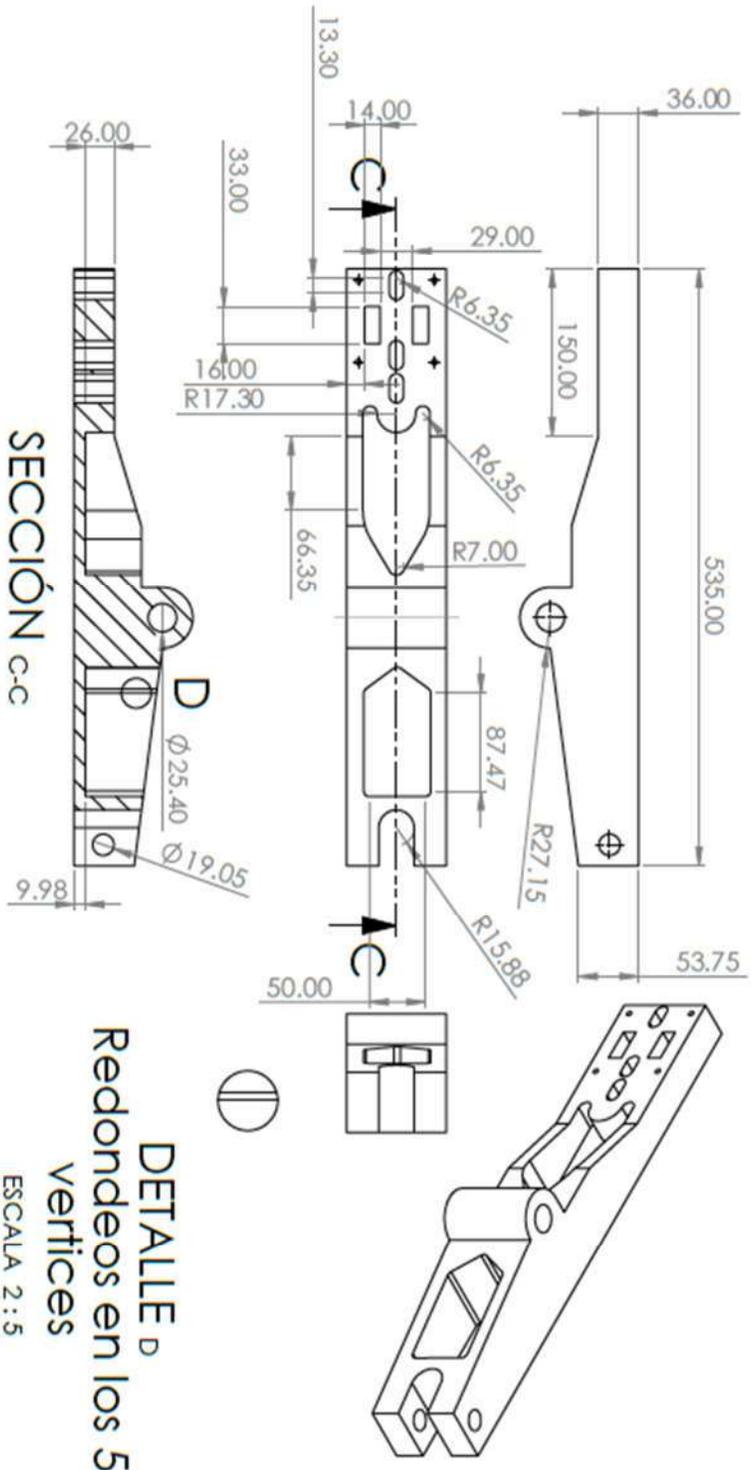


		ORILLANTE		TITULO	
		<b>Javier Alonzo</b> REVISOR FIRMA		<b>ESTRUCTURA</b>	
COLEGIO INGENIEROS TECNOLÓGICOS ORIENTALES (IOTECORSA)		FECHA	NO. DE FOLIA		
		29/03/2019	14	14	
PISO:		MATERIAL: <b>ACERO A36</b>		ESCALA: 1:50	





6 5 4 3 2 1



SECCIÓN C-C

DETALLE D  
Redondeos en los 5  
vértices  
ESCALA 2 : 5

	DISEÑANTE: <b>Javier Alonzo</b>	FIRMA:	TÍTULO: <b>BRAZO DE POSICIONAMIENTO DE PUNTERAS</b>
	REVISOR:	FIRMA:	
FECHA: <b>28/03/2019</b>	No. DE PIEZA: <b>1</b>	No. DE DIBUJO: <b>1</b>	ESCALA: 15 HOJA 1 DE 1
MATERIAL: <b>FUNDICIÓN GRIS</b>	MATERIAL:	MATERIAL:	

6 5 4 3 2 1

A

A

B

B

C

C

D

D

