

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE
INYECTORA MANUAL DE PLÁSTICO DE 10 GRAMOS DE
CAPACIDAD PARA EL LABORATORIO DE METALURGIA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA ESPE**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

**CHRISTIAN ALFREDO LEMOS ORTI
GUSTAVO ALEJANDRO MÉNDEZ PÁEZ**

**DIRECTOR: ING. VÍCTOR ANDRADE.
CODIRECTOR: ING. FERNANDO OLMEDO.**

Sangolquí, 2005 – 08

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “Diseño y construcción de una inyectora manual de plástico de 10 gramos de capacidad para el Laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE” fue realizado en su totalidad por Christian Alfredo Lemos Orti y Gustavo Alejandro Méndez Páez, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Víctor Andrade

DIRECTOR

Ing. Fernando Olmedo

CODIRECTOR

Sangolquí, 2005 – 08 - 22

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE
INYECTORA MANUAL DE PLÁSTICO DE 10 GRAMOS DE
CAPACIDAD PARA EL LABORATORIO DE METALURGIA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA ESPE”**

ELABORADO POR

Christian Lemos

Gustavo Méndez

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

ING. EDGAR PAZMIÑO

MAYOR DE E.

DECANO

Sangolquí, 2005 - 08

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Quienes siempre me han brindado
su apoyo constante e incondicional
durante todo mi desarrollo
personal y profesional.

CHRISTIAN.

CON CARIÑO PARA MI FAMILIA:

Quienes me han respaldado
a todo momento y me han
brindado su comprensión.

GUSTAVO

AGRADECIMIENTOS

AGRADECEMOS A TODAS
AQUELLAS PERSONAS QUE
DE ALGUNA MANERA HAN
COLABORADO EN EL DESARROLLO
DE ESTE PROYECTO.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
TABLAS	xi
FIGURAS	xii
NOMENCLATURA	xv
ANEXOS	xviii
RESUMEN	xix
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Definición del Problema	1
1.2 Justificación	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Alcance y límites del proyecto.	3

CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS POLÍMEROS

2.1	Propiedades físicas y químicas de los polímeros. (Termoplásticos)	5
2.2	Aplicación de termoplásticos en procesos de inyección	8

CAPÍTULO 3. CARACTERÍSTICAS DE LA INYECTORA

3.1	Definición de parámetros funcionales y dimensionales	13
3.1.1	Definición de parámetros funcionales	13
3.1.2	Definición de parámetros dimensionales	14
3.2	Selección de alternativas	14
3.2.1	Investigación de varios sistemas de inyección de plásticos	14
3.2.2	Selección del mejor sistema que se adapta a las necesidades operacionales, dimensionales y de desempeño	16

CAPÍTULO 4. DISEÑO DE LA INYECTORA

4.1	Análisis de pérdidas de presión en el cilindro inyector	19
4.1.1	Análisis de pérdidas de presión con ayuda del paquete computacional Cosmos FloWorks	22
4.2	Análisis del calentamiento en el cilindro inyector	41
4.2.1	Análisis del calentamiento en el cilindro plastificador	43
4.2.1.1	Análisis de la elevación de la temperatura del cilindro y del plástico durante la primera inyección	43
4.2.1.2	Análisis de la elevación de la temperatura del cilindro y del termoplástico durante cada periodo de inyección	56
4.2.1.3	Análisis de la elevación de temperatura del cilindro vacío durante cinco minutos	59
4.3	Diseño mecánico	60
4.3.1	Diseño del sistema de cierre	60
4.3.1.1	Esquema de cálculo	61
4.3.1.2	Fuerza de cierre	61

4.3.1.3 Evaluación del coeficiente de elasticidad de las columnas	62
4.3.1.4 Evaluación del coeficiente de elasticidad de los elementos sujetados	62
4.3.1.5 Análisis de las cargas que soportan las columnas	65
4.3.1.6 Análisis de las tuercas en las columnas	67
4.3.1.7 Análisis de la placa soporte y placas portantes	68
4.3.1.7.1 Placa móvil	68
4.3.1.7.2 Placa portante fija	70
4.3.1.7.3 Placa soporte	71
4.3.2 Cilindro plastificador	73
4.3.2.1 Diseño del cilindro sometido a presión interna	74
4.3.2.2 Diseño de los pernos de las bridas	83
4.3.3 Diseño del mecanismo de inyección	96
4.3.3.1 Análisis de la ventaja mecánica del mecanismo de inyección	96
4.3.3.2 Análisis de la síntesis del mecanismo de inyección	97
4.3.3.3 Diagrama de cuerpo libre del mecanismo y sus partes	99
4.3.3.4 Análisis de la resistencia mecánica de los elementos del mecanismo	101
4.3.3.4.1 Pasador en el pistón de inyección	101
4.3.3.4.2 Palanca y barra R2	102
4.3.3.4.3 Barra R3	104
4.3.3.4.4 Análisis de los pernos de la placa soporte de palanca	111
4.3.3.4.5 Análisis de los pernos de la placa soporte	115
4.3.4 Diseño del molde de inyección	117
4.4 Sistema de control eléctrico de temperatura	118
4.4.1 Esquema general del sistema de control eléctrico	118
4.4.2 Circuitos eléctricos y seguridades	123
4.4.2.1 Circuito de control	123
4.4.2.2 Circuito de potencia	125

CAPITULO 5. CONSTRUCCIÓN

5.1	Análisis de procesos	127
5.1.1	Placa portante fija	127
5.1.2	Placa portante móvil	128
5.1.3	Placa soporte	128
5.1.4	Molde macho	129
5.1.5	Molde hembra	130
5.1.6	Columnas	131
5.1.7	Cono de salida	131
5.1.8	Cilindro intermedio	132
5.1.9	Cono de entrada	132
5.1.10	Pistón de inyección	133
5.1.11	Barra r3	133
5.1.12	Palanca	134
5.1.13	Placas soporte palanca	134
5.1.14	Placa soporte	135
5.1.15	Caja de control	135
5.2	Procesos de construcción	136
5.2.1	Matriz de procesos para el sistema de cierre	136
5.2.2	Matriz tiempos de procesos para el sistema de cierre	137
5.2.3	Costos de procesos para el sistema de cierre	138
5.2.4	Matriz de procesos para el sistema de inyección	139
5.2.5	Matriz tiempos de procesos para el sistema de inyección	140
5.2.6	Costos de procesos para el sistema de inyección	141
5.2.7	Costos de materiales	142
5.2.8	Costo total	142

CAPÍTULO 6. PRUEBAS Y CALIBRACIÓN

6.1	Desarrollo de pruebas	143
6.1.1	Pruebas constructivas	143
6.1.2	Pruebas operacionales	144

CAPÍTULO 7. EVALUACIÓN ECONÓMICA.

7.1	Costos directos	147
7.1.1	Costos de materiales	147
7.1.2	Costos de maquinado	148
7.1.3	Honorarios profesionales	148
7.2	Costos indirectos (Misceláneos)	148
7.3	Costo total	148

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1	Conclusiones	149
8.2	Recomendaciones	151

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Propiedades de los plásticos más comunes usados en moldeo por Inyección.	6
Tabla 3.1: Matriz de decisión: Sistema de inyección.	17
Tabla 3.2: Matriz de decisión: Sistema de cierre.	17
Tabla 3.3: Matriz de decisión: Sistema de accionamiento.	18
Tabla 4.1 Convección libre al ambiente del cono de entrada	50
Tabla 4.2 Documento nt-002.Pdf: Tipos de Termocuplas	121
Tabla 6.1 Valores de temperaturas de superficie en las secciones del cilindro	144
Tabla 6.2 Valores de temperaturas de superficie en las secciones del cilindro con el nuevo rango de control	145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Sistemas y partes básicas de una inyectora de plástico	12
Figura 4.1	Secciones del cilindro plastificador	20
Figura 4.2	Croquis Parte 1	22
Figura 4.3	Sólido Parte 1	22
Figura 4.4	Croquis Parte 1 completa	23
Figura 4.5	Sólido Parte 1 completa	23
Figura 4.6	Ventana Materiales Solid Works	24
Figura 4.7	Curva Temperatura vs. Conductividad térmica PE	25
Figura 4.8	Curva Temperatura vs. Viscosidad Dinámica	25
Figura 4.9	Colocación tapón 1	26
Figura 4.10	Colocación tapón 2	26
Figura 4.11	Menú selección nuevo proyecto	27
Figura 4.12	Proyecto FloWorks Ventana 1	27
Figura 4.13	Proyecto FloWorks Ventana 2	28
Figura 4.14	Proyecto FloWorks Ventana 3	28
Figura 4.15	Proyecto FloWorks Ventana 4	29
Figura 4.16	Proyecto FloWorks Ventana 5	29
Figura 4.17	Proyecto FloWorks Ventana 6	30
Figura 4.18	Proyecto FloWorks Ventana 7	30
Figura 4.19	Proyecto FloWorks Ventana 8	31
Figura 4.20	Proyecto FloWorks Ventana 9	31
Figura 4.21	Proyecto FloWorks Ventana 10	32
Figura 4.22	Proyecto FloWorks Ventana 11	32
Figura 4.23	Proyecto FloWorks Ventana 12	33
Figura 4.24	Proyecto FloWorks Condiciones de borde	33
Figura 4.25	Proyecto FloWorks Condiciones de Borde Presión	34
Figura 4.26	Proyecto FloWorks Condiciones de Borde Presión Inicial	34
Figura 4.27	Proyecto FloWorks Condiciones de Borde Presión Pared	35
Figura 4.28	Proyecto FloWorks Condiciones de Borde Presión Pared 2	35
Figura 4.29	Proyecto FloWorks Cond. de Borde Condición de Flujo	36
Figura 4.30	Proyecto FloWorks Condiciones de Borde Completo	36
Figura 4.31	Proyecto FloWorks Metas	37

Figura 4.32	Proyecto FloWorks Selección Metas	37
Figura 4.33	Proyecto FloWorks Corrida	37
Figura 4.34	Proyecto FloWorks Corrida Cálculo	38
Figura 4.35	Proyecto FloWorks Resultados	38
Figura 4.36	Proyecto FloWorks Carga de Resultados	39
Figura 4.37	Proyecto FloWorks Análisis de Resultados	39
Figura 4.38	Proyecto FloWorks Ejemplo de Resultados (Presión)	40
Figura 4.39	Creación de un Proyecto de Estudio térmico	43
Figura 4.40	Ingreso de las características de diseño	44
Figura 4.41	Parámetros básicos para el diseño	45
Figura 4.42	Selección de materiales	45
Figura 4.43	Ingreso de temperatura inicial	47
Figura 4.44	Energía térmica	48
Figura 4.45	Convección	52
Figura 4.46	Mallado	53
Figura 4.47	Representación gráfica del mallado	53
Figura 4.48	Calentamiento durante 12 minutos del cono de entrada	54
Figura 4.49	Calentamiento durante 12 minutos del torpedo.	55
Figura 4.50	Calentamiento durante 12 minutos del cono de salida	55
Figura 4.51	Comportamiento de los termostatos	56
Figura 4.52	Calentamiento durante 20 segundos del cono de entrada	57
Figura 4.53	Calentamiento durante 20 segundos del torpedo.	58
Figura 4.54	Calentamiento durante 20 segundos del cono de salida	58
Figura 4.55	Comportamiento de los termostatos	59
Figura 4.56	Comportamiento de los termostatos	60
Figura 4.57	Esquema del sistema de cierre	61
Figura 4.58	Áreas influenciadas por la compresión del sistema de cierre	63
Figura 4.59	Distribución de las fuerzas en la placa portante móvil	68
Figura 4.60	Distribución de las fuerza cortante y momento flector	69
Figura 4.61	Distribución de las fuerzas en la placa portante fija	70
Figura 4.62	Distribución de las fuerzas en la placa portante fija	70
Figura 4.63	Distribución de las fuerzas en la placa soporte	71
Figura 4.64	Distribución de las fuerzas cortante y momento flector	72
Figura 4.65	Cilindro plastificador: Cono Entrada (Cono 1)	73

Figura 4.66	Cilindro plastificador: Parte 1 Zona 1	74
Figura 4.67	Cilindro plastificador: Parte 1 Zona 2	75
Figura 4.68	Cilindro plastificador: Parte 1 Zona 3	76
Figura 4.69	Cilindro plastificador: Parte intermedia	78
Figura 4.70	Cilindro plastificador Intermedio. Sección	78
Figura 4.71	Cilindro Plastificador Cono Salida (Cono 2)	80
Figura 4.72	Cilindro Plastificador Parte 2 Zona 1	80
Figura 4.73	Cilindro Plastificador Parte 2 Zona 2	82
Figura 4.74	Cono Interno del Cono de Entrada	84
Figura 4.75	Cono Interno del cilindro de salida.	89
Figura 4.76	Colocación de los pernos en las bridas	91
Figura 4.77	Mecanismo de inyección “corredera – manivela”	96
Figura 4.78	Diagrama del mecanismo de inyección	99
Figura 4.79	Esquema mecanismo de inyección	100
Figura 4.80	Pasador Pistón de Inyección	101
Figura 4.81	DCL Palanca y Barra R2	102
Figura 4.82	DCL Palanca – Barra R2: Fuerzas descompuestas	103
Figura 4.83	Dimensiones Palanca – Barra R2	104
Figura 4.84	Barra R3	104
Figura 4.85	DCL Barra R3	105
Figura 4.86	Sección pasador R3	107
Figura 4.87	Pasador R2 – R3	109
Figura 4.88	Sección del pasador en la palanca R3	111
Figura 4.89	Vista superior: Esquema de Mecanismo	111
Figura 4.90	Pasador	112
Figura 4.91	Placas soporte de palanca	112
Figura 4.92	Pasador que se analiza	114
Figura 4.93	Placa soporte	115
Figura 4.94	Esquema control eléctrico	118
Figura 9.95	Comportamiento termocuplas	120
Figura 4.96	Esquema del circuito impreso de control	124
Figura 4.97	Esquema del circuito impreso de potencia	125

NOMENCLATURA

a	Ancho de sección
At	Área de esfuerzo a tensión
dr	Diámetro de raíz
E	Módulo de elasticidad del acero
Fce	Fuerza externa que soportan las columnas
Fi	Fuerza de precarga
Fct	Fuerza total que soportan las columnas
Fpe	Fuerza externa sobre las placas
Feni	Fuerza de entrada
Fsal	Fuerza de salida
FS	Factor de seguridad
Fc	Fuerza de cierre
Fmáx	Fuerza máxima (producto de la presión interna)
Fv	Fuerza de corte
h_{ci}	Altura del cilindro
k, km, kp	Coefficiente de elasticidad
kc	Coefficiente de elasticidad de la columna
Lc	Longitud efectiva de la columna
lm	Longitud de la cara de los moldes
l_{ci}	Longitud de la cara de la base del cilindro
lr	Longitud de rosca

M_{pm}	Momento máximo
M_{cr}	Momento crítico
n	Factor de seguridad
P	Presión de inyección
P_i	Presión interna
r_{ent}	Radio de entrada
r	Longitud de barras
r_i	Radio interior
r_o	Radio exterior
S_p	Resistencia límite
S_y	Resistencia a la fluencia
S_v	Resistencia a la fluencia (Esfuerzo cortante)
S_e	Resistencia límite a la fatiga
S_b	Resistencia límite mínima a la tensión
S_u	Resistencia última mínima a la tensión
t	Espesor del molde hembra
VM	Ventaja mecánica
σ_l	Esfuerzo longitudinal
σ_t	Esfuerzo tangencial
σ_a	Esfuerzo alternante
σ_m	Esfuerzo medio
σ_{max}	Esfuerzo máximo

σ_{cri}	Esfuerzo crítico
σ	Esfuerzo normal
σ_{adm}	Esfuerzo admisible
τ	Esfuerzo de corte
ϕ	Diámetro de la pieza inyectada
ϕ_c	Diámetro de la columna
ϕ_{cil}	Diámetro del cilindro hidráulico
D_c	Diámetro de colocación de los pernos
D_n	Diámetro nominal
A_t	Área de esfuerzo a la tracción
L_p	Espesor de placas
C_c	Límite de deformación plástica para el acero
K	Condición de apoyo (Columna)
E_{sb}	Relación de esbeltez
T_a	Temperatura ambiente
a_0, a_1	Coeficientes de polinomios aproximación de termopares

ANEXOS Y PLANOS

ANEXOS.

Anexo 1. Normas construcción molde.

Anexo 2. Reporte del programa Flo Works de pérdidas de presión.

Anexo 3: Programa de control de temperatura.

Anexo 4: Microcontrolador.

Anexo 5: Elementos principales del circuito de control.

Anexo 6: Elementos principales del circuito de potencia.

A. Planos de la máquina

A.1. Planos constructivos

A.2. Planos de conjunto

A.3. Planos de circuitos eléctricos y control

B. Manual de usuario

B.1 Proceso de inyección.

B.2 Datos adicionales.

RESUMEN

El proyecto de tesis planteado: “Diseño y construcción de un prototipo de inyectora manual de plástico de 10 gramos de capacidad para el laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería mecánica de la ESPE”, equipa al Laboratorio de Metalurgia con una máquina de inyección de plástico, con el fin de que los estudiantes realicen prácticas de inyección, y de esta manera comprender mejor este proceso y los elementos que intervienen en el mismo, como son: el sistema de cierre, el molde de inyección, el sistema de enfriamiento, sistema de fundición de plástico y el mecanismo de inyección.

La selección de la mejor alternativa de diseño y construcción para cada sistema se efectuó mediante el uso de matrices de decisión, tomando en cuenta parámetros de costos, facilidad de fabricación y fiabilidad.

Para tal efecto se realizó el diseño, comenzando con el mecanismo de inyección el mismo que es de tipo manual y se aprovecha la ventaja mecánica para llegar a obtener una presión de inyección de 60 bares, tomando en cuenta que la presión mínima para inyectar un termoplástico es 50 bares. Luego se diseñó el sistema de fundición, el mismo que debe cumplir con varias características, como son pérdidas mínimas de presión y temperatura óptima de trabajo.

La temperatura del sistema de fundición de plástico debe ser controlado para evitar que exceda el rango de trabajo y el material se degrade; para lo mismo el control es automático y se logra conservar el material plástico en el rango de 150 a 170 °C, temperatura de trabajo ideal para el polietileno y poliestireno para los que fue diseñado el prototipo.

El sistema de cierre es hidráulico, y permite que el molde permanezca cerrado para soportar la presión de inyección.

Todos los elementos fueron maquinados en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Mecánica para reducir costos de fabricación.

Para el análisis térmico y de pérdidas de presión en el cilindro plastificador se utilizó el paquete computacional Solid Works, con los complementos Cosmos y Flow Works, simulando las condiciones de trabajo con las propiedades características del material inyectado.

En el proceso de pruebas y calibración se obtuvo el rango apropiado de temperatura de trabajo, así como también se cumplió con la necesidad de implementar un sistema de refrigeración para el molde hembra y así conseguir la solidificación final adecuada de la pieza inyectada.

Los resultados satisfacen los objetivos de diseño planteados para el proceso de inyección así como con los parámetros de funcionalidad, fiabilidad y bajo costo de construcción.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Debido a que el laboratorio de Metalurgia requiere la demostración práctica del proceso de inyección de plásticos, se ha decidido desarrollar este proyecto. El mismo que mostrará los principales elementos de un sistema de inyección básico, como lo son: el sistema de cierre, el molde de inyección, el sistema de enfriamiento y el mecanismo de inyección.

Para el diseño y selección de materiales se tomarán en cuenta parámetros como: confiabilidad en la operación, seguridad en la operación, que no afecte al operador ni al entorno, que no perjudique al medio ambiente siendo silenciosa y no contaminante, estética de buen diseño y acabado, y de bajo costo.

JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto está orientado principalmente hacia la educación de los estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejercito, debido a que en la actualidad el Laboratorio de Metalurgia de la ESPE no cuenta con un equipo para demostrar de manera práctica el proceso de inyección de plásticos de forma didáctica y se deben realizar visitas técnicas a empresas de la rama en donde se observan maquinarias de tipo industrial cuyos componentes son de difícil comprensión. .

Adquirir la maquinaria necesaria para realizar la inyección de plásticos resulta altamente costoso si se lo desea usar únicamente para demostraciones prácticas en laboratorio; solamente se justifica en la industria en donde la producción de grandes cantidades de piezas hace rentable su compra.

Debido a estos antecedentes, el presente proyecto propone, el “diseño y construcción de un prototipo de inyectora manual de plástico de 10 gramos de capacidad para el Laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE”, a través del cual el laboratorio mencionado estaría en

capacidad de demostrar el procedimiento para la inyección de plásticos y los componentes que conforman la inyectora de manera práctica y clara. Lográndose así que todos los interesados tengan acceso al prototipo.

El proyecto busca vincularse además con el pequeño sector de elaboración de productos plásticos, permitiéndoles tener acceso a una maquinaria funcional de bajo costo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

“Diseñar y construir un prototipo de inyectora manual de plástico de 10 gramos de capacidad, para el Laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE”

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar y desarrollar tecnología propia en el desarrollo del proceso de inyección y la construcción del prototipo.
- Dotar al estudiante de un medio práctico de aprendizaje para consolidar los conocimientos obtenidos en la teoría.
- Aplicar eficientemente los procesos de manufactura para optimizar la utilización de recursos constructivos, tecnológicos y de costos.
- Presentar una inyectora de accionamiento confiable, operación segura, funcional, y de bajo costo para producciones a pequeñas escala.

ALCANCE Y LÍMITES DEL PROYECTO.

El Laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE ha visto la necesidad de contar con un equipo didáctico para la demostración práctica de la inyección de plásticos.

Debido a que la adquisición de un equipo industrial para la inyección de plásticos es costosa, el presente proyecto a través del diseño y construcción de un prototipo presenta una opción económica pero a la vez eficiente para solucionar dicha necesidad del laboratorio.

Para el diseño de la inyectora, primero se seleccionará la mejor alternativa para los diferentes componentes en función de los requerimientos del Laboratorio, facilidad de operación del sistema, costos y manufactura.

Una vez determinados los parámetros necesarios se diseñará los elementos mecánicos, partes móviles y fijas, elementos de medición y control.

Con los datos obtenidos del diseño se procederá a la construcción del equipo, cuyas partes podrán ser maquinadas tanto en los Laboratorios de la ESPE como en talleres particulares. Finalmente se realizarán las pruebas y ajustes respectivos.

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS DE LOS POLÍMEROS

2.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS POLÍMEROS. (TERMOPLÁSTICOS)

Los termoplásticos son polímeros de cadenas largas que cuando se calientan se reblandecen y pueden moldearse a presión. Representan el 78-80% de consumo total de los plásticos.

Los polímeros más utilizados para la inyección son los termoplásticos porque sus propiedades químicas y mecánicas se prestan para este proceso.

Una propiedad muy interesante de este tipo de polímeros es que existe una temperatura más o menos definida a la que las cadenas adquieren suficiente energía como para desplazarse unas respecto a otras. A esta temperatura se la denomina temperatura de transición del estado vítreo (*glassy temperature*) T_g . A efectos termodinámicos tal transición puede representarse como un cambio de fase en la que la temperatura del polímero permanece constante ante un aporte de calor.

EL POLIPROPILENO, cuya fórmula química es C_3H_6 , sea adecuado para una gran variabilidad de aplicaciones en diferentes sectores, y marca la parada ante los materiales del futuro, además de suponer una alternativa, mucho más económica. Debido a esto, el empleo de este material está creciendo, gracias en gran parte, al desarrollo de nuevos y mejores productos.

Tabla 2.1: Propiedades de los plásticos más comunes usados en moldeo por inyección¹

Material	<i>Símbolo</i>	<i>Densidad</i>	<i>Calor específico promedio</i>	<i>Temperatura de procesamiento</i>	<i>Temperatura del molde</i>	<i>Contracción</i>
		(g / cm ³)	(KJ / Kg °K)	(°C)	(°C)	%
Poliestireno	PS	1,05	1,3	180 - 280	10 - 40	0,3 - 0,6
Copolímero de estireno-butadieno	SB	1,05	1,21	170 - 260	5 - 75	0,5 - 0,6
Copolímero de estireno-acrilonitrilo	SAN	1,08	1,3	180 - 270	50 - 80	0,5 - 0,7
Caucho de acrilonitrilo-butadieno-	ABS	1,06	1,4	210 - 275	50 - 90	0,4 - 0,7

estireno						
Terpolímero de acrilonitrilo-estireno-acrilato	ASA	1,07	1,3	230 - 260	40 -90	0,4 - 0,6
Poli(etileno de baja densidad)	LDPE	0,954	2 - 2,1	160 - 260	50 -70	1,5 - 5
Poli(etileno de alta densidad)	HDPE	0,92	2,3 - 2,5	260 - 300	30 -70	1,5 - 3
Polipropileno	PP	0,917	0,84 - 2,5	250 - 270	50 -75	1 - 2,5
Poli(isobutileno)	PIB	0,93		150 - 200	50 -80	
Poli(4-metil-1-penteno)	PMP	0,83		280 - 310	70	1,5 -3
Poli(cloruro de vinilo) flexible	PVC soft	1,38	0,85	170 - 200	15 -20	0,5
Poli(cloruro de vinilo) rígido	PVC rigid	1,38	0,83 - 0,92	180 - 210	30 -50	0,5
Poli(fluoruro de vinilideno)	PVDF	1,2		250 - 270	90 -100	3 - 6
Poli(tetrafluoretileno) (teflón)	PTFE	2,12 - 2,17	0,12	320 - 360	200 -230	3,5 -6

Material	<i>Símbolo</i>	<i>Densidad</i>	<i>Calor específico promedio</i>	<i>Temperatura de procesamiento</i>	<i>Temperatura del molde</i>	<i>Contracción</i>
Poli(metacrilato de metilo)	PMMA	1,18	1,46	210 - 240	50 -70	0,1 - 0,8
Polióxido de metileno/poliformaldehído	POM	1,42	1,47 - 1,5	200 - 210	90	1,9 -2,3
Poli(óxido de fenileno)	PPO	1,06	1,45	250 - 300	80 -100	0,5 - 0,7
Acetado de celulosa	CA	1,27 - 1,3	1,3 - 1,7	180 - 230	50 -80	0,5
Acetato-butirato de celulosa	CAB	1,17 - 1,22	1,3 - 1,7	180 - 230	50 -80	0,5

Propionato de celulosa	CP	1,19 - 1,23	1,7	180 - 230	50 -80	0,5
Policarbonato	PC	1,2	1,3	280 - 320	80 -100	0,8
Poli(etilenterftalato)	PET	1,37		260 - 290	140	1,2 - 2
Poli(butilenterftalato)	PBT	1,3		240 - 260	60 -80	1,5 - 2,5
Poli(ariléter cetona)	PEEK	1,32		350 - 390	120 - 150	1,1
Poliamida 6	PA6	1,14	1,8	240 - 260	70 -120	0,5 -2,2
Poliamida 6.6	PA66	1,15	1,7	280 - 310	70 -120	0,5 - 2,5
Poliamida 11	PA11	1,03 - 1,05	2,4	210 - 250	40 -80	0,5 - 1,5
Poliamida 12	PA12	1,01 - 1,04	1,2	330 - 380	40 -80	0,5 - 1,5
Poliamida-imida	PAI	1,4		370	230	
Poli(sulfuro de fenileno)	PPS	1,64		340 - 425	150	0,2
Poli(éterimida)	PEI	1,27		360 - 390	65 - 175	0,4 - 0,7
Poliétersulfona	PES	1,6		360 - 420	140 - 190	0,2 -0,5
Poli(fenilensulfona)	PSU	1,24		330 - 380	110 - 180	0,7
Poliuretano	PUR	1,2	1,85	195 - 230	20 -40	0,9
Resina de fenol-formaldehído	PF	1,4	1,3	60 -80	170 - 190	1,2
Resina de melamina-formaldehído	MF	1,5	1,3	70 -80	150 -165	1,2 - 2

Material	<i>Símbolo</i>	<i>Densidad</i>	<i>Calor específico promedio</i>	<i>Temperatura de procesamiento</i>	<i>Temperatura del molde</i>	<i>Contracción</i>
Poliéster insaturado	UP	2 - 2,1	0,9	40 -60	150 - 170	0,5 - 0,8
Resina epoxi	EP	1,9	1,7 - 1,9	70	160 - 170	0,2

¹ F Johannaber, Injection Molding Machine, 3ra ed, Editorial Hanser, 1994, pág. 290

2.2 APLICACIÓN DE TERMOPLÁSTICOS EN PROCESOS DE INYECCIÓN

Polietileno:

Éste es el termoplástico más usado en nuestra sociedad. Los productos hechos de polietileno van desde materiales de construcción y aislantes eléctricos hasta material de empaque.

Se trata de un plástico barato que puede moldearse a casi cualquier forma, extruirse para hacer fibras o soplarse para formar películas delgadas.

Según la tecnología que se emplee se pueden obtener dos tipos de polietileno: el de baja densidad y el de alta densidad.

Polietileno de baja densidad: Dependiendo del catalizador, este polímero se fabrica de dos maneras: a alta presión o a baja presión.

En el primer caso se emplean los llamados iniciadores de radicales libres como catalizadores de polimerización del etileno. El producto obtenido es el polietileno de baja densidad ramificado, conocido como LDPE.

Cuando se polimeriza el etileno a baja presión se emplean catalizadores tipo Ziegler Natta y se usa el buteno-1 como comonomero. De esta forma es como se obtiene el propileno de baja densidad lineal (LLDPE), que posee características muy particulares, entre las que se cuenta la de poder hacer películas más delgadas y resistentes. Son muy útiles en la fabricación de pañales desechables, por ejemplo.

Ambos tipos de polímeros sirven para hacer películas, hojas, moldeo por inyección, papel, y recubrimientos de cables y alambres.

Las películas de polietileno se utilizan en la fabricación de las bolsas y toda clase de envolturas usadas en el comercio.

Empleando el moldeo por inyección se fabrican toda clase de juguetes y recipientes alimenticios.

Polietileno de alta densidad (HDPE): Cuando se polimeriza el etileno a baja presión y en presencia de catalizadores ZieglerNatta, se obtiene el polietileno de alta densidad (HDPE).

La principal diferencia entre el LDPE y el HDPE es que el primero es más flexible debido a que la cadena polimérica tiene numerosas ramificaciones con dos o cuatro átomos de carbono, mientras que en el HDPE las cadenas que lo constituyen casi no tienen cadenas laterales lo que les permite estar más empacadas y por lo tanto el polímero es más rígido.

El HDPE, debido a sus propiedades, se emplea para hacer recipientes moldeados por soplado. Casi el 85% de las botellas moldeadas por soplado se hacen de HDPE.

Las tuberías fabricadas con este material son flexibles, fuertes y resistentes a la corrosión, por lo que se utilizan ante todo para transportar productos corrosivos y abrasivos. También se usan en la perforación y transporte de petróleo crudo.

El polietileno en fibras muy finas interconectadas entre sí y formando una red continua sirve para hacer cubiertas de libros y carpetas, tapices para muros, etiquetas, batas de laboratorio, mandiles, y forros de sacos para dormir.

Polipropileno:

Las propiedades del polipropileno comercial varían de acuerdo porcentaje de polímero isotáctico cristalino y del grado de polimerización. El polipropileno cristalino tiene un punto de fusión de 170°C, por lo que se usa para elaborar bolsas que se pueden meter al horno, permitiendo cocinar los alimentos sin que pierdan sus jugos. Los artículos hechos con polipropileno tienen una buena resistencia térmica y eléctrica además de baja absorción de humedad.

Otras propiedades importantes del polipropileno son su dureza, alta resistencia a la abrasión y al impacto, excelente transparencia, y que no es tóxico.

El moldeo por inyección consume el 40% de la producción. Los artículos fabricados con esta técnica pueden ser partes de aparatos eléctricos, juguetes, maletas, tapas de botellas, jeringas.

Debido a su ligereza y dureza, el polipropileno se usa mucho en la industria automotriz. Se emplea en la fabricación de adornos interiores, revestimiento de los guardafangos, bastidores del aire acondicionado y de la calefacción, ductos y en las cajas de los acumuladores.

El 30-35% del polipropileno se usa en la industria textil. Estas fibras de bajo costo y excelentes propiedades compiten con el yute y el henequén, y sirven para tapicería, ropa interior y ropa deportiva, alfombras, y cables para uso marítimo.

En el mercado de las películas, este polímero compite con el celofán y se utiliza principalmente en envolturas de cigarros, galletas, etc.

Las mejoras en el campo del polipropileno incluyen el nuevo material hecho por copolimerización del etilenopropileno.

Se dice que este copolímero constituye el puente entre el verdadero plástico y el verdadero elastómero, o sea un elastómero termoplástico. Este producto fue desarrollado por la DuPont, posee propiedades semejantes al hule y puede procesarse como cualquier termoplástico. Algunos productos fabricados con este material sirven para hacer selladores, partes automotrices y suelas de zapatos.

Cloruro de polivinilo (PVC):

Este polímero se obtiene polimerizando el cloruro de vinilo. Existen dos tipos de cloruro de polivinilo, el flexible y el rígido. Ambos tienen alta resistencia a la abrasión y a los productos químicos.

Estos materiales pueden estirarse hasta 4.5 veces su longitud original.

El PVC rígido tiene densidades de 1.3 a 1.6. Los artículos hechos con este material no pueden estirarse más del 40% de su longitud original.

El cloruro de polivinilo se suele copolimerizar con otros monómeros para modificar y mejorar la calidad de la resina.

El copolímero de PVC con acetato de vinilo es más flexible, posee mayor resistencia a la tensión, tiene menor punto de fusión y es más estable al calor y a la luz que el cloruro de polivinilo.

El PVC flexible constituye el 50% de la producción, y se destina para hacer manteles, cortinas para baño, muebles, alambres y cables eléctricos, tapicería de automóviles, etc.

El PVC rígido se usa en la fabricación de tuberías para riego, juntas, techado, botellas, y también de partes de automóviles.

Poliestireno y copolímeros de estireno:

El poliestireno (PS) es el tercer termoplástico de mayor uso debido a sus propiedades y a la facilidad de su fabricación.

El PS posee baja densidad, estabilidad térmica y bajo costo. Sin embargo algunas de sus propiedades físicas pueden ser desfavorables, como el hecho de ser rígido y quebradizo. Estas desventajas pueden remediarse copolimerizando el estireno con otros monómeros y polímeros.

Así por ejemplo, cuando se copolimeriza el estireno con el acrilonitrilo (SAN), el polímero resultante tiene alta resistencia a la tensión.

El poliestireno es una resina clara y transparente con un amplio rango de puntos de fusión. Fluye fácilmente, lo que favorece su uso en el moldeo por inyección.

Posee buenas propiedades eléctricas que lo hacen apropiado para aplicaciones electrónicas.

Esta resina se comercializa en tres diferentes formas y calidades:

El primer tipo, denominado de uso común o cristal, encuentra sus principales aplicaciones en los mercados de inyección y moldeo.

El segundo tipo corresponde al poliestireno de impacto (alto, medio y bajo) que sustituye al de uso general cuando se desea mayor resistencia. Éste se utiliza también en los mercados de moldeo para la fabricación de aparatos del hogar, accesorios eléctricos, empaque, juguetes y muebles.

Finalmente, el tipo expandible se emplea en la fabricación de espuma de poliestireno que, a su vez, se utiliza en la producción de accesorios para la industria de empaques y aislamientos.

Los usos más comunes del poliestireno son los siguientes:

Poliestireno de medio impacto: Envases desechables (vasos, cubiertos, platos), empaques, juguetes.

Poliestireno de alto impacto: Productos domésticos (radios, televisores, tableros internos de refrigeradores, licuadoras, batidoras, lavadoras, etc.), tacones para zapatos, juguetes.

Poliestireno cristal: piezas moldeadas para cassettes, envases desechables, juguetes, artículos electrodomésticos, difusores de luz, plafones.

Poliestireno expandible: envases térmicos, empaque, construcción (aislamientos, tableros de cancelería, plafones, casetones, etc.).

Estireno-acrilonitrilo (SAN):

El copolímero estireno-acrilonitrilo tiene mejor resistencia química y térmica, así como mayor rigidez que el poliestireno. Sin embargo el SAN no es transparente como el PS, por lo que se usa en artículos que no requieren claridad óptica.

Algunas de sus aplicaciones las encontramos en la fabricación de artículos para el hogar como batidoras, licuadoras, aspiradoras, etc.

Copolímero acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS):

Estos polímeros son plásticos duros con alta resistencia mecánica, de los pocos termoplásticos que combinan la resistencia con la dureza.

Se pueden usar en aleaciones con otros plásticos. Así por ejemplo, el ABS con el PVC nos da un plástico de alta resistencia a la flama que le permite encontrar amplio uso en la construcción de televisores.

Otras aplicaciones importantes del ABS son la fabricación de tuberías, juntas, revestimientos para las puertas de los refrigeradores y partes moldeadas de automóviles.

CAPÍTULO 3

CARACTERÍSTICAS DE LA INYECTORA

3.1 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS FUNCIONALES Y DIMENSIONALES.

3.1.1 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS FUNCIONALES.

Los principales sistemas de una máquina inyectora son el sistema de inyección, de cierre y de alimentación, y su selección y diseño dependen de la capacidad de inyección que se quiere obtener con la maquinaria.

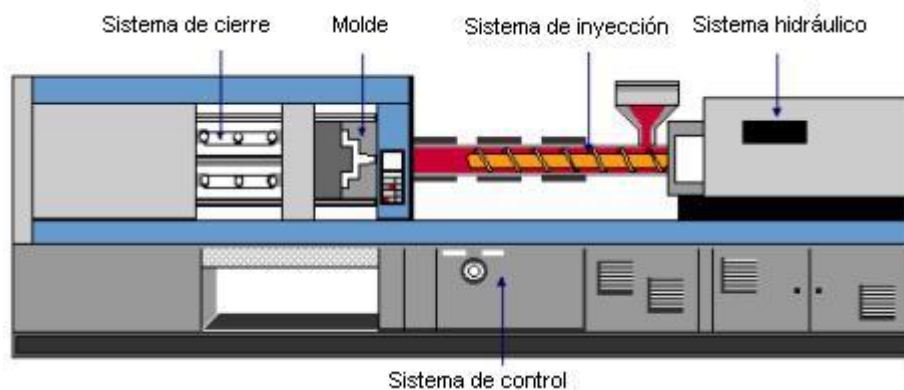


Figura.3.1 : Sistemas y partes básicas de una inyectora de plástico

Los parámetros fundamentales que se debe tener en cuenta en el proceso de inyección son la temperatura y cantidad de material que emite el cilindro de inyección, presión y velocidad de inyección, duración del ciclo, temperatura del molde, rendimiento térmico del cilindro de inyección, índice de pérdidas de presión en el cilindro de inyección y la capacidad plastificadora de la máquina.

Para el cálculo de estos parámetros fundamentales basta conocer el volumen del artículo, la velocidad y presión específica de inyección y la fuerza de cierre del molde.

3.1.2 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DIMENSIONALES.

Debido a que se trata de un prototipo para laboratorio, la inyectora va a ser diseñada para una capacidad de 10 gramos, por lo que sus dimensiones van a ser las mínimas posibles para cumplir con los requerimientos de inyección.

Tomando en cuenta también su funcionalidad, accionar confiable, seguridad en operación y el uso de materiales disponibles y la tecnología para procesarlos.

3.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.

3.2.1 INVESTIGACIÓN DE VARIOS SISTEMAS DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS.

Según la disposición de los ejes de separación del molde y el mecanismo de inyección, las máquinas se clasifican en horizontales, verticales y angulares; por el sistema de accionamiento pueden ser hidráulicas, neumáticas, hidromecánicas. Además se dividen en máquinas de émbolo y de husillo con o sin plastificación previa.

Disposición de la inyección:

La mayoría de las máquinas trabajan de manera horizontal, es decir, la inyección se realiza perpendicularmente a la línea de separación del molde. La inyección de manera vertical se realiza cuando se tiene moldes de gran peso con amplios canales de inyección, necesarios cuando se desee introducir elementos metálicos. Los sistemas angulares se usan cuando hay una plastificación previa del material, y se encuentra generalmente en máquinas que han sido modificadas para mejorar su rendimiento.

Sistema de inyección:

Dentro de los sistemas de la máquina, el de inyección es el más importante, que consta de elementos con funciones determinadas para dosificar el material, plastificarlo e inyectarlo, así como los accionamientos para el desplazamiento del émbolo o rotación y avance del husillo.

La plastificación e inyección del material pueden realizarse conjuntamente o por separado, y los mecanismos pueden ser de émbolo o de husillo.

Los mecanismos de émbolo poseen una elevada presión de inyección pero presentan problemas de deficiencia en la plastificación y se debe usar en el cilindro espaciadores o torpedos para suplir esta falencia. El sistema en la actualidad se emplea para maquinarias de pequeña capacidad.

El mecanismo de uno o varios husillos se emplean en la mayoría de máquinas modernas y encuentran gran aplicación debido a su elevada capacidad plastificadora y reducida presión de inyección, pero su construcción es más complicada, y para su funcionamiento se requieren elementos anexos para la rotación y el desplazamiento axial, lo que lo hace aún más costoso.

Ambos mecanismos pueden interactuar conjuntamente realizándose por lo general la plastificación en el husillo y la inyección a través del pistón, mejorando así el rendimiento de la máquina. Es usado también cuando se desea modernizar inyectoras. Tienen una gran capacidad pero son las más costosas, por su complicada tecnología.

Sistema de cierre

Este mecanismo debe abrir y cerrar el molde, mantenerlo bajo la presión determinada durante la inyección, maduración y refrigeración. Se clasifican en mecanismos de accionamiento hidráulico, hidromecánico y mecánico; todos ellos complementados con dispositivos que aseguren el cierre del molde bajo la presión determinada.

Al usar mecanismos hidráulicos o neumáticos la fuerza de cierre se debe mantener regulando la presión del líquido o aire según el caso, tomando en cuenta que la presión aumentará progresivamente durante la inyección.

El cierre con mecanismos mecánicos o hidromecánicos son cinemáticos y el cierre del molde es perfecto, y se mantiene en este estado gracias a las fuerzas internas que surgen como resultado de la deformación elástica de los eslabones.

El sistema de cierre hidromecánico es el más usado en las inyectoras industriales debido a que se tiene ventajas obtenidas sobre el esfuerzo de accionamiento que necesita, peso reducido y velocidad de cierre elevada.

El sistema de cierre neumático es usado cuando se requiere una menor capacidad de cierre.

Sistema de accionamiento

Existen varios tipos básicos de accionamientos: hidráulico, neumático, mecánico y electromecánico.

En el sistema hidráulico y neumático se usa aceite o aire respectivamente a presión; tienen un peso reducido, cierre suave, ocupa poco espacio y puede controlarse su velocidad para la inyección. El accionamiento hidráulico es el más empleado en la actualidad, mientras que el neumático se reserva para máquinas de capacidad reducida.

El accionamiento electromecánico se emplea en maquinaria de gran capacidad, son sistemas complejos debido a que la fuerza electromotriz debe ser transmitida a los elementos mecánicos de cierre y de inyección, por lo que su uso es reducido.

3.2.2 SELECCIÓN DEL MEJOR SISTEMA QUE SE ADAPTA A LAS NECESIDADES OPERACIONALES, DIMENSIONALES Y DE DESEMPEÑO.

Una vez que se han analizado las características de los principales sistemas de una inyectora de plásticos se debe elegir la mejor alternativa aplicada a las necesidades del prototipo al que está orientado este proyecto, tomando en cuenta factores como: facilidad de construcción, costo y fiabilidad.

Sistema de inyección:

Tabla 3.1 Matriz de decisión

Alternativa	Capacidad de plastificación	Facilidad de fabricación	Costo	Total
	Porcentaje de importancia			
	40	40	20	
Émbolo	50	90	100	76
Husillo	100	50	50	70
Émbolo husillo	100	50	40	68

A pesar de que la capacidad plastificadora del husillo es superior a la del émbolo, su construcción es compleja y costosa puesto que requiere de elementos anexos para su funcionamiento. El sistema de émbolo para la inyección se aplicará en este diseño tomando en cuenta que el volumen de plastificación es pequeño.

Sistema de cierre:

Tabla 3.2 Matriz de decisión

Alternativa	Facilidad de fabricación	Costo	Total
	Porcentaje de importancia		
	60	40	
Hidráulico	100	50	80
Mecánico	70	100	82
Hidromecánico	40	50	44

Los sistemas de cierre mecánico e hidráulico pueden ser aplicados en el proyecto, sin embargo el sistema hidráulico resulta más demostrativo puesto que se podría medir la presión de cierre. Debido a que el Laboratorio de Metalurgia no posee una bomba hidráulica y su adquisición es costosa, se empleará un gato hidráulico de accionamiento manual.

Sistema de accionamiento:

Tabla 3.3 Matriz de decisión

Alternativa	Fiabilidad	Costo	Total
	Porcentaje de importancia		
	60	40	
Hidráulico	100	50	80
Neumático	100	50	80
Electromecánico	70	60	66
Manual (VM)	80	90	84

Los sistemas de accionamiento hidráulico se emplean en inyectoras de alta capacidad. El accionamiento neumático para inyección podría ser apropiado, pero el cilindro neumático es costoso. El apropiado es el sistema manual, aprovechando una cierta ventaja mecánica, además se inyectarán productos de poco volumen y formas no complejas.

CAPÍTULO 4

DISEÑO DE INYECTORA

4.1 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN EL CILINDRO INYECTOR

Tanto para el análisis de pérdidas de presión en el cilindro inyector como para la variación de temperatura en el fluido, se utiliza el programa COSMOS FloWorks 2005 tomando en cuenta las siguientes consideraciones.

El cilindro inyector ha sido dimensionado de tal manera que admita un volumen de 11 cm³ en cada una de sus tres secciones: cono de entrada, canales coaxiales cilíndricos y cono de salida. Este volumen de 11 cm³ se debe a que la capacidad del molde es de 6.5 gr pero por posibles pérdidas se lo ha multiplicado por un factor práctico de 1.5.

$$\text{Volumen del molde} = 6.5054 \text{ cm}^3 * 1.5$$

$$\text{Capacidad del molde} = 9.7581 \text{ cm}^3$$

$$\text{Capacidad del molde en gramos} = \text{Capacidad del molde} * \text{Densidad}$$

$$\text{Capacidad del molde} = 9.7581 \text{ cm}^3 * 0.92 \text{ (gr/cm}^3\text{)} = 8.977 \text{ gr}$$

$$\text{Capacidad de la máquina} = 10 \text{ gr.}$$

El objetivo de esto es que en cada sección del cilindro permanezca la cantidad necesaria de material por un tiempo determinado para ser inyectado posteriormente dentro del molde

Se utiliza un torpedo dentro del cilindro inyector para aumentar el área de transferencia de calor y mejorar la capacidad plastificadora del cilindro. El tiempo en que el fluido permanece en cada etapa es de 20 segundos y la inyección se llevará a cabo en 5 segundos, lo que da una capacidad de inyección de 1 pieza por minuto, debido a que no posee sistema de expulsión.

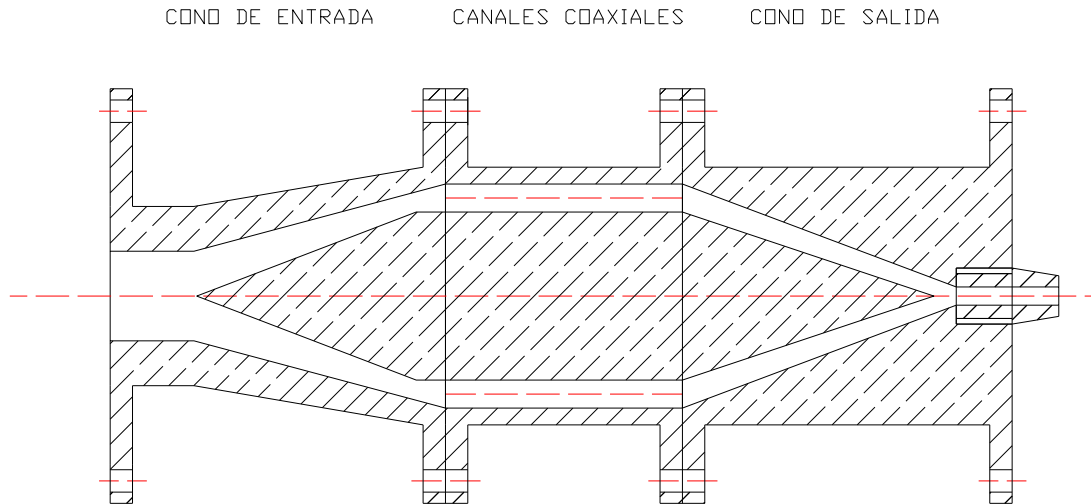


Figura. 4.1 Secciones del cilindro plastificador

Durante estos 20 segundos, el fluido está sometido a presión de inyección por parte del mecanismo de inyección y hay una transferencia de calor con las paredes del cilindro que están a 180 °C y entre las moléculas del fluido; este intercambio de calor debe llegar a fundir por completo al polímero hasta llegar a la boquilla.

Los valores arrojados por el programa son analizados para comprobar si las dimensiones del cilindro son las adecuadas para lograr fundir por completo el polietileno y vencer todas las pérdidas de presión, tanto en el cilindro inyector como en el molde.

Para el análisis en COSMOS FloWorks las secciones se han analizado independientemente, asumiendo como límites iniciales para el cono de entrada los siguientes:

- Temperatura inicial del polímero = Temperatura ambiente
- Presión del cilindro 8 Bar

Para las dos posteriores secciones se toma como parámetros iniciales los finales de la anterior para calcular pérdidas de presión y variación de temperatura.

Dentro de los parámetros que el programa requiere para realizar el análisis están: dimensiones del cilindro, temperatura de pared, densidad, viscosidad y calor específico del fluido. Para el cálculo de la viscosidad se ha tomado en cuenta que los polímeros son fluidos “No Newtonianos”.

El coeficiente de viscosidad (na) es llamado viscosidad aparente. En los fluidos newtonianos un valor de na caracteriza el fluido, en cuanto que para los No Newtonianos el valor de na varía con la fuerza aplicada produciendo diferentes tipos de comportamiento en función del esfuerzo cortante τ .

Cuando la fuerza aplicada aumenta la fluidez del sistema o cesa, baja su viscosidad independientemente del tiempo de aparición de la fuerza, tenemos un tipo de fluido que es llamado **Pseudoplástico** y, al cesar la causa deformante, el fluido vuelve a tener el valor de la viscosidad aparente inicial (n_{ap}). A este caso pertenecen tanto el polietileno como el poliestireno que serán utilizados en nuestro análisis

“Para líquidos No Newtonianos, la viscosidad obedece aproximadamente a la Ley de Potencia.

$$\eta = K * (\dot{\gamma})^{n-1} \quad (4-1)$$

Siendo K el coeficiente de consistencia y n el índice de la ley de potencia”¹

Los parámetros K y n que le programa COSMOS FloWorks requiere para analizar el sistema con un fluido No Newtoniano no han sido encontrados tabulados y basándonos en el criterio de que “materiales que tienen los valores de viscosidad mas constantes o sea menos dependientes de la variación de la temperatura del proceso son el polietileno (PE) y el poliestireno (PS)”², se calcula la viscosidad aparente (na) en base a parámetros reológicos y se la considera como constante para realizar un análisis Newtoniano en COSMOS FloWorks.

COSMOS FloWorks, Tutorial On Line, Pag 177¹

MOLDES Y MAQUINAS DE INYECCION PARA LA TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS,
Gianni Bodini, Tomo I, Pag 51²

4.1.1 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN EL PROGRAMA COSMOS FLOWWORKS:

Cosmos FloWorks es un complemento de Solid Works que nos va a ayudar con el cálculo de la pérdida de presiones en el cilindro inyector.

A continuación se presenta un *ejemplo del cálculo de pérdidas de presión en la primera parte del cilindro inyector*. Debido a que el Paquete computacional FloWorks es un complemento de Solid Works, primero hay que saber manejar Solid Works, para poder hacer todos los sólidos que se necesite para hacer el análisis.

1.- Creación del sólido de interés para el análisis.

En este caso se hace primero un croquis de la primera parte del cilindro plastificador que se llamará Parte 1.

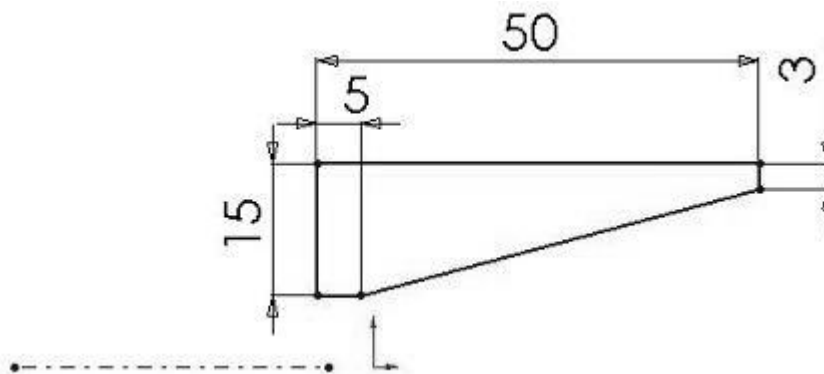


Figura 4.2 Croquis Parte 1

A este croquis se lo convierte en sólido de revolución y queda así:

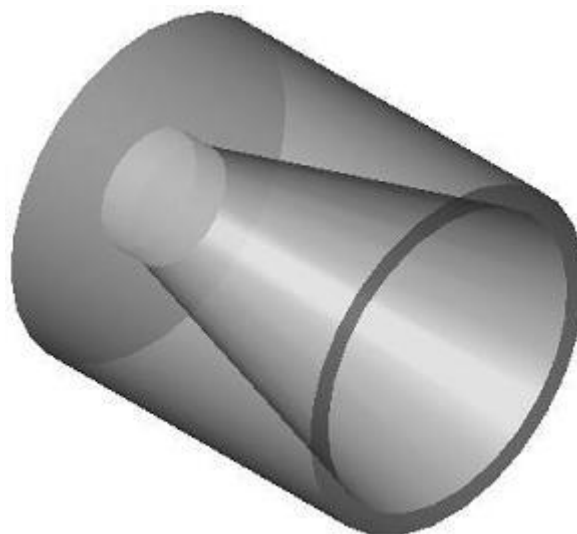


Figura 4.3 Sólido Parte 1

Sin embargo, para el análisis de la Parte 1 se necesita la parte 2 que embona en la parte 1, de esta manera se dibuja la Parte 1 con todos los elementos que se va a necesitar para el análisis.

Se edita el croquis y se coloca el cono 1:

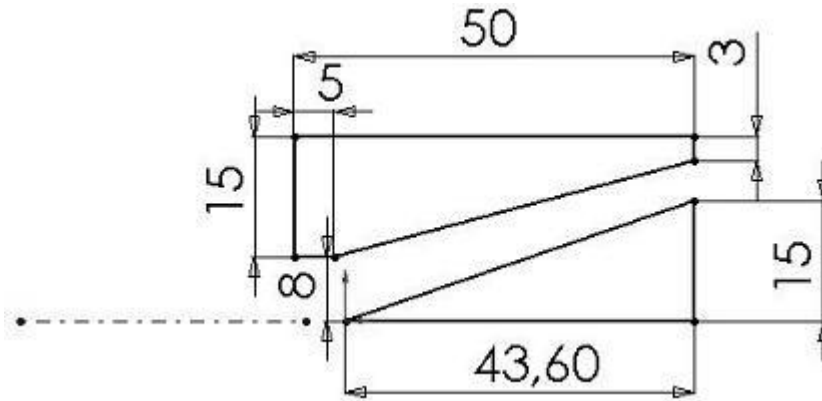


Figura 4.4 Croquis Parte 1 completa

Y el sólido queda así:



Figura 4.5 Sólido Parte 1 completa

En FloWorks se deben trabajar con envases cerrados, esto quiere decir que se deben poner tapones al ingreso y salida del material en el sólido que se está analizando, adicionalmente, poner las condiciones iniciales de presión y velocidad de flujo.

2.- Definición de un nuevo líquido de trabajo.

Si el líquido con el que se quiere trabajar no está definido en la base de datos del programa, se puede definir uno con las propiedades que se necesite. En este caso es un líquido no newtoniano, llamado polietileno de baja densidad.

Sin embargo, para facilitar el cálculo, se decidió definir un líquido newtoniano con el fin de que el análisis no se complique de sobremanera, y, los resultados van a ser muy aproximado a los deseados.

Para generar una base de datos de un nuevo material, ir al menú FloWorks>Tools>Engineering Database. Allí se despliega Material, Liquids, User Defined; para definir un material de usuario hacer clic en nuevo.

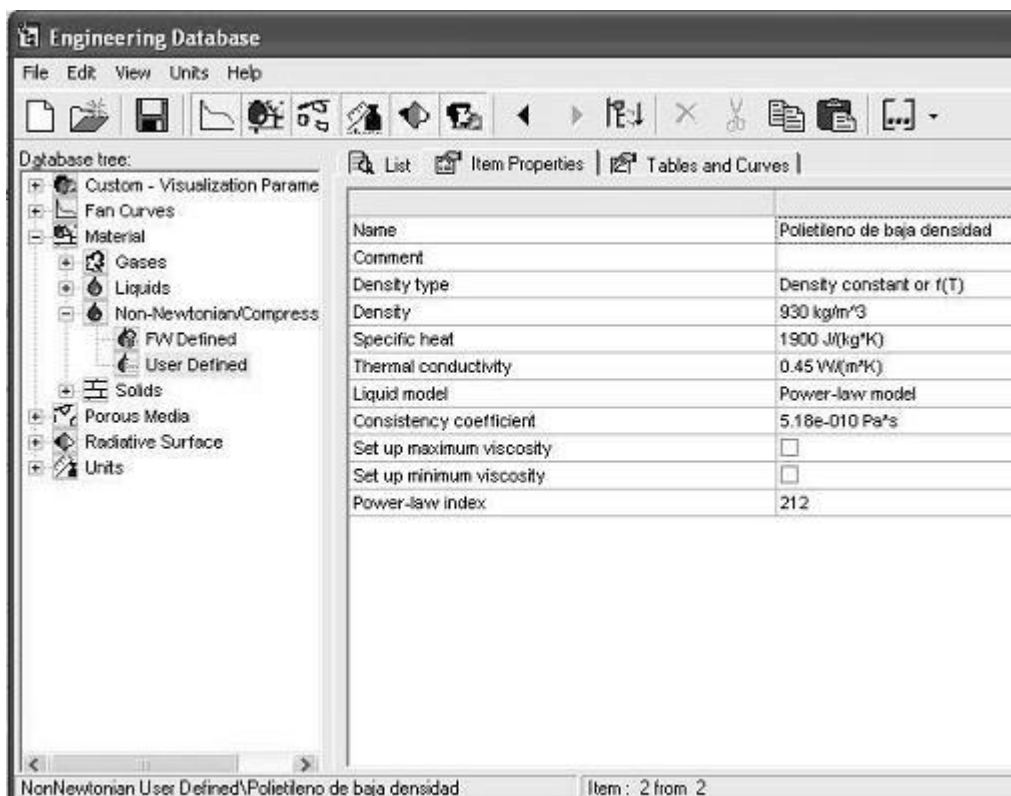


Figura 4.6 Ventana Materiales Solid Works

Los valores de viscosidad dinámica y conductividad térmica fueron puestos en una tabla en función de la temperatura.

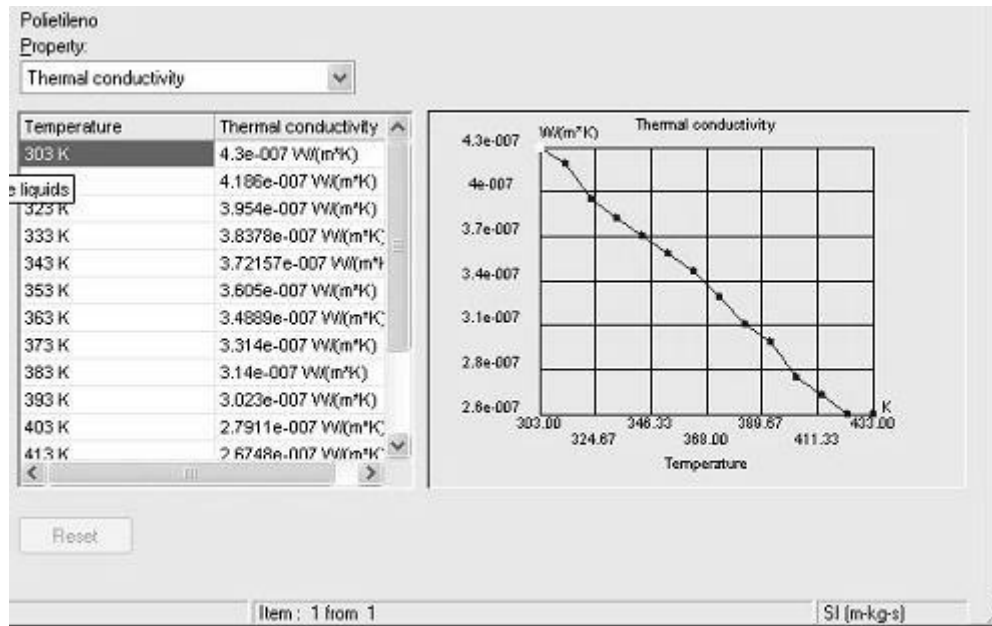


Figura 4.7 Curva Temperatura vs. Conductividad térmica PE

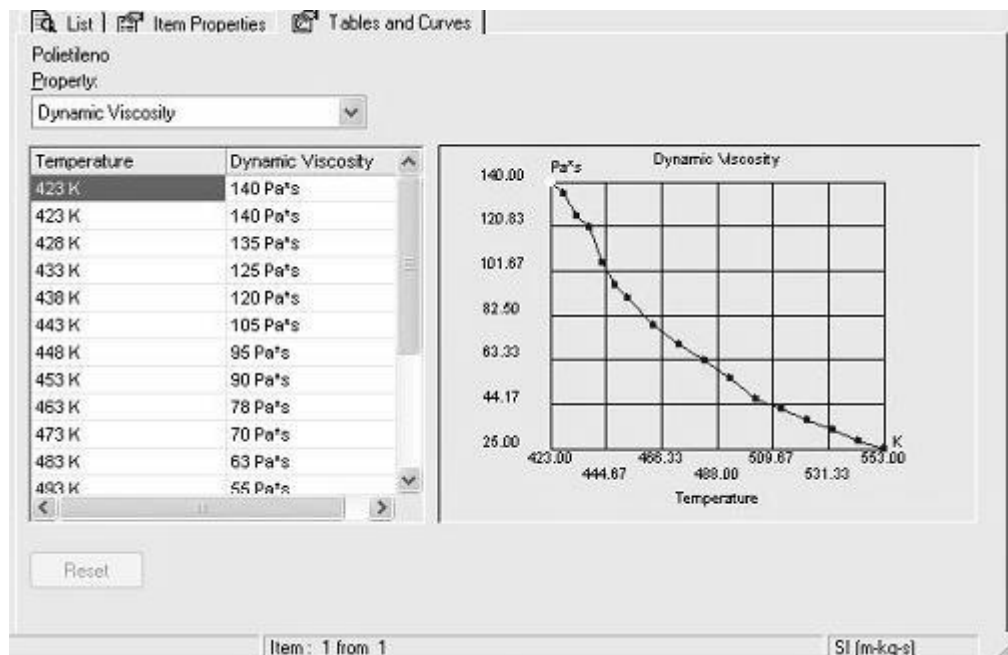


Figura 4.8 Curva Temperatura vs. Viscosidad Dinámica

En general todos los valores de preferencia deben ser puestos en tablas para que el paquete al momento de calcular tenga una función de referencia, y no un valor constante que hace que tenga que hacer más iteraciones hasta que el valor ajuste.

3.- Definición de la cavidad cerrada de análisis.

Colocar los dos tapones, uno a la entrada y uno a la salida:

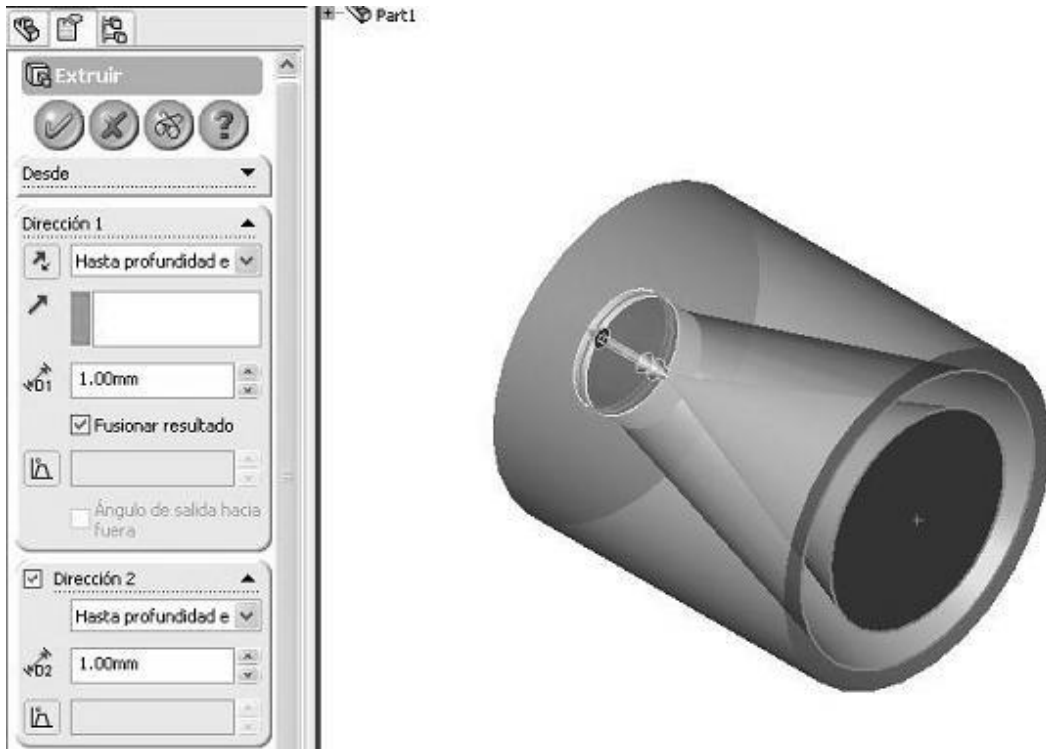


Figura 4.9 Colocación tapón 1

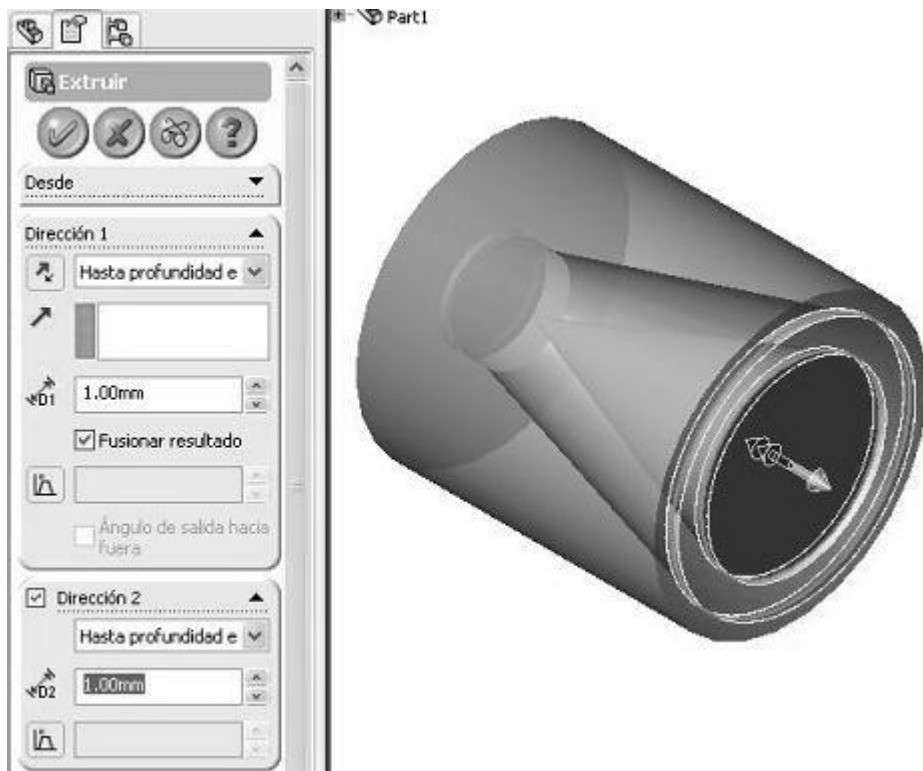


Figura 4.10 Colocación tapón 2

4.- Nuevo proyecto de estudio en FloWorks.

Ahora se puede hacer un nuevo proyecto en FloWorks:

Ir al menú Floworks> Project > Wizard; para que escoja el proyecto actual.

Si se escoge New en lugar de Wizard, se abre directo la viñeta de FloWorks y no permite configurar las características paso a paso.



Figura 4.11 Menú selección nuevo proyecto

Se abre la ventana que ayuda a configurar el proyecto paso a paso.

De esta manera, en esta primera ventana se escoge current, porque se quiere crear un proyecto con el sólido que se tiene abierto en este momento, hacer clic en siguiente.

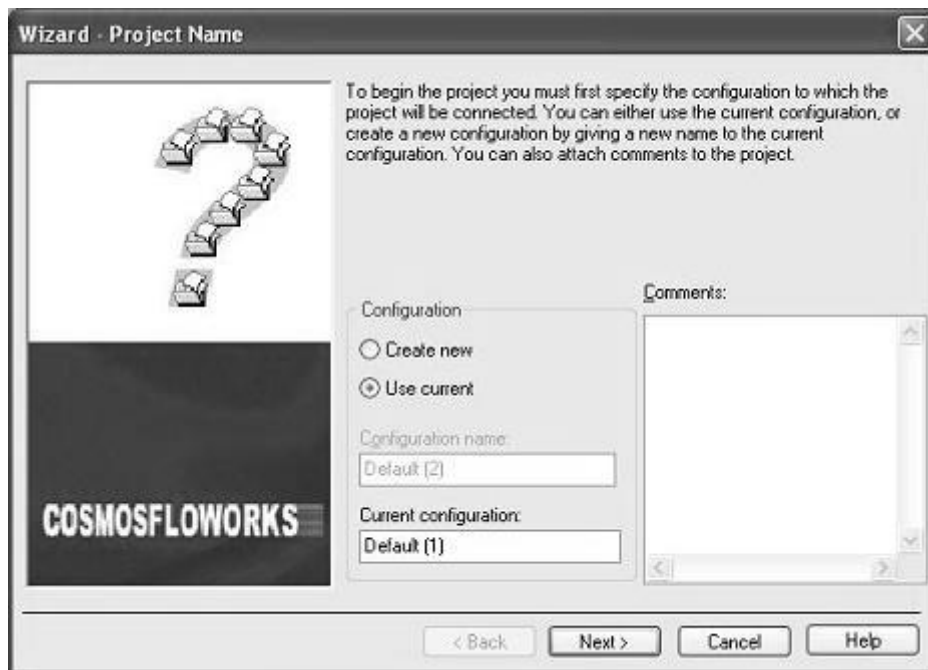


Figura 4.12 Proyecto FloWorks Ventana 1

Aquí se escoge el sistema de medida, en este caso, Sistema Internacional (SI). Hacer clic en siguiente.

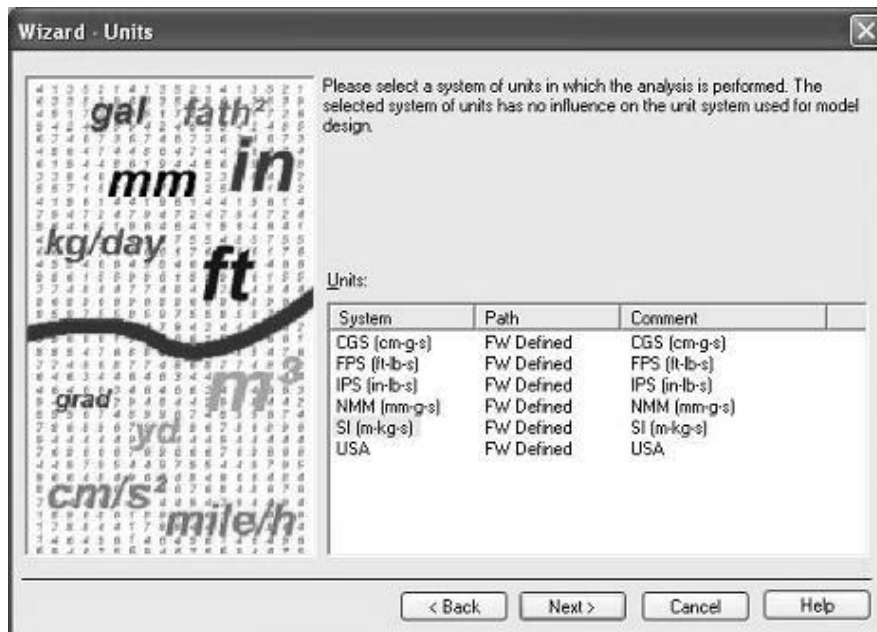


Figura 4.13 Proyecto FloWorks Ventana 2

Luego se escoge las características físicas, es decir, tipo de fluido, tipo de flujo, tipo de transferencia de calor. En este caso se escoge en tipo de fluido: líquido. Tipo de flujo: Sólo laminar. Se quiere transferencia de calor en sólidos, así que se hace un clic en ese campo también.

Y se desea Dependencia del tiempo, porque se quiere analizar las pérdidas de presión al momento que se está realizando la inyección, que es aproximadamente 5 segundos, configurado en Time Settings...

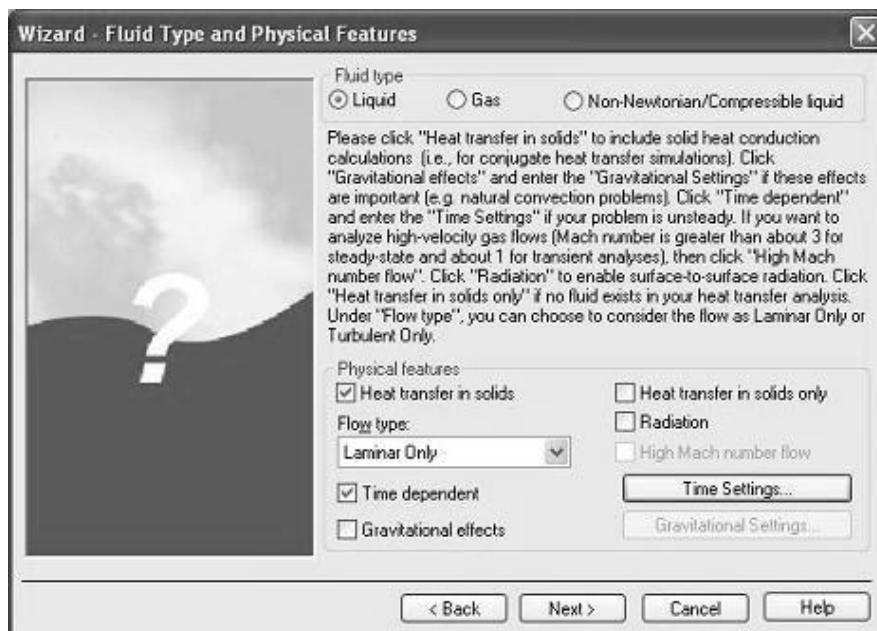


Figura 4.14 Proyecto FloWorks Ventana 3

En esta ventana se configura características de rotación, ninguna en este caso.

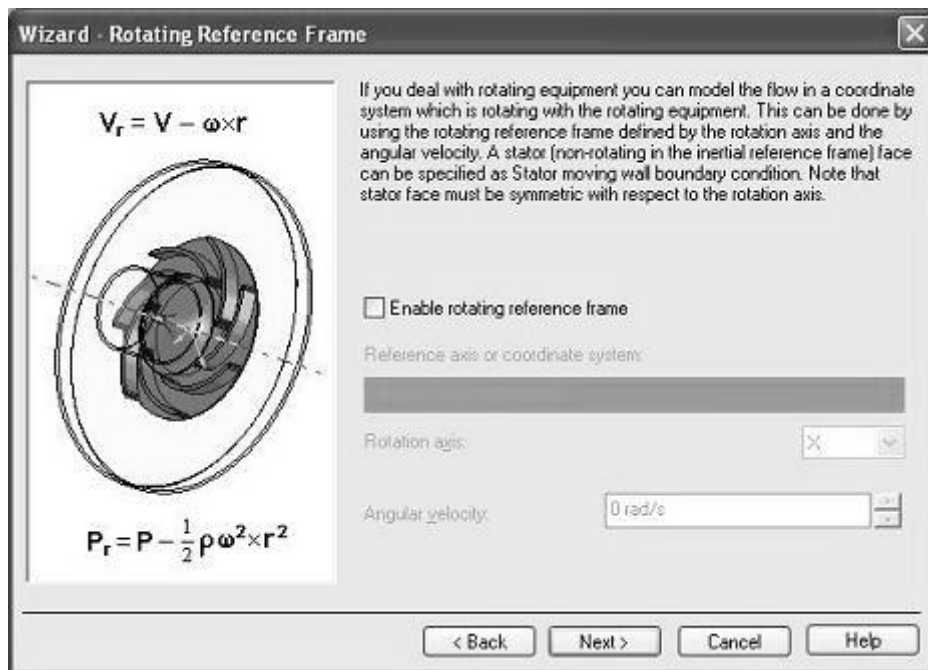


Figura 4.15 Proyecto FloWorks Ventana 4

En tipo de análisis se selecciona interno, el eje de referencia es el eje en el que se va a desplazar el fluido, el eje x en este caso.

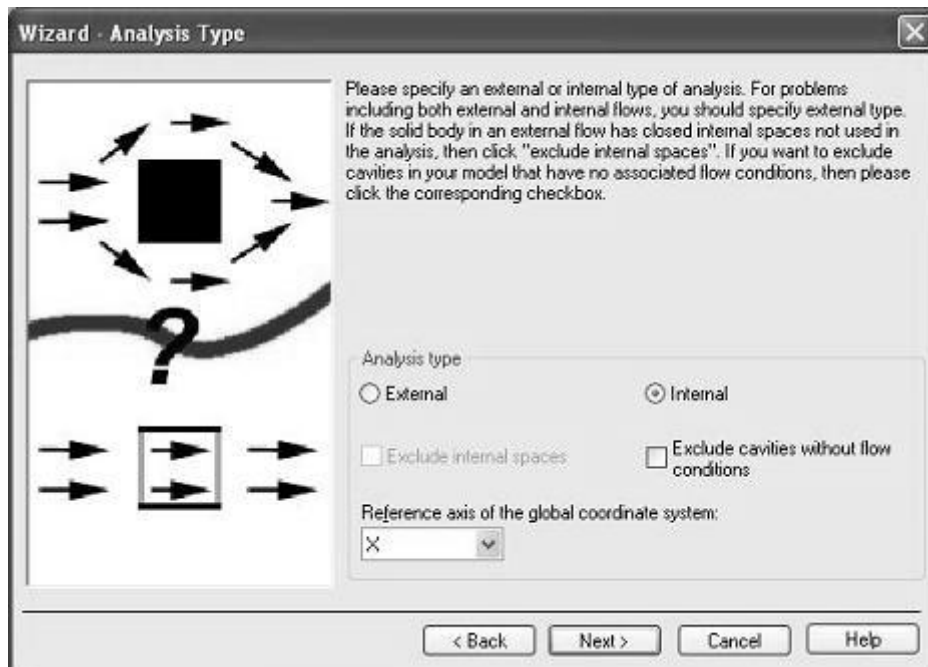


Figura 4.16 Proyecto FloWorks Ventana 5

Aquí se escoge temperatura de pared 180 °C, es decir 453 K, es la temperatura que se desea mantener en las paredes del cilindro inyector.

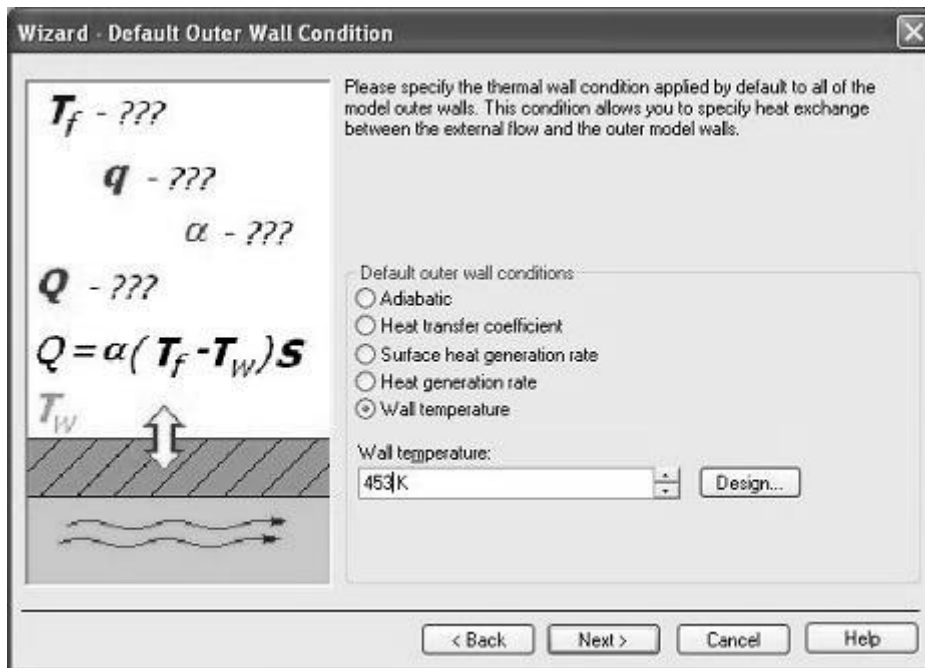


Figura 4.17 Proyecto FloWorks Ventana 6

Ahora se escoge el tipo de material sólido (cilindro inyector), acero, en este caso.

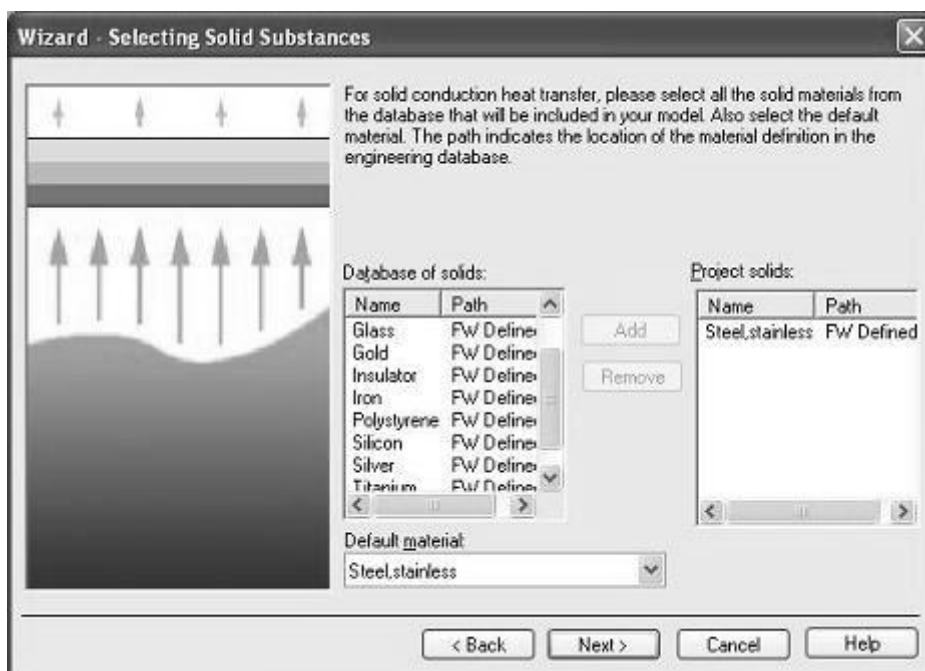


Figura 4.18 Proyecto FloWorks Ventana 7

Se escoge la rugosidad del material, en este caso 46 micrómetros, para el tipo de acabado que se la va a dar.

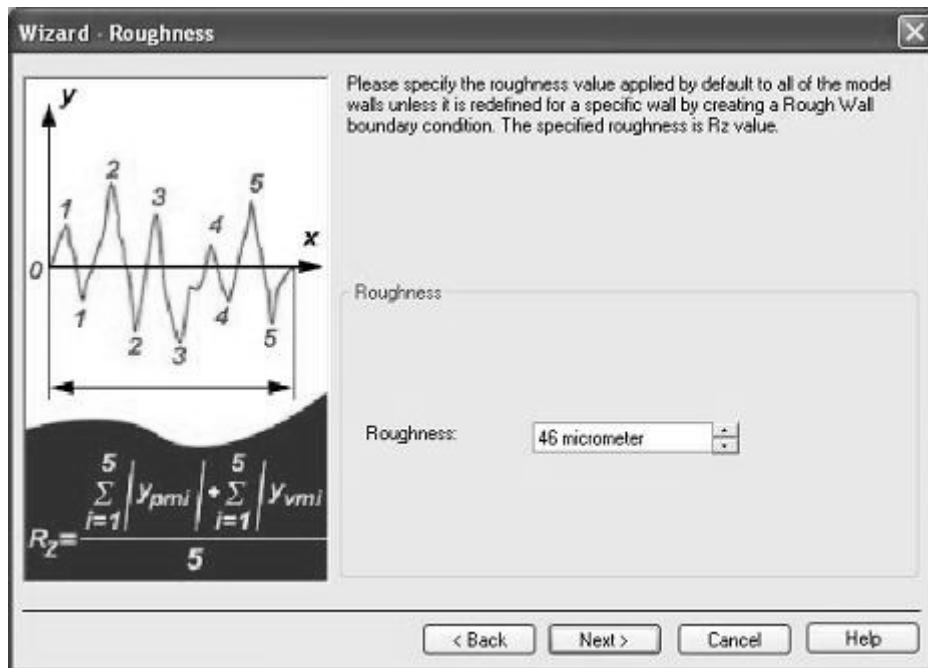


Figura 4.19 Proyecto FloWorks Ventana 8

Se escoge el tipo de fluido, va a ser el material predefinido:

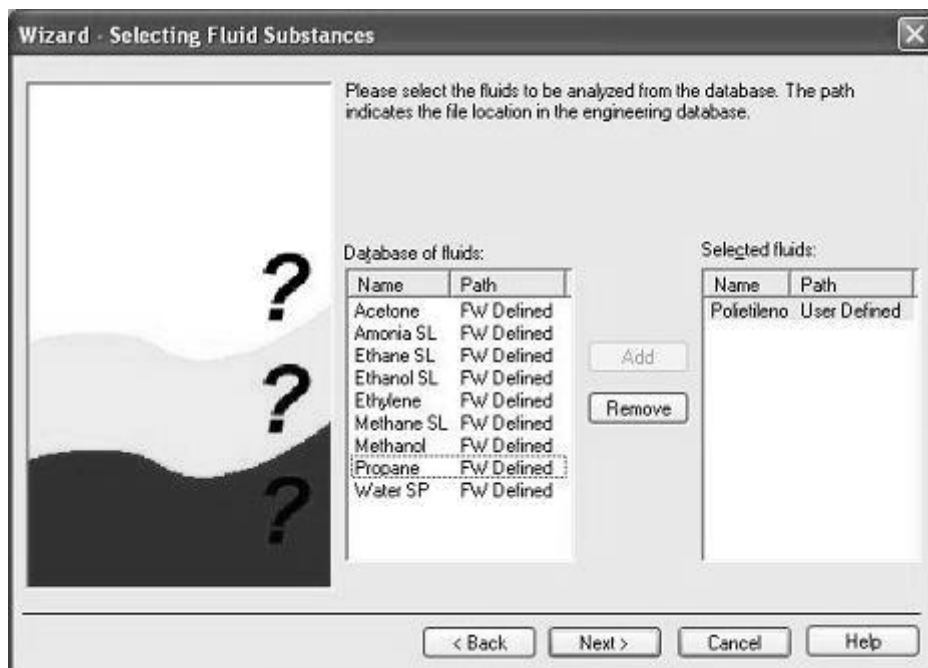


Figura 4.20 Proyecto FloWorks Ventana 9

Se revisan las condiciones de inicio, por defecto se colocan en condiciones ambiente.

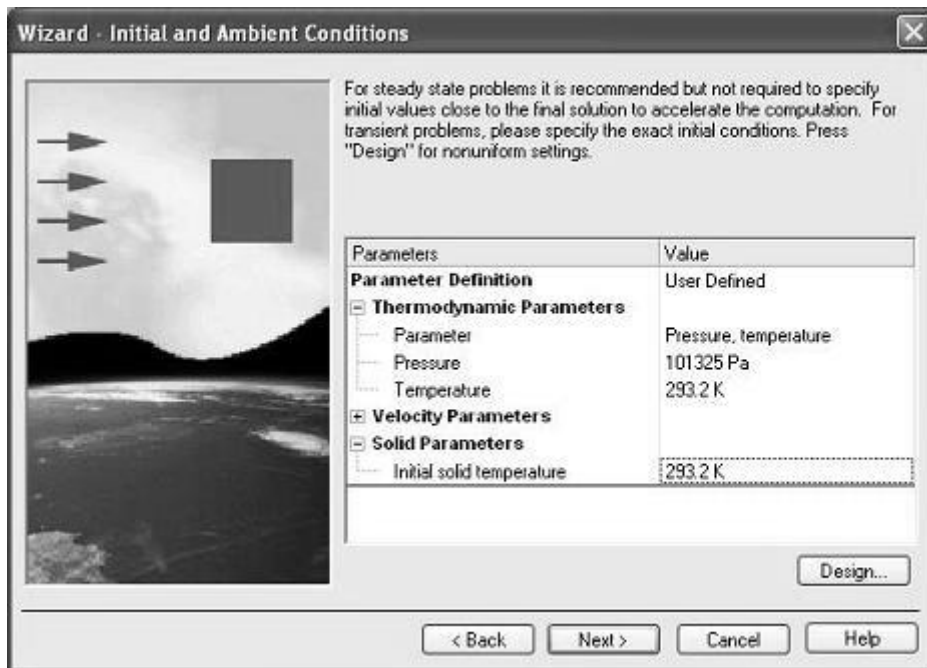


Figura 4.21 Proyecto FloWorks Ventana 10

Aquí se puede hacer que recalcule el espesor y profundidad de canales mostrados en la figura. No aplica este caso.

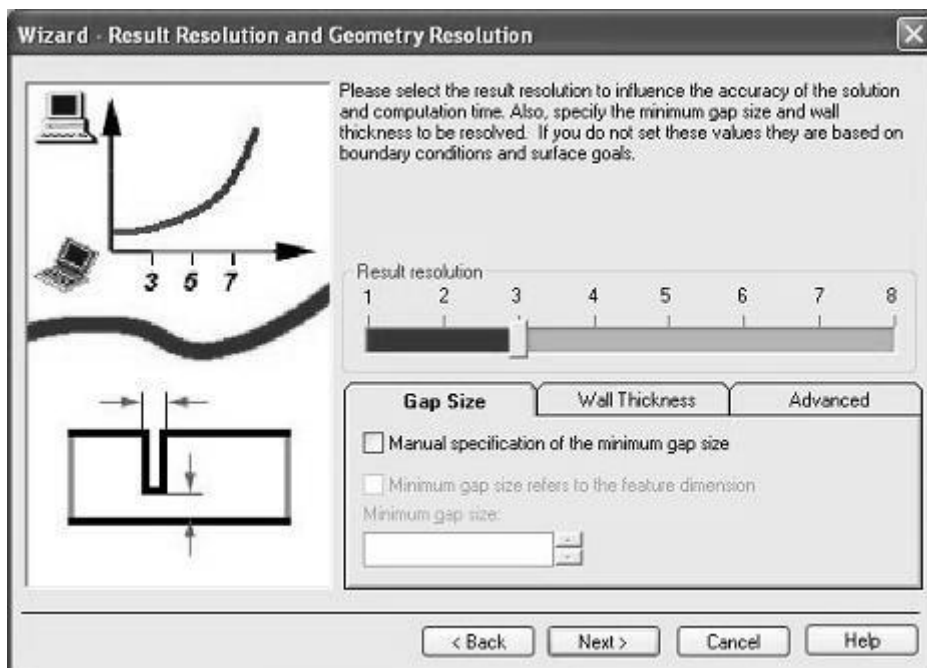


Figura 4.22 Proyecto FloWorks Ventana 11

Finalmente se revisan todas las condiciones que se han escogido, y se finaliza.

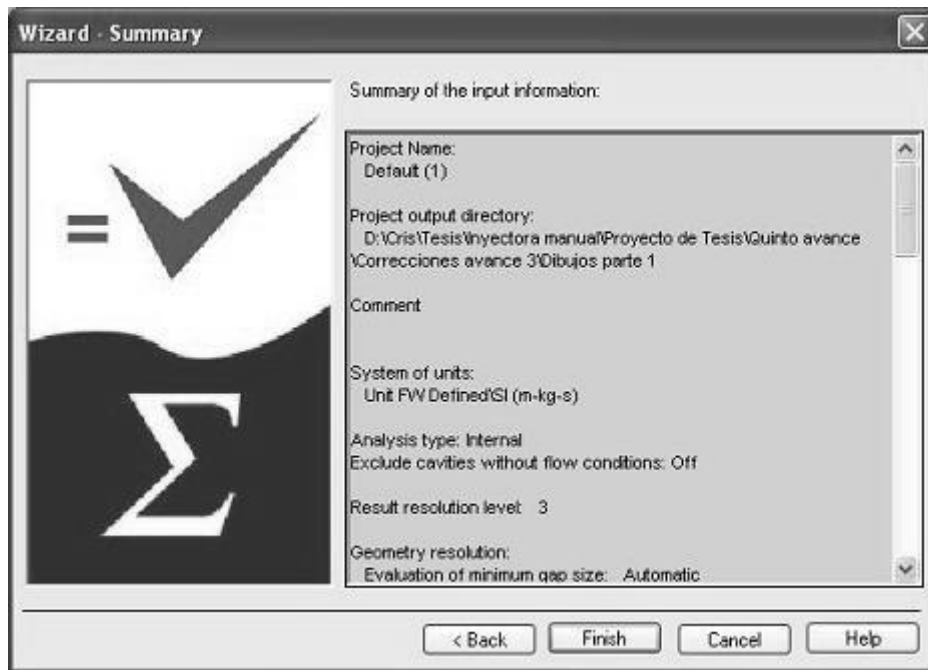


Figura 4.23 Proyecto FloWorks Ventana 12

5.- Condiciones de borde.

Ahora, se colocan las condiciones de borde, es decir, al inicio una presión de inyección de 60 bares, y al final una velocidad de flujo de $2.2 \text{ cm}^3/\text{s}$. Para esto se selecciona de la pestaña Floworks>Boundary Conditions, y se hace clic derecho para insertar la condición.

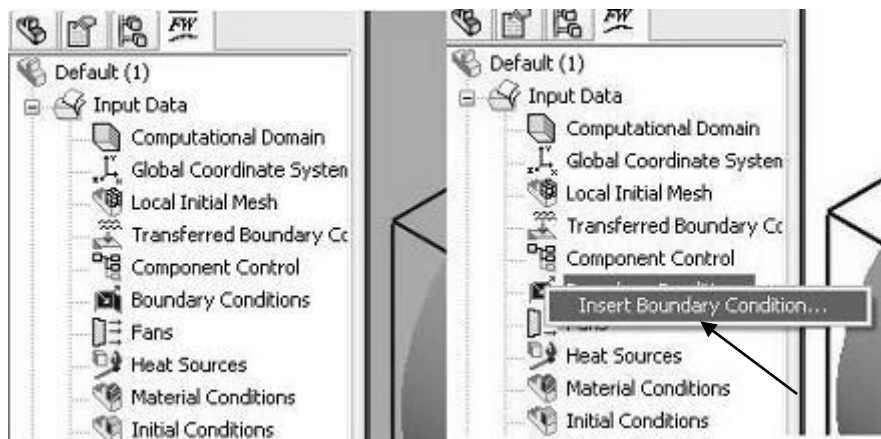


Figura 4.24 Proyecto FloWorks Condiciones de borde

Se escoge presión estática y la cara en la que se desea dicha presión.

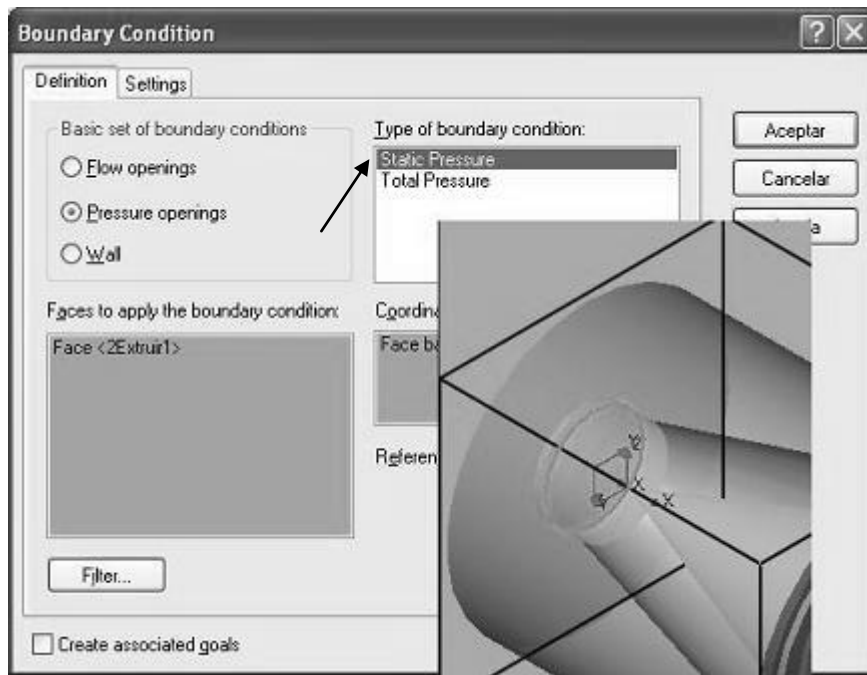


Figura 4.25 Proyecto FloWorks Condiciones de Borde Presión

En este caso, la presión de inyección es de 60 bares, equivalentes a 6000000 Pa. La temperatura del material es la ambiente, porque se realiza el ingreso de material.

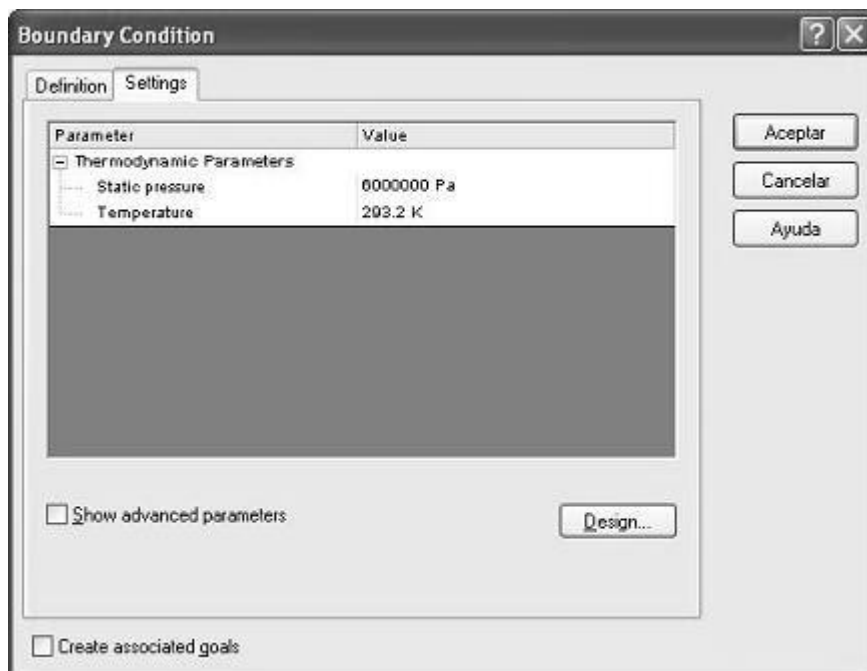


Figura 4.26 Proyecto FloWorks Condiciones de Borde Presión Inicial

La condición queda representada en el sólido así:

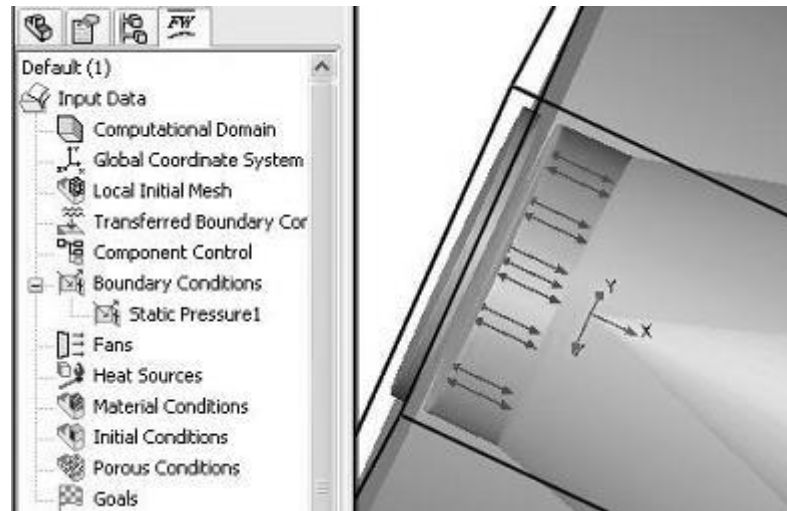


Figura 4.27 Proyecto FloWorks Condiciones de Borde Presión Pared

También se quiere establecer las condiciones de flujo, suponemos que se va a inyectar 11 cm^3 en 5 segundos, lo que produce una velocidad de inyección de $2.2 \text{ cm}^3 / \text{s}$.

Se escoge el tipo de flujo y la cara donde se desea simular el flujo.

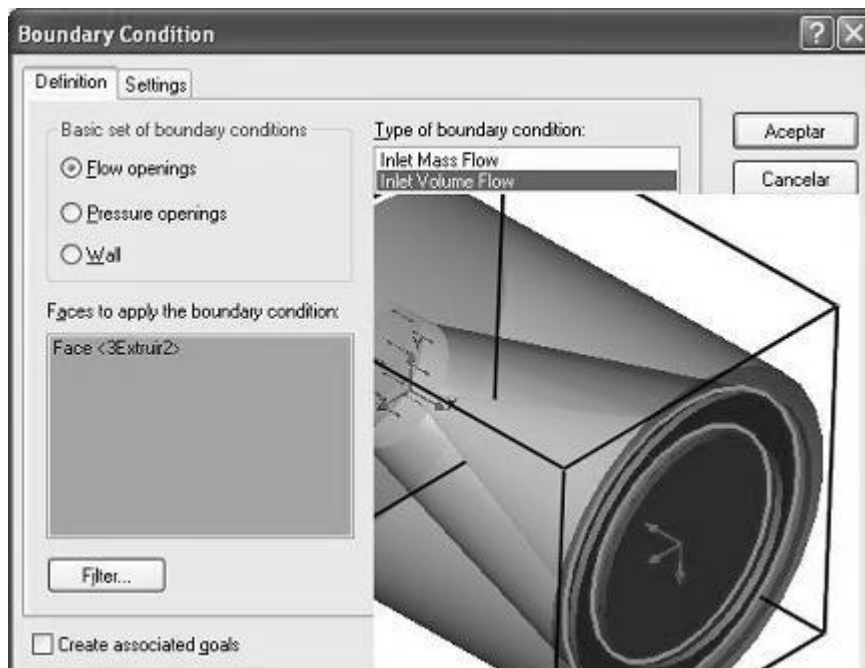


Figura 4.28 Proyecto FloWorks Condiciones de Borde de Flujo Pared 2

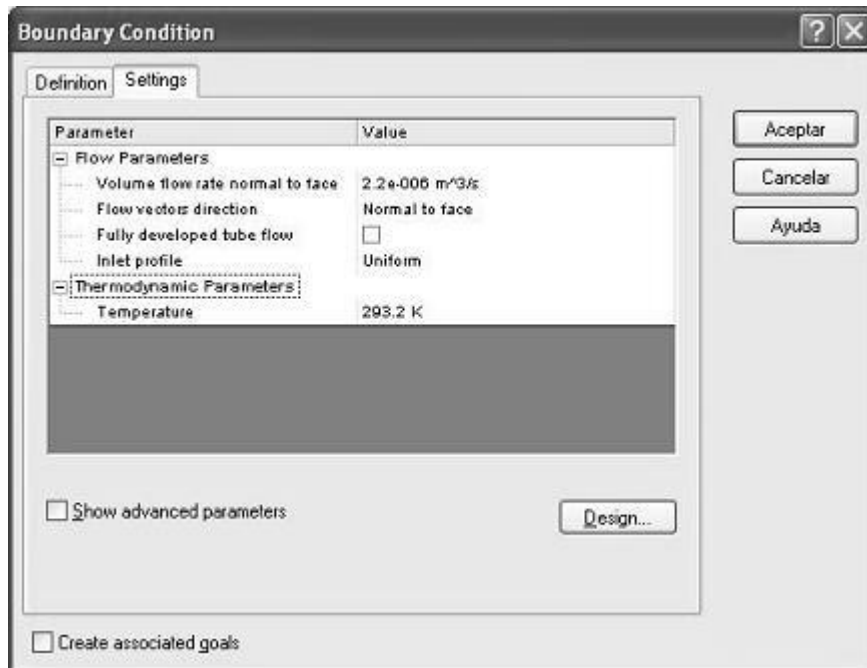


Figura 4.29 Proyecto FloWorks Cond. de Borde: Flujo

De esta manera quedan definidas las condiciones iniciales para la simulación:

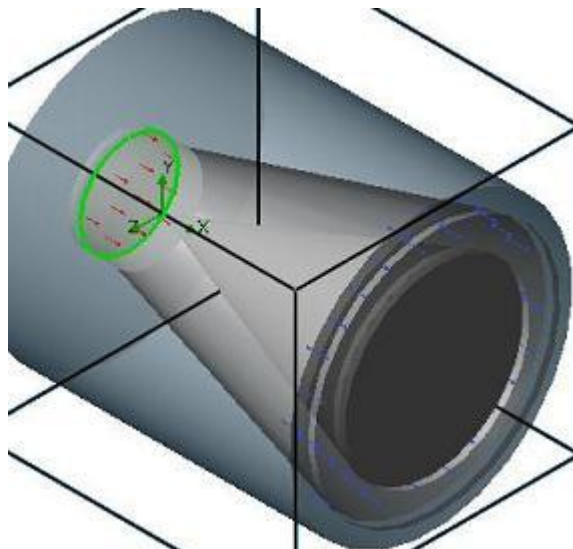


Figura 4.30 Proyecto FloWorks Condiciones de Borde Completo

6.- Metas del proyecto.

Finalmente se escogen las metas a las que se desea llegar con esta simulación. En el programa se llama "Goals". Hacer clic derecho en este menú y se escoge insertar metas.

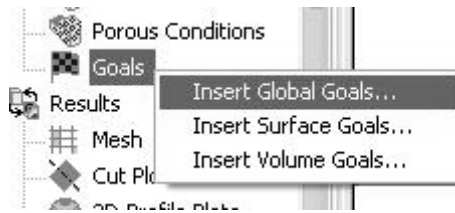


Figura 4.31 Proyecto FloWorks Metas

Se tiene una lista con numerosas opciones. Para este caso las más importantes son la presión estática, presión total, temperatura del sólido y la temperatura del fluido, ésta última es importante debido a que la condición final de esta parte será la inicial de la siguiente.

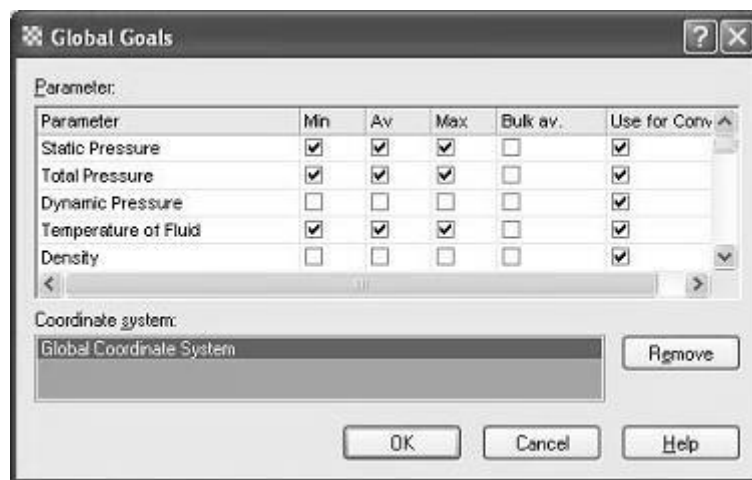


Figura 4.32 Proyecto FloWorks Selección Metas

7.- Corrida del programa.

Ya está todo configurado, y finalmente se procede a la simulación. Para esto se escoge del menú Floworks>Solve>Run.

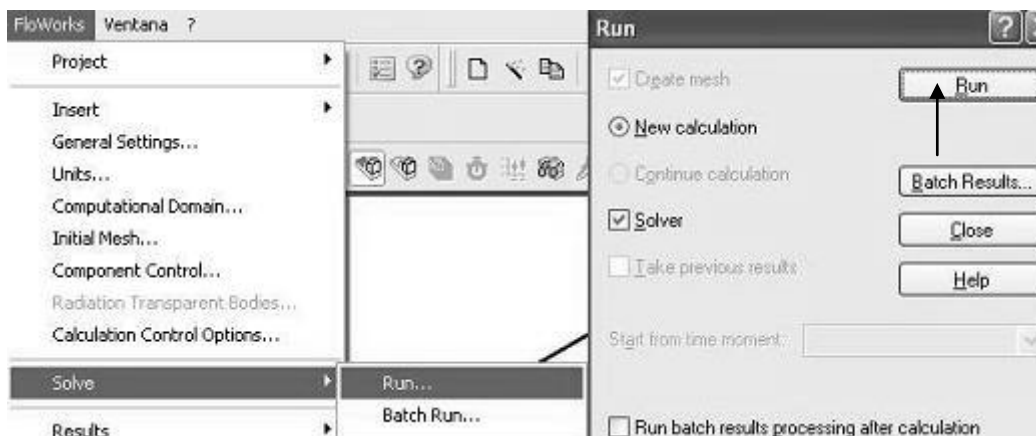


Figura 4.33 Proyecto FloWorks Corrida

Hacer clic en Run.

Aparece la ventana que indica que el programa está resolviendo el problema propuesto, para lo cual hace las iteraciones necesarias hasta ajustar el valor a los datos de propiedades de los materiales que antes se personalizó.

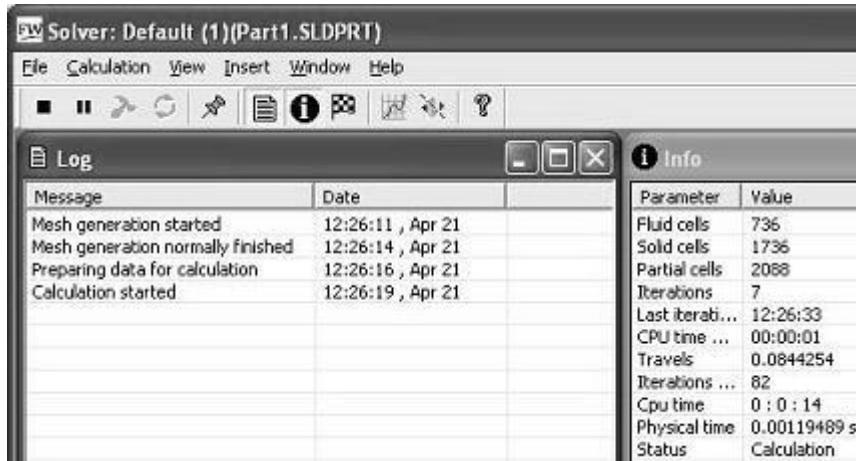


Figura 4.34 Proyecto FloWorks Corrida Cálculo

Cuando el cálculo termina, se cierra esa ventana y se carga los resultados

8.- Cargar archivos de resultados.



Figura 4.35 Proyecto FloWorks Resultados

Para esto se hace clic derecho en results y se escoge load Results. Automáticamente el programa abre la carpeta donde están los resultados. Hacer clic en abrir. Los resultados están listos para ser analizados.

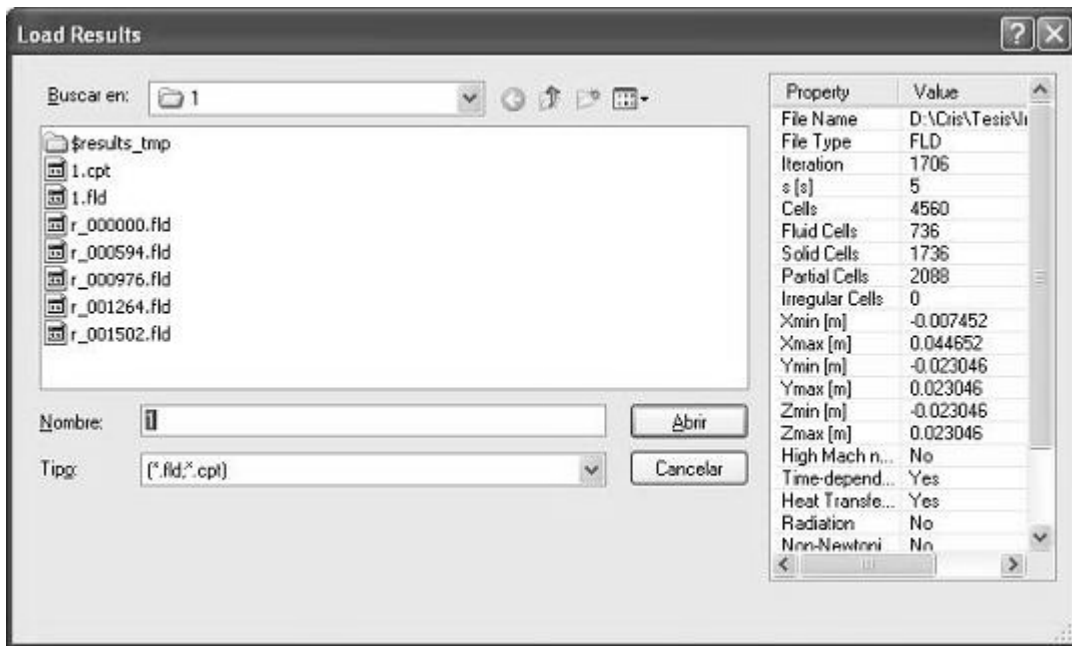


Figura 4.36 Proyecto FloWorks Carga de Resultados

9.- Análisis de resultados.

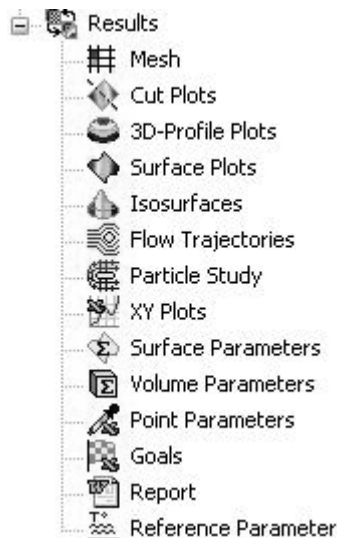


Figura 4.37 Proyecto FloWorks Análisis de Resultados

En resultados se tienen varias opciones. Se puede ver los resultados de las metas que se puso en Goals, o que el programa entregue un reporte completo en Report, trayectorias en Flow Trayectorias. Se puede visualizar la distribución de presión o temperatura o de cualquier parámetro que se haya puesto como meta en 3D-Profile Plots. Se puede ver el comportamiento de las variables en un punto de interés de estudio con Point Parameters.

Todas estas funciones se encuentran explicadas en la ayuda del FloWorks.

Este es un ejemplo de cómo se visualiza la distribución 3D de la presión a lo largo de la sección.

Anexo 2: Reporte del programa Flo Works de pérdidas de presión.

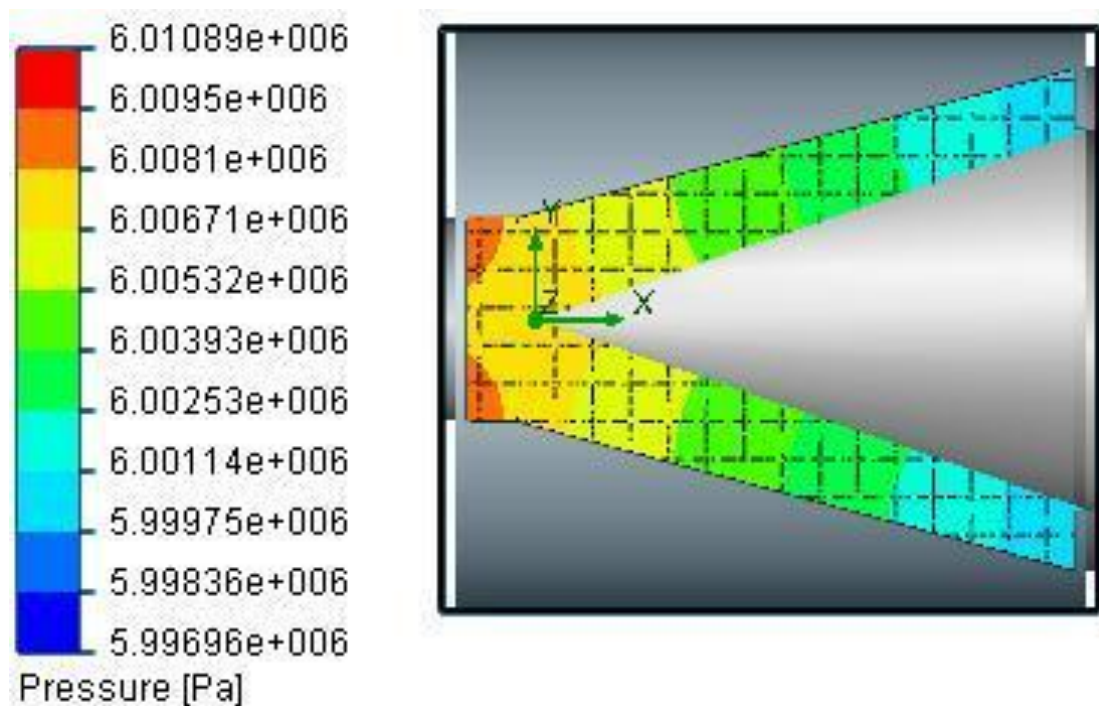


Figura 4.38 Proyecto FloWorks Ejemplo de Resultados (Presión)

Debido a que las longitudes de las secciones son cortas, las pérdidas de presión son mínimas, del orden de 10^{-6} Pa aproximadamente, lo que quiere decir que prácticamente no existiría pérdida de presión.

4.2 ANÁLISIS DEL CALENTAMIENTO EN EL CILINDRO INYECTOR

Uno de los parámetros fundamentales del proceso de inyección de plásticos es la capacidad plastificadora del cilindro, dentro del cual debe fundirse el polímero para que éste pueda ser inyectado a presión dentro del molde.

Para determinar la potencia de las bandas calefactoras en las tres secciones del cilindro: cono de entrada, torpedo y cono de salida; se considera la temperatura media que debe alcanzar en cada etapa el polímero hasta llegar completamente fundido a la boquilla para poder ser inyectado. Como los termoplásticos no poseen una buena capacidad para conducir calor, las diferentes capas no se calentarán uniformemente, alcanzándose mayor temperatura mientras más cerca esté el polímero de las paredes del cilindro, mientras que el centro se caracteriza por ser un tapón sólido. Este tapón sólido debe alcanzar una temperatura mínima, denominada temperatura de reblandecimiento, en el cono de entrada para poder pasar a los orificios del torpedo en donde aumentará la temperatura hasta llegar al cono de salida donde debe fundirse completamente antes de ser inyectado.

Se analiza primero la potencia de las bandas calefactoras necesarias para fundir el termoplástico, asumiendo que el cilindro se encuentra lleno y tanto las paredes del cilindro como el termoplástico están a la temperatura ambiente de 20 °C; esto se debe a que al finalizar el proceso de inyección y apagar las bandas calefactoras, quedará siempre un remanente dentro del cilindro que debe ser fundido si desea reiniciar el proceso. Las inyectoras de tipo industrial realizan esto en un rango de 15 a 20 minutos, para el presente prototipo el tiempo establecido es de 12 minutos, en el que el termoplástico alcanza en el cono de salida la temperatura de fundición de 180°C en todas sus capas.

Una vez realizado este análisis se simula el proceso durante los 20 segundos que debe permanecer el termoplástico en cada etapa del cilindro, con una temperatura media de pared de 180°C controlada por termostatos. En el cono de entrada la temperatura de ingreso es de 20°C, en los orificios del torpedo 100°C y en el cono de salida 160°C. Además no debe sobrepasar los 200°C para evitar que el material se degrade. La potencia de las bandas calefactoras determinadas en la fase anterior como las más apropiadas para cada sección serán tomadas en cuenta en este análisis para asegurar que la temperatura del termoplástico alcance los rangos establecidos anteriormente.

Con estos dos análisis se tiene definidas las potencias de las bandas calefactores que recubren el cilindro plastificador, asegurando primero la completa fundición del termoplástico realizándose el calentamiento durante 12 minutos del cilindro lleno a temperatura inicial ambiente, y posteriormente se comprueba que estas potencias permitan que el termoplástico alcance la temperatura media deseada en cada etapa en 20 segundos y con temperatura inicial de pared de 180°C. Definidos así los valores de la potencia para cada una de las tres bandas calefactores que recubrirán el cilindro, se analiza el tiempo en que la temperatura de las paredes del cilindro plastificador vacío alcanzan la temperatura de 180°C necesaria para iniciar el proceso de inyección; para ello se toma como tiempo base 5 minutos, basados en el tiempo que requieren las inyectoras de tipo industrial para elevar la temperatura a la temperatura de funcionamiento.

Para el análisis durante 12 minutos, 20 segundos y luego 5 minutos se utiliza el programa COSMOS WORKS para la simulación. Dentro de este se han definido los parámetros para realizar un análisis térmico transitorio con malla sólida para cada sección.

4.2.1 ANÁLISIS DEL CALENTAMIENTO EN EL CILINDRO PLASTIFICADOR

4.2.1.1 Análisis de la elevación de la temperatura del cilindro y del plástico durante la primera inyección

El programa COSMOS WORKS es un complemento de Solid Works, por lo que es necesario que en este último sean realizados los sólidos para posteriormente dar los parámetros de análisis en el COSMOS WORKS.

A continuación se muestra un ejemplo del diseño térmico del cilindro plastificador, utilizando para dicho análisis el programa mencionado, se explica además el ingreso de los diferentes parámetros para realizar el análisis.

1.- Creación de un Proyecto de Estudio térmico.

Una vez que los sólidos han sido graficados en Solid Works, creamos un nuevo proyecto de estudio dentro de la pestaña del Cosmos Works Manager:

- Nombrar al estudio: Conj 12
- Seleccionar el tipo de análisis, en este caso será de tipo Térmico
- Para el análisis que el programa realiza del sólido por iteraciones seleccionar un tipo de Malla Sólida. Ver figura 4.39



Figura.4.39 Creación de un Proyecto de Estudio Térmico

2.- Dentro de la viñeta de propiedades del estudio ingresar las características del diseño.

- Debido a que interesa la variación de temperatura tanto del cilindro como del termoplástico, el análisis es de tipo transitorio.
- El tiempo total de análisis es de 12 minutos (720 segundos) con un incremento de 15 segundos. Ver figura 4.40



Figura 4.40 Ingreso de las características de diseño

3.- Definidas las propiedades del estudio, el programa requiere como base para el análisis térmico los datos siguientes:

- Materiales
- Cargas y restricciones térmicas. Ver figura 4.41

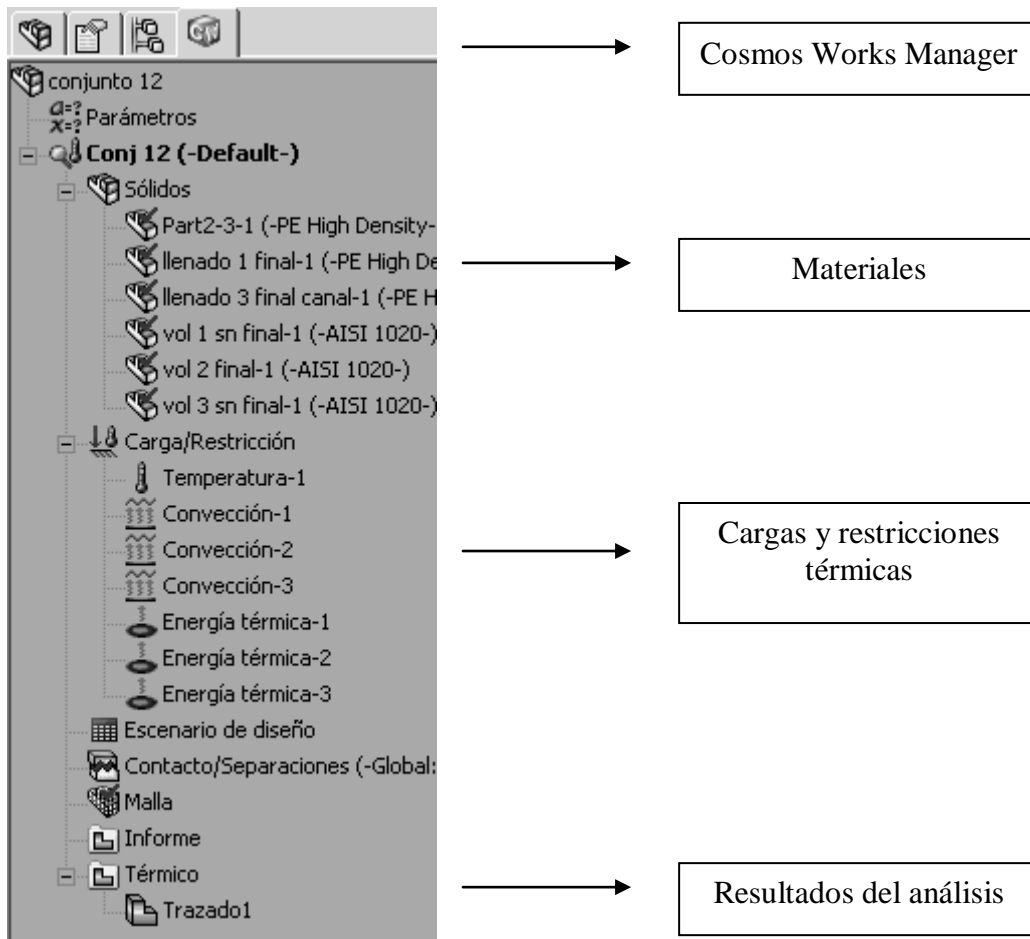


Figura 4.41 Parámetros básicos para el diseño

4.- Selección de materiales:

- El proyecto consta de seis partes: cilindro de entrada, torpedo, cilindro de salida y sus respectivos volúmenes de llenado. Los tres primeros de acero de transmisión AISI 120 y para el llenado polietileno de alta densidad.
- Para seleccionar el material, hacer clic derecho sobre cada sólido del ensamble, se selecciona la opción Agregar/Editar Material.
- Dentro del administrador de materiales se puede acceder a la biblioteca de materiales que posee el programa o crear uno propio con sus respectivas propiedades físicas y mecánicas. En este caso se selecciona de la biblioteca el material correspondiente. Ver figura 4.42

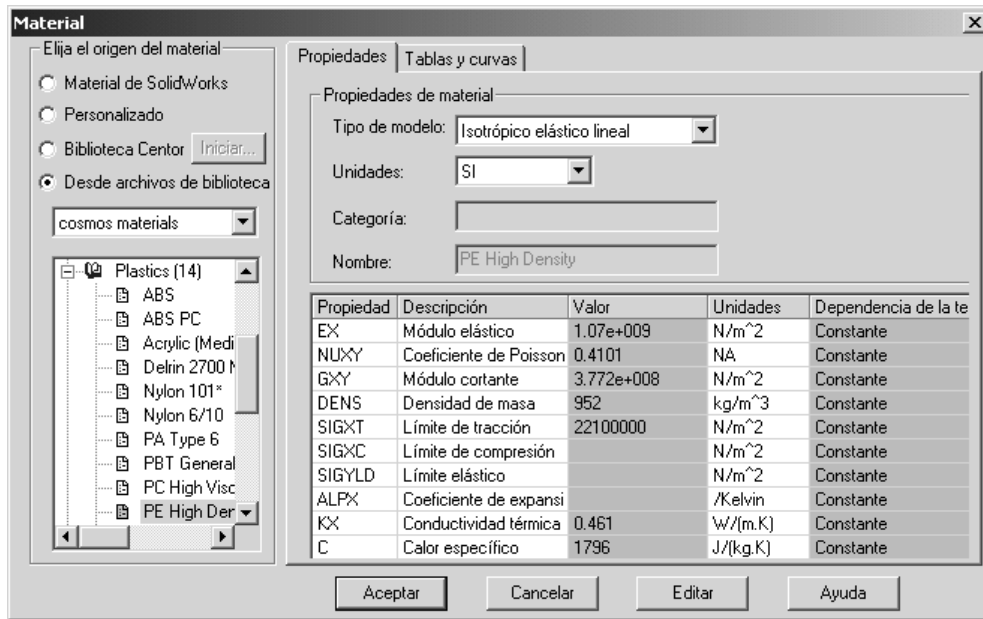


Figura 4.42 Selección de materiales

5.- Ingreso de temperatura inicial:

- El análisis transitorio en 12 minutos considera que la plastificación se realiza con el cilindro lleno y la temperatura inicial es la ambiente el cilindro de entrada, torpedo, cilindro de salida y sus respectivos volúmenes de llenadas.
- La temperatura inicial se ingresa haciendo clic derecho en la pestaña de Cargas y Restricciones Térmicas para seleccionar la opción Temperatura.
- En la ventana seleccionar la temperatura Inicial y elegir los elementos del ensamble que se desee, en este caso marcar todos.
- Finalmente ingresar el valor de temperatura y aceptar. Este procedimiento puede ser realizado para cada elemento si sus temperaturas varían, tal como se lo hace en el análisis durante 20 segundos de permanencia del termoplástico dentro de cada etapa del cilindro plastificador hasta fundirse completamente antes de salir a través de la boquilla al molde. Ver figura 4.43.

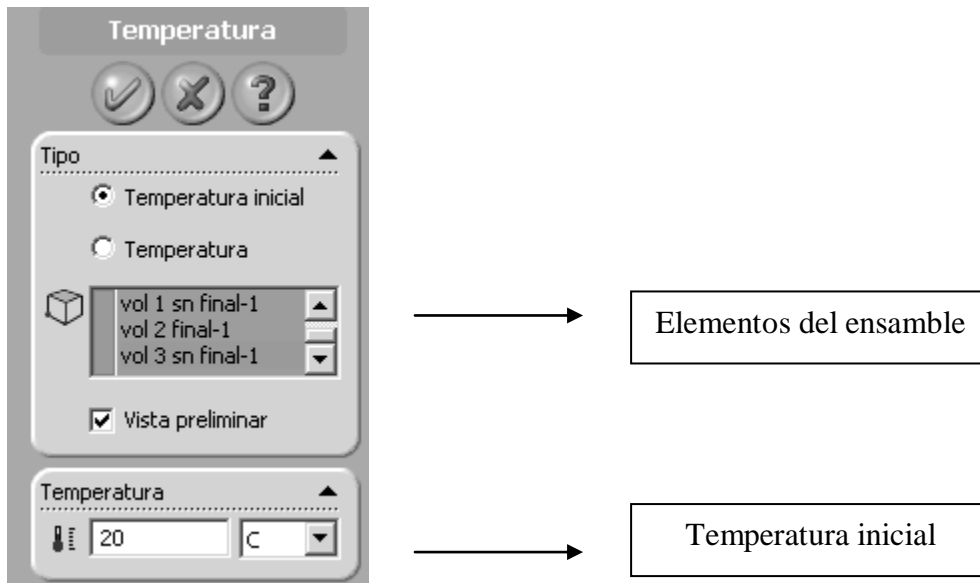


Figura 4.43 Ingreso de temperatura inicial

6.- Ingreso del valor para la potencia calefactora:

- En esta etapa, se requiere que en los 12 minutos de calentamiento del termoplástico dentro del cilindro plastificador, el polímero se funda por completo, especialmente en la zona del cono de salida, pero sin llegar a degradarse. Por esta razón la simulación se realiza con diferentes valores de potencia para las bandas calefactoras, consiguiéndose los siguientes resultados:
 - Potencia de la banda calefactora del cono de entrada: 700 W
 - Potencia de la banda calefactora del torpedo: 250 W
 - Potencia de la banda calefactora del cono de salida: 700 W

Estos valores son comprobados posteriormente para que cumplan con las condiciones del calentamiento durante 20 segundos.

- La potencia de las bandas se ingresa haciendo clic derecho en la pestaña de Cargas y Restricciones Térmicas para seleccionar la opción de Energía Térmica.
- En la ventana se seleccionan las caras de los elementos del ensamble que recibirán el calor proveniente de las bandas calefactores y se

agrega el valor de la potencia eléctrica, este varía para cumplir con las condiciones de diseño.

- Además el programa permite simular el control de la variación de temperatura agregando un termostato en la superficie de cualquier elemento. Se señala el punto en el que el termostato será colocado y el rango de trabajo 180°C a 190°C para este caso. Ver figura 4.44.

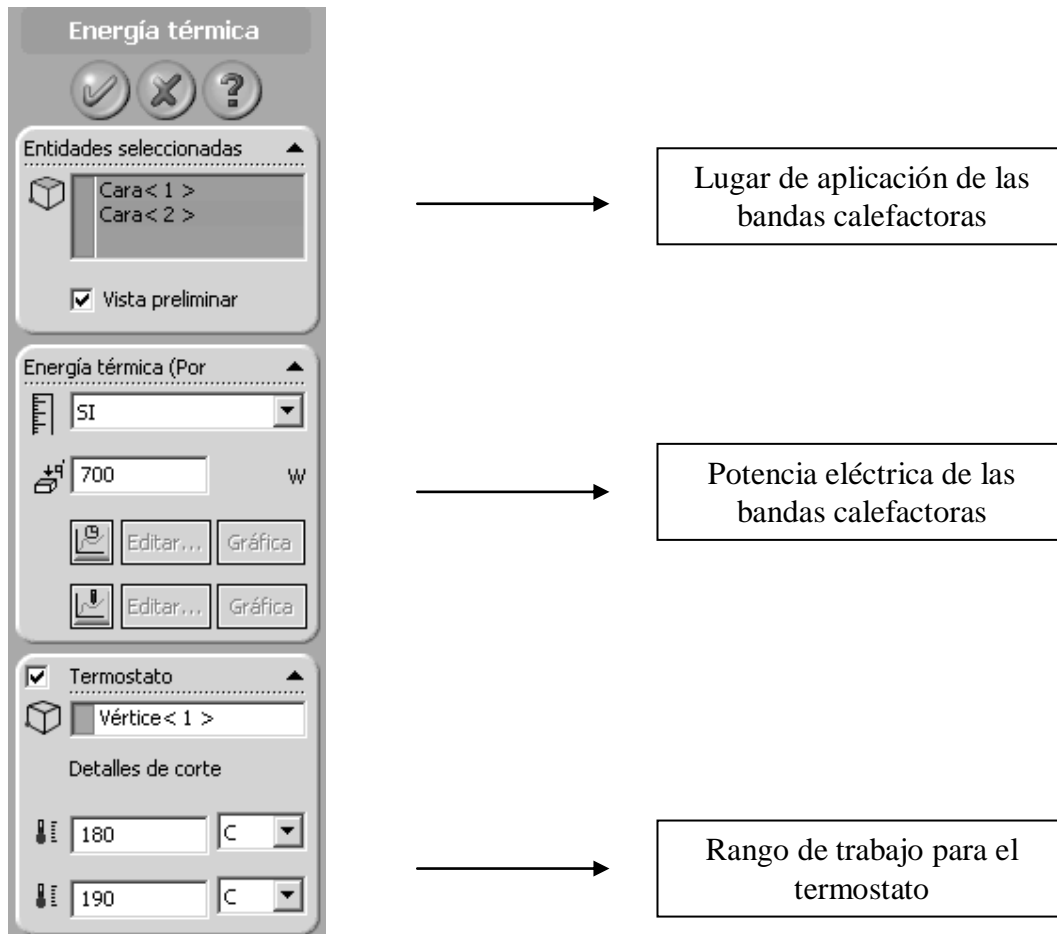


Figura 4.44 Energía térmica

7.- Convección libre al ambiente:

4.2.1.1.1 Cálculo de convección libre al ambiente

El cilindro plastificador recibe calor de las bandas calefactoras y debido a la convección con el aire disipa parte de este calor al ambiente. A continuación se desarrolla el análisis de la convección libre de superficie externa con el aire,

valor que se requiere ingresar en el programa para que este simule y calcule la transferencia de calor.

$T_s := 453 \text{ } ^\circ\text{K}$ Temperatura de superficie

$T_\alpha := 293 \text{ } ^\circ\text{K}$ Temperatura ambiente

Propiedades del aire a la temperatura de superficie

$\rho := 0.7678 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ Densidad

$\nu := 35.4 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ Viscosidad cinemática

$k := 37.61 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}$ Conductividad térmica

$\alpha := 48.3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ Difusividad térmica

$Pr := 0.686$ Número de Prantl

$g := 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ Aceleración gravitacional

$\beta := \frac{1}{T_s}$ Coeficiente de expansión (4 – 2)

$\beta = 2.208 \times 10^{-3} \text{ } \text{K}^{-1}$

$Ra := \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\alpha) \cdot D^3}{\nu \cdot \alpha}$ Número de Rayleigh (4 – 3)

$Ra = 1.97 \times 10^5$ Menor a 10^{12} . Cumple

$$Nu := \left[0.6 + \frac{0.387 \cdot Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2 \quad \text{Número de Nusselt.} \quad (4 - 4)$$

Fundamentos de transferencia de calor.
FRANK P. INCROPERA

$$Nu = 9.267$$

$$h := \frac{k}{D} \cdot Nu \quad \text{Coeficiente de convección} \quad (4 - 5)$$

$$h = 7.577 \quad \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

El coeficiente de convección calculado anteriormente es aplicable para las secciones intermedia y final del cilindro plastificador puesto que, su diámetro exterior es constante. Para el cono de entrada en que la sección varía, con la finalidad de aumentar la transferencia de calor, se realiza el mismo cálculo en varias secciones y se toma el promedio como valor del coeficiente de convección para dicha zona

Tabla 4.1 Convección libre al ambiente del cono de entrada

L (mm)	H (mm)	D (m)	Ra	N	h (W/m ² °K)
107,43	15,695	0,031	64249,44	6,905	8,27
109,43	15,987	0,032	67905,01	7,004	8,24
111,43	16,28	0,033	71696,68	7,103	8,21
113,43	16,572	0,033	75626,92	7,202	8,17
115,43	16,864	0,034	79698,24	7,301	8,14
117,43	17,156	0,034	83913,11	7,399	8,11
119,43	17,448	0,035	88274,03	7,497	8,08
121,43	17,741	0,035	92783,47	7,595	8,05
123,43	18,033	0,036	97443,94	7,693	8,02
125,43	18,325	0,037	102257,9	7,79	7,99
127,43	18,617	0,037	107227,9	7,888	7,97
129,43	18,909	0,038	112356,3	7,985	7,94

Tabla 4.1 Convección libre al ambiente del cono de entrada

L	H	D	Ra	N	h
(mm)	(mm)	(m)			(W/m² °K)
131,43	19,201	0,038	117645,7	8,082	7,92
133,43	19,494	0,039	123098,6	8,179	7,89
135,43	19,786	0,04	128717,4	8,276	7,87
137,43	20,078	0,04	134504,6	8,372	7,84
139,43	20,37	0,041	140462,8	8,469	7,82
141,43	20,662	0,041	146594,4	8,565	7,80
143,43	20,955	0,042	152901,8	8,662	7,77
145,43	21,247	0,042	159387,6	8,758	7,75
147,43	21,539	0,043	166054,3	8,854	7,73
149,43	21,831	0,044	172904,4	8,949	7,71
151,43	22,123	0,044	179940,3	9,045	7,69
153,43	22,416	0,045	187164,5	9,141	7,67
155,43	22,708	0,045	194579,5	9,236	7,65
157,43	23	0,046	202187,9	9,331	7,63
Promedio					7,92

- Se considera convección libre al ambiente desde las caras del cilindro plastificador.
- Los parámetros de convección se ingresan haciendo clic derecho en la pestaña de Cargas y Restricciones Térmicas para seleccionar la opción de Convección.
- Se seleccionan las caras de los elementos del ensamble que realizan convección y se agrega el valor correspondiente
- El valor de temperatura del fluido corresponde a la temperatura en grados Kelvin de la pared a su temperatura inicial. Ver figura 4.45.

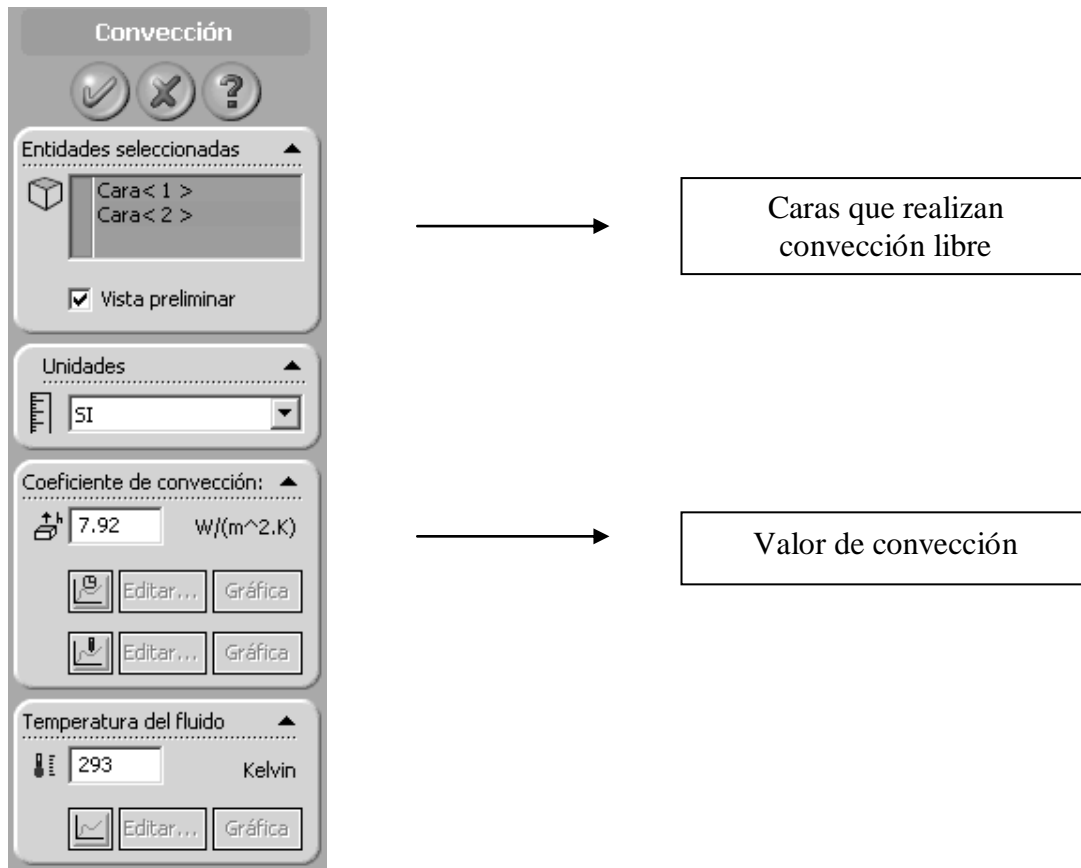


Figura 4.45 Convección

8.- Mallado:

- COSMOS WORKS utiliza un método de iteraciones para realizar su análisis, por ello requiere ejecutar un mallado del sólido para dividirlo en elementos finitos y ejecutar la solución del sistema.
- Ingresados todos los parámetros bases, se hace clic sobre el icono de malla y se aceptan los valores sugeridos por el administrador. Ver figura 4.46.

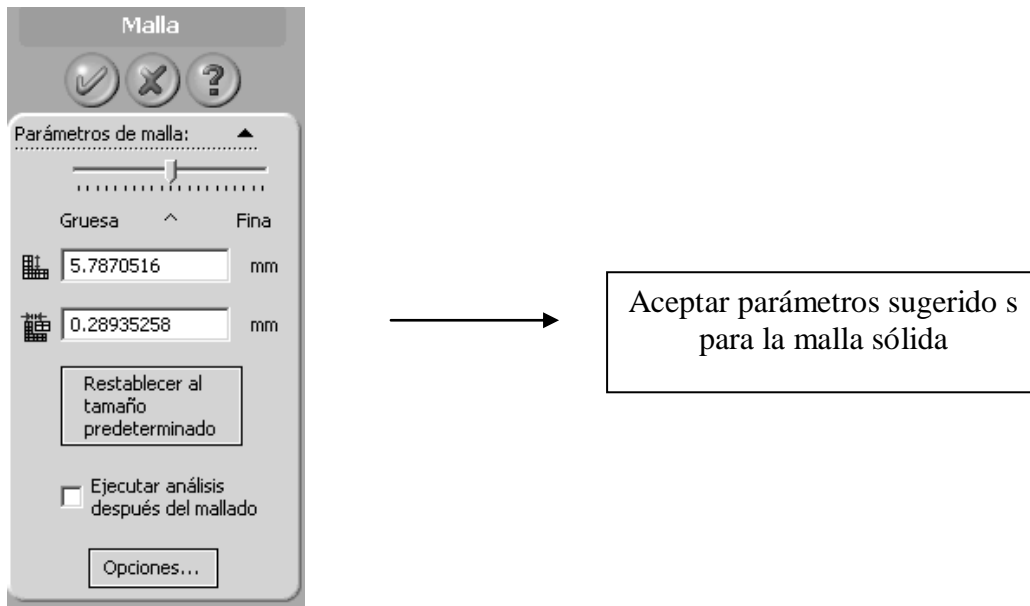


Figura 4.46 Mallado

Resultado del mallado

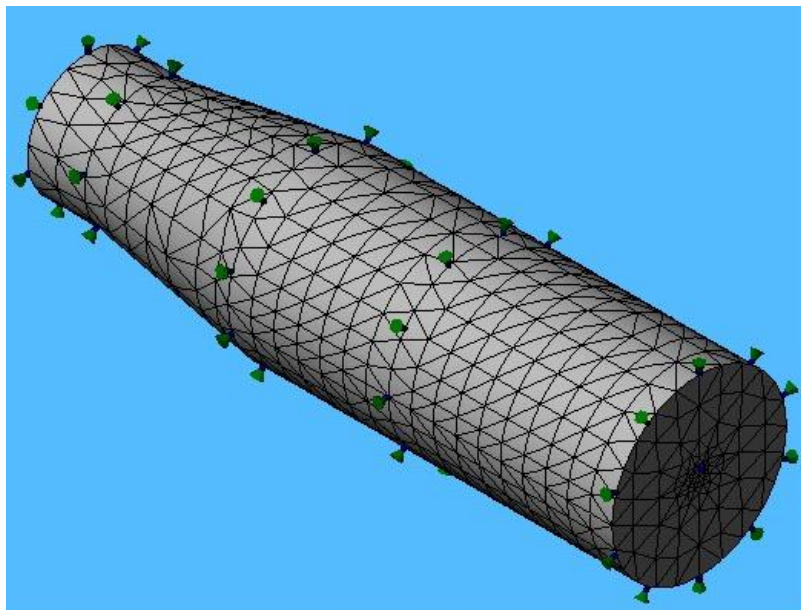


Figura 4.47 Representación gráfica del mallado

9.- Análisis térmico:

Con los parámetros base ingresados y el mallado completo, se realiza el análisis térmico, haciendo clic en el icono ubicado en la barra de herramientas principal de Cosmos.

- La figura 4.48 muestra gráficamente el comportamiento tanto de las paredes del cono de entrada, así como del termoplástico en su interior. Se nota claramente como en este caso el polietileno de alta densidad se comporta al inducirle calor; por sus características reológicas, los termoplásticos no se calientan de forma uniforme, alcanzando mayor temperatura en las zonas cercanas a las paredes del cilindro y con menor calentamiento en el centro. Con una potencia calefactora de 700 W en esta zona, el PE alcanza una temperatura máxima de 190°C y una mínima de 180°C; es decir que con esta potencia, partiendo de una temperatura inicial de 20°C tanto para el cilindro como para el polietileno durante 12 minutos de calentamiento, se consigue fundir completamente el termoplástico.

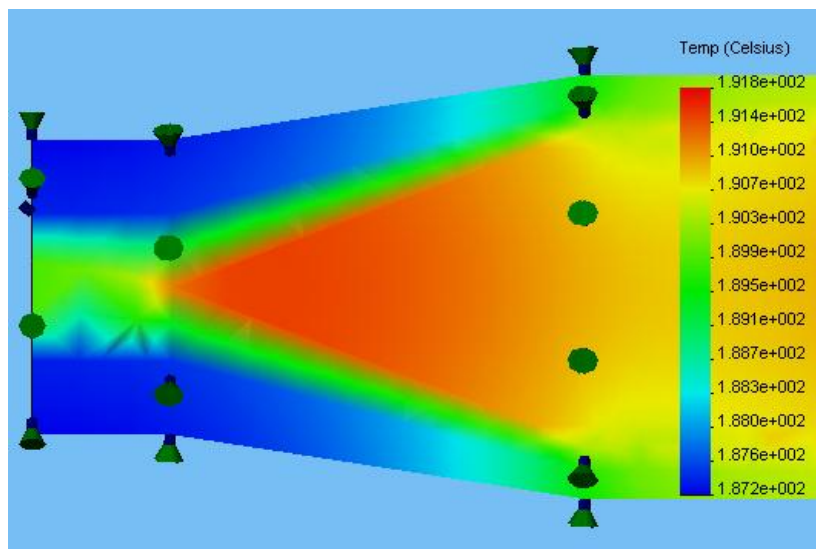


Figura 4.48 Calentamiento durante 12 minutos del cono de entrada

- La figura 4.49 muestra gráficamente el comportamiento tanto de las paredes del torpedo y sus canales internos, así como del termoplástico. Con una potencia calefactora de 250 W en esta zona, el PE alcanza una temperatura máxima de 191°C y una mínima de 190°C, fundiéndose completamente el termoplástico en los 12 minutos de calentamiento.

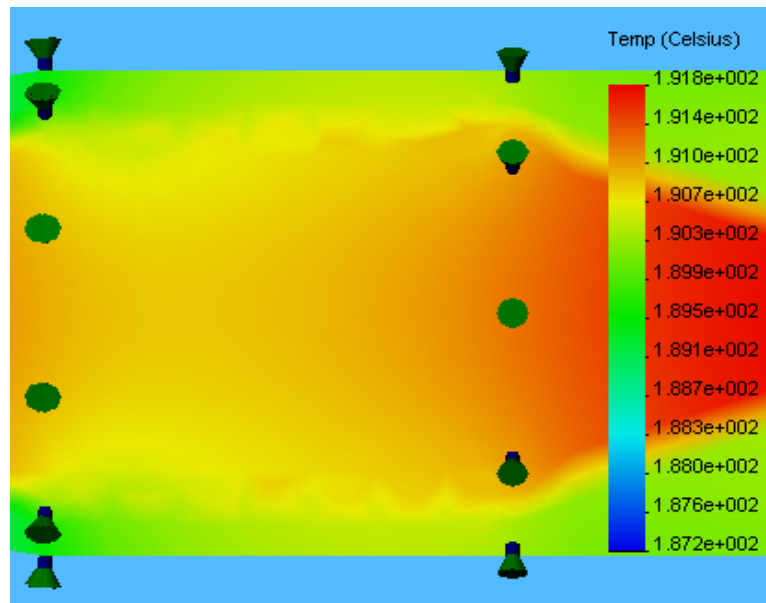


Figura 4.49 Calentamiento durante 12 minutos del torpedo.

- La figura 4.50 muestra gráficamente el comportamiento tanto de las paredes del torpedo y sus canales internos, así como del termoplástico. Con una potencia calefactora de 700 W en esta zona, el PE alcanza una temperatura máxima de 191°C y una mínima de 190°C, fundiéndose completamente el termoplástico en los 12 minutos de calentamiento. Esta es la parte más crítica pues es necesario que el material se funda completamente antes de ingresar a presión dentro del molde.

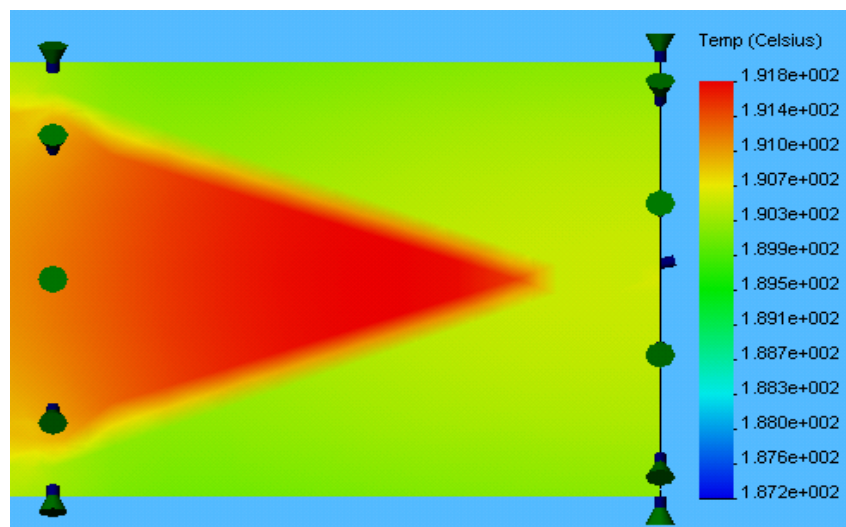


Figura 4.50 Calentamiento durante 12 minutos del cono de salida

- La figura 4.51 representa el comportamiento de cada uno de los termostatos colocados en las tres secciones del cilindro para analizar la elevación de la temperatura a lo largo del tiempo y para que realicen la función de control de las bandas calefactoras. Como se observa en la gráfica, la elevación de temperatura es brusca en un inicio pero rápidamente tiende a estabilizarse en el rango de control de 180 a 190°C.

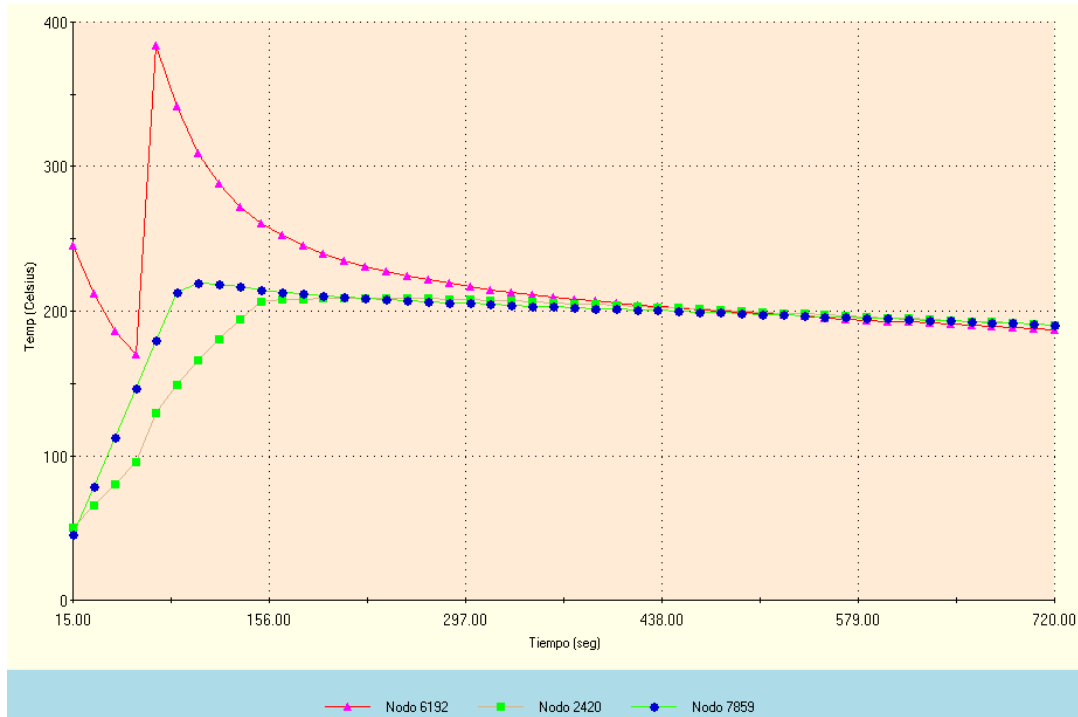


Figura 4.51 Comportamiento de los termostatos

4.2.1.2 Análisis de la elevación de la temperatura del cilindro y del termoplástico durante cada periodo de inyección

- La figura 4.52 muestra el mismo análisis realizado en la sección anterior para las paredes del cono de entrada, así como del termoplástico en su interior; pero en este caso durante 20 segundos de calentamiento del polietileno dentro de esta sección con 20°C de temperatura inicial del PE y 180°C para las paredes. Se nota más claramente la diferencia de temperatura entre capas y el tapón sólido debe alcanzar una temperatura mínima de reblandecimiento antes de pasar a la sección

posterior. Con una potencia calefactora de 700 W en esta zona, el PE alcanza una temperatura máxima de 169°C y una mínima de 48°C. Se cumple con estos resultados la condición de alcanzar una temperatura promedio de 100°C y que el polietileno esté en su parte más fría a la temperatura de reblandecimiento.

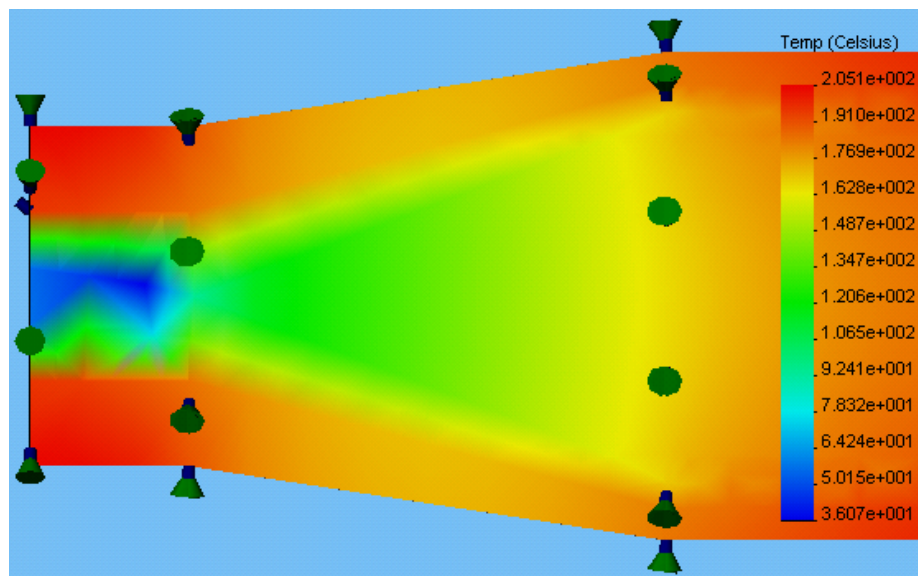


Figura 4.52 Calentamiento durante 20 segundos del cono de entrada

- La figura 4.53 representa el calentamiento térmico de las paredes del torpedo y sus canales internos, así como del termoplástico. Con una potencia calefactora de 250 W en esta zona, el PE alcanza una temperatura máxima de 198°C y una mínima de 171°C, consiguiéndose una temperatura promedio de 160°C .

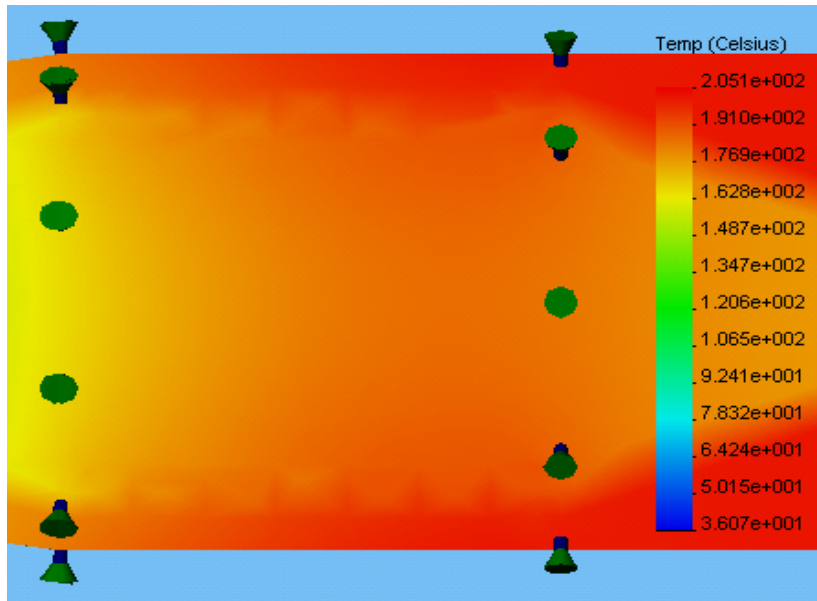


Figura 4.53 Calentamiento durante 20 segundos del torpedo.

- El calentamiento del termoplástico en la zona del cono de salida sigue siendo para este caso también el más crítico. La figura 4.54 representa el calentamiento térmico de las paredes del cono de salida y del termoplástico en su interior. Con una potencia calefactora de 700 W en esta zona, el PE alcanza una temperatura máxima de 199°C y una mínima de 185°C, lográndose de esta forma fundir completamente todas las capas antes de ser inyectadas.

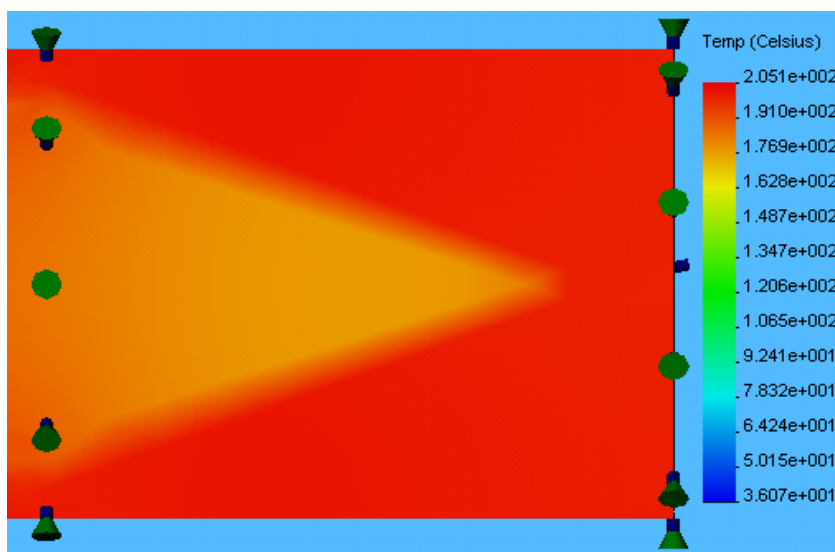


Figura 4.54 Calentamiento durante 20 segundos del cono de salida

- La figura 4.55 representa el comportamiento de los termostatos colocados en las tres secciones del cilindro. Partiendo de una temperatura inicial de pared de 180°C, 20°C para el polietileno en el cono de entrada, 100°C en los canales del torpedo y 160°C para el cono de salida.

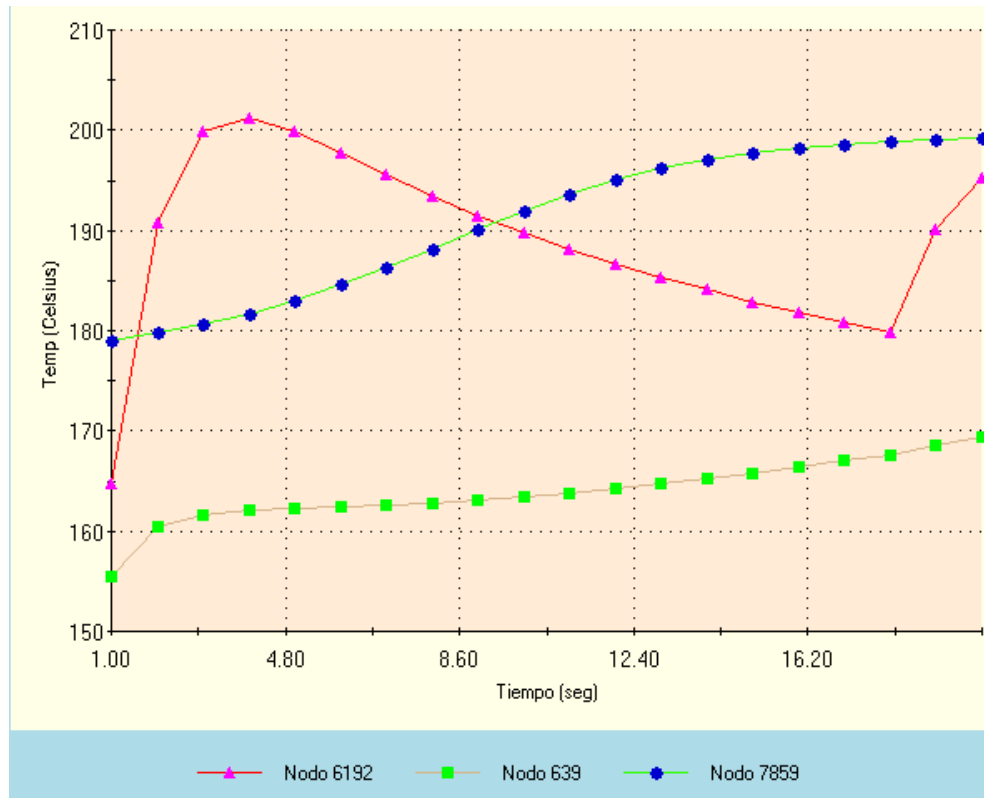


Figura 4.55 Comportamiento de los termostatos

4.2.1.3 Análisis del la elevación de la temperatura del cilindro vacío durante cinco minutos

Al estar vacío el cilindro y a la temperatura ambiente, se debe determinar el tiempo en que las paredes llegan a la temperatura promedio de 180°C como consecuencia de transferir calor desde las bandas calefactoras. La figura 4.56 representa la elevación de temperatura en cinco minutos, periodo en el cual se observa la estabilización de la temperatura para todo el cilindro plastificador. A partir de los cinco minutos se puede comenzar la alimentación del polietileno para que permanezca veinte segundos en cada sección.

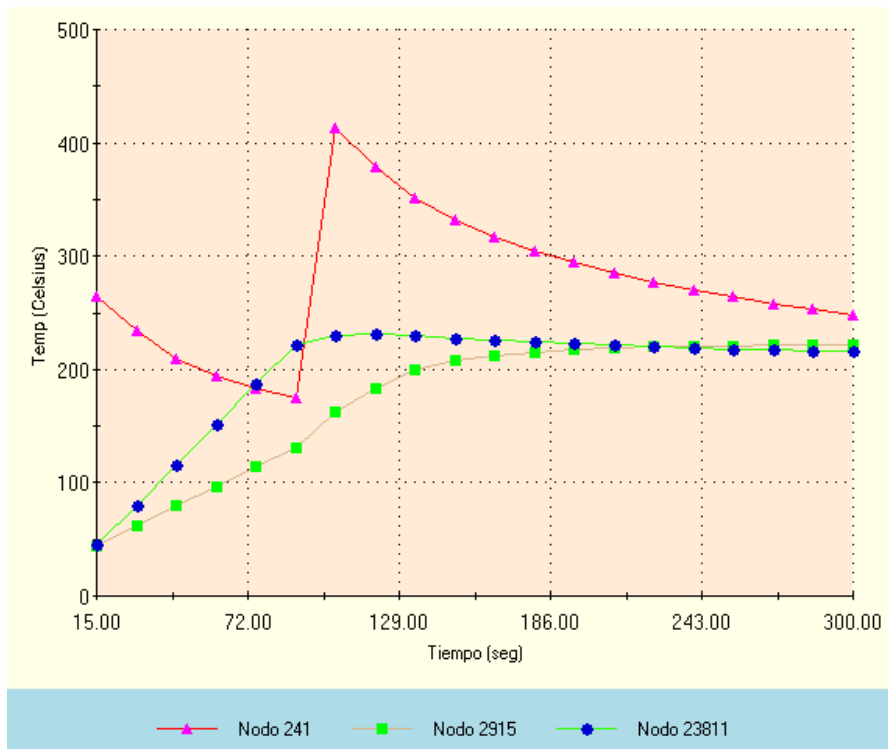


Figura 4.56 Comportamiento de los termostatos

4.3 DISEÑO MECÁNICO

4.3.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE CIERRE

La función del sistema de cierre es la de mantener los moldes juntos, venciendo a la fuerza de inyección durante el proceso. El cálculo de la fuerza de cierre es complejo y ya que el presente proyecto se trata de un prototipo, se aplica para el cálculo de esta fuerza un valor práctico sugerido en la bibliografía.

$$\text{Fuerza de cierre} = \text{Área proyectada} * \text{Fuerza de inyección.}$$

Para el cierre se utiliza un pistón hidráulico de accionamiento manual.

4.3.1.1 Esquema de Cálculo

En la figura 4.57 se muestra el esquema del sistema de cierre a utilizar; al accionar el pistón hidráulico, la placa portante móvil se desplaza y los moldes se cierran, la fuerza se transmite a las columnas, las cuales se elongan y se mantienen pretensadas.

La precarga que se den a las tuercas en las columnas debe ser suficiente para soportar la fuerza de cierre y no fallar.

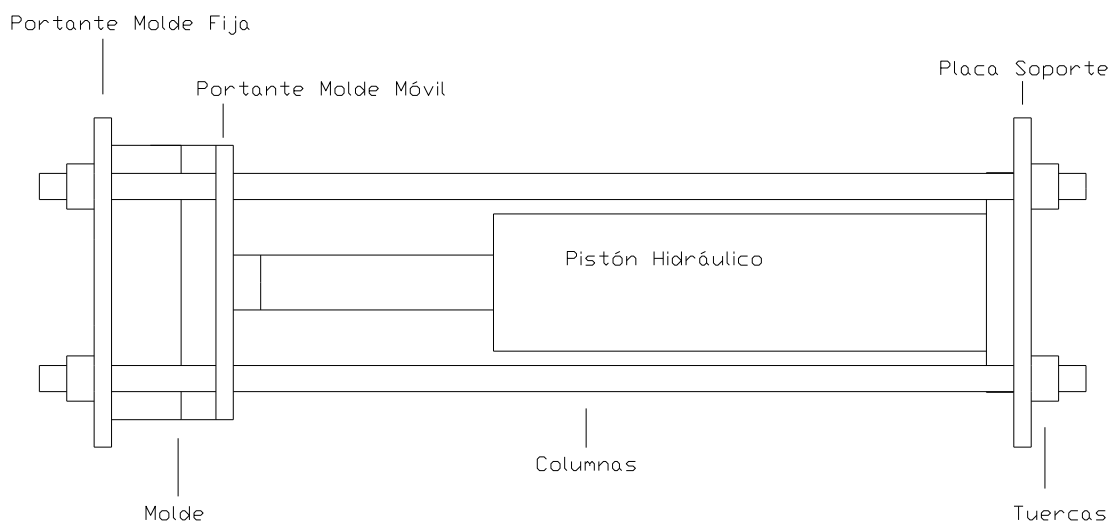


Figura 4.57 Esquema del sistema de cierre

4.3.1.2 Fuerza de cierre

$P := 6 \cdot 10^6$ Pa Presión de Inyección

$\phi := 0.03$ m Diámetro pieza inyectada

Fuerza de cierre = Presión de inyección * Area proyectada

$$F_c := P \cdot \frac{\phi^2 \cdot \pi}{4} \quad (4 - 6)$$

$$F_c = 4.241 \times 10^3 \quad \text{N} \quad \text{Fuerza de Cierre}$$

Esta es la fuerza que debe ejercer el cilindro hidráulico para vencer la fuerza de inyección y mantener cerrado el molde.

4.3.1.3 Evaluación del coeficiente de elasticidad de las columnas

Las columnas se idealizan como resortes a tracción para calcular su coeficiente de elasticidad

$$E := 2 \cdot 10^{11} \quad \text{Pa} \quad \text{Módulo de elasticidad para el acero}$$

$$\phi_c := 12.7 \cdot 10^{-3} \quad \text{m} \quad (1/2") \text{ Diámetro de la columna}$$

$$L_c := 0.317 \quad \text{m} \quad \text{Longitud efectiva de la columna}$$

$$k := \frac{E \cdot A}{L} \quad (4 - 7)$$

$$k_c := \frac{E \cdot \pi \cdot \phi_c^2}{4 \cdot L_c} \quad (4 - 8)$$

$$k_c = 7.992 \times 10^7 \quad \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

4.3.1.4 Evaluación del coeficiente de elasticidad de los elementos sujetos

Para este análisis se considera al conjunto como un sistema de resortes en paralelo. La figura 4.58 muestra la influencia de una placa sobre otra debido a la fuerza de cierre.

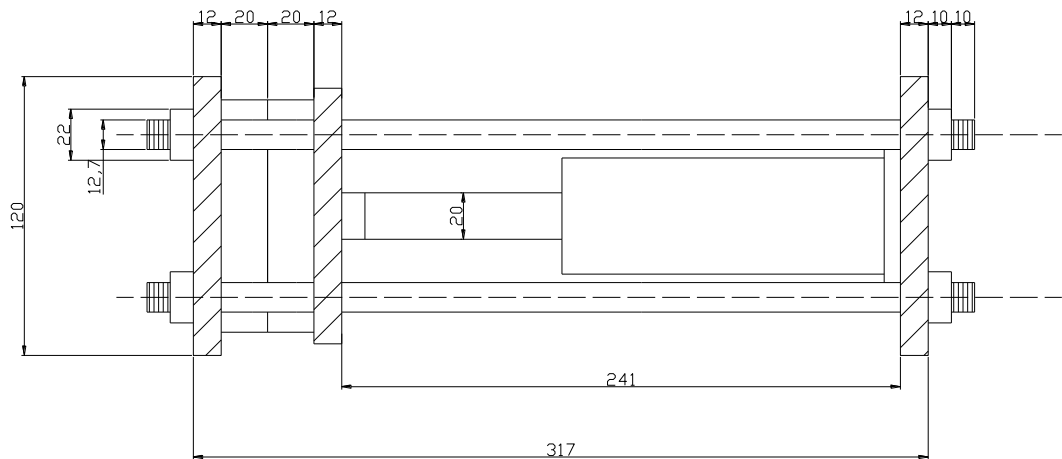


Figura 4.58 Áreas influenciadas por la compresión del sistema de cierre.

- $tps := 12 \cdot 10^{-3}$ m Espesor de la placa soporte
 $tpm := 12 \cdot 10^{-3}$ m Espesor de la placa portante móvil
 $tpf := 12 \cdot 10^{-3}$ m Espesor de la placa portante fija
 $tmm := 20.4 \cdot 10^{-3}$ m Espesor del molde macho
 $tmh := 20 \cdot 10^{-3}$ m Espesor del molde hembra
 $lm := 0.1$ m Longitud de la cara de los moldes
 $\phi_{cil} := 0.02$ m Diámetro del cilindro hidráulico del sistema de cierre
 $lcil := 0.08$ m Longitud de la cara de la base del cilindro
 $hcil := 0.241$ m Altura del cilindro hidráulico extendido

Elasticidad de la placa soporte influenciada por las tuercas

$$km1 := \frac{\pi \cdot [(\sqrt{3} \cdot \phi_c)^2 - \phi_c^2] \cdot E}{4 \cdot tps} \cdot 4 \quad (4 - 10)$$

$$km1 = 1.689 \times 10^{10} \quad \frac{N}{m}$$

Elasticidad de la placa soporte influenciada por el cilindro inyector

$$k_{m2} := \frac{E \cdot I_{cil}^2}{t_{ps}} \quad k_{m2} = 1.067 \times 10^{11} \frac{N}{m} \quad (4 - 11)$$

Elasticidad del cilindro hidráulico (asumo toda la longitud cilíndrica)

$$k_{m3} := \frac{E \cdot \phi_{cil}^2 \cdot \pi}{4 \cdot h_{cil}} \quad k_{m3} = 2.607 \times 10^8 \frac{N}{m} \quad (4 - 12)$$

Elasticidad de la placa portante móvil influenciada por el cilindro hidráulico

$$k_{m4} := \frac{E \cdot \phi_{cil}^2 \cdot \pi}{4 \cdot t_{pm}} \quad k_{m4} = 5.236 \times 10^9 \frac{N}{m} \quad (4 - 13)$$

Elasticidad de la placa portante móvil influenciada por el molde

$$k_{m5} := \frac{E \cdot I_m^2}{t_{pm}} \quad k_{m5} = 1.667 \times 10^{11} \frac{N}{m} \quad (4 - 14)$$

Elasticidad del molde

$$k_{m6} := \frac{E \cdot I_m^2}{t_{mm} + t_{mh}} \quad k_{m6} = 4.95 \times 10^{10} \frac{N}{m} \quad (4 - 15)$$

Elasticidad de la placa portante fija influenciada por el molde

$$k_{m7} := \frac{E \cdot I_m^2}{t_{pf}} \quad k_{m7} = 1.667 \times 10^{11} \frac{N}{m} \quad (4 - 16)$$

Elasticidad de la placa soporte influenciada por las tuercas

$$k_{m8} := \frac{\pi \cdot [(\sqrt{3} \cdot \phi_c)^2 - \phi_c^2] \cdot E}{4 \cdot t_{pf}} \cdot 4 \quad k_{m8} = 1.689 \times 10^{10} \frac{N}{m} \quad (4 - 17)$$

$$k_m := \left(\frac{1}{k_{m1}} + \frac{1}{k_{m2}} + \frac{1}{k_{m3}} + \frac{1}{k_{m4}} + \frac{1}{k_{m5}} + \frac{1}{k_{m6}} + \frac{1}{k_{m7}} + \frac{1}{k_{m8}} \right)^{-1} \quad (4 - 18)$$

$$k_m = 2.389 \times 10^8 \frac{N}{m}$$

4.3.1.5 Análisis de las cargas que soportan las columnas

Los extremos roscados de las columnas sometidos a tracción son los puntos críticos en donde las cargas serán analizadas.

La carga máxima aplicada se desarrolla al cerrar los moldes, la precarga que se da a las tuercas debe ser por lo tanto suficiente para soportar esta fuerza y la que ejercen los otros elementos.

La carga sobre las columnas varía de cero hasta su valor máximo cuando la inyección se realiza, pero como el prototipo será utilizado en prácticas de laboratorio solamente, es decir que no habrán muchos ciclos repetitivos de inyección, el sistema de cierre será diseñado como si estuviese sometido a una carga estática y no a fatiga. El propósito de esto es evitar el sobre dimensionamiento de los elementos y reducir los costos de fabricación.

Se selecciona el acero de transmisión SAE 1018 para el diseño de las columnas pues se lo recomienda en aplicaciones con cargas mecánicas no muy severas, pero con cierto grado de tenacidad importante así como también para elementos de máquinas pequeñas. Estos ejes de transmisión se encuentran disponibles en el mercado además con una tolerancia h9-h11 que permite que la placa portante móvil se deslice con facilidad. Para preservar las columnas a la placa portante móvil se montan bujes de bronce que disminuyen la fricción y el desgaste.

$$A_t := 9.15 \cdot 10^{-5} \quad \text{m}^2 \quad \text{Area de esfuerzo a la tensión}$$

$$S_p := 370 \cdot 10^6 \quad \text{Pa} \quad \text{Resistencia límite para el acero de transmisión SAE 1080 (Dato del Catálogo de Aceros de IBCA)}$$

$$F_{ce} := \frac{k_c \cdot 4}{k_m + k_c \cdot 4} \cdot F_c \quad \text{Fuerza externa que soportan las 4 columnas} \quad (4 - 19)$$

$$F_{ce} = 2.427 \times 10^3 \quad \text{N}$$

$$F_i := 0.75 \cdot A_t \cdot S_p \quad \text{Fuerza de precarga en las tuercas} \quad (4 - 20)$$

$$F_i = 2.539 \times 10^4 \quad \text{N}$$

$$F_{ct} := \frac{F_{ce}}{4} + F_i \quad \text{Fuerza total que soporta cada columna} \quad (4 - 21)$$

$$F_{ct} = 2.6 \times 10^4 \quad \text{N}$$

$$F_{pe} := \frac{k_m}{k_c + k_m} \cdot F_c \quad \text{Fuerza externa sobre las placas} \quad (4 - 22)$$

$$F_{pe} = 3.178 \times 10^3 \quad \text{N}$$

$$\text{Condicion} := 4 \cdot F_i \quad \text{Debe ser mayor a } F_{pe} \quad (4 - 23)$$

$$\text{Condicion} = 1.016 \times 10^5$$

$$\sigma_i := \frac{F_{ct}}{A_t} \quad \sigma_i = 2.841 \times 10^8 \quad \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (4 - 24)$$

$$\sigma_{\max} := \sigma_i \quad \sigma_{\max} = 2.841 \times 10^8 \quad \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (4 - 25)$$

$$\sigma_{\min} := 0$$

$$\sigma_m := \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad \sigma_m = 1.421 \times 10^8 \quad \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (4 - 26)$$

$$\sigma_a := \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad \sigma_a = 1.421 \times 10^8 \quad \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (4 - 27)$$

Análisis del factor de seguridad de la columna

$$C := \frac{k_c \cdot 4}{k_c \cdot 4 + k_m} \quad C = 0.572 \quad (4 - 28)$$

$$n := \frac{S_p \cdot A_t - F_i}{C \cdot \left(\frac{F_c}{4} \right)} \quad n = 13.947 \quad (4 - 29)$$

4.3.1.6 Análisis de las tuercas en las columnas

Para evitar que sufran los hilos de las roscas en las columnas, el material de las tuercas será más blando.

Esfuerzo cortante en los hilos de la columna

$$d_r := 10.16 \cdot 10^{-3} \quad \text{m}$$

Diámetro de raíz de la rosca

$$l_r := 9 \cdot 10^{-3} \quad \text{m}$$

Longitud de la rosca

$$S_{y1} := 370 \cdot 10^6 \quad \text{Pa}$$

Resistencia a la fluencia para el acero SAE 1018

$$\tau_1 := \frac{2 \cdot \frac{F_c}{4}}{\pi \cdot d_r \cdot l_r \cdot 2} \quad \tau_1 = 3.691 \times 10^6 \quad \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (4 - 30)$$

Resistencia a la fluencia

$$S_{sy1} := 0.5 \cdot S_{y1} \quad S_{sy1} = 1.85 \times 10^8 \quad \text{Pa} \quad (4 - 31)$$

$$FS_1 := \frac{S_{sy1}}{\tau_1} \quad \text{Factor de seguridad para la rosca en la columna} \quad (4 - 32)$$

$$FS_1 = 50.123$$

Esfuerzo cortante en los hilos de la tuerca

$$S_{y2} := 250 \cdot 10^6 \quad \text{Pa}$$

Resistencia a la fluencia para el acero A 36

$$\tau_2 := \frac{2 \cdot \frac{F_c}{4}}{\pi \cdot \phi_c \cdot l_r} \quad \tau_2 = 5.906 \times 10^6 \quad \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (4 - 33)$$

Resistencia a la fluencia

$$S_{sy2} := 0.5 \cdot S_y2 \quad S_{sy2} = 1.25 \times 10^8 \quad \text{Pa} \quad (4 - 34)$$

$$FS2 := \frac{S_{sy2}}{\tau_2} \quad \text{Factor de seguridad para la rosca en la tuerca por cortante} \quad (4 - 35)$$

$$FS2 = 21.167$$

4.3.1.7 Análisis de la placa soporte y placas portantes

4.3.1.7.1 Placa móvil

Para realizar el análisis de las placas, se trasladan las fuerzas y momentos a una sección crítica localizada en el punto inferior donde se aplican las cargas. La figura 4.59 muestra la aplicación de las fuerzas y la figura 4.60 el estado de momentos en la zona crítica.

Para las placas se utiliza un acero dulce A36, las cuales son rectificadas en las caras de contacto con el molde para evitar desviaciones geométricas.

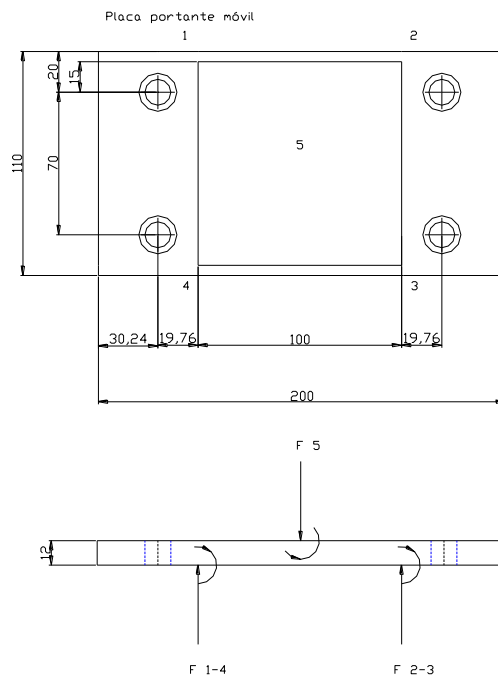


Figura 4.59 Distribución de las fuerzas en la placa portante móvil

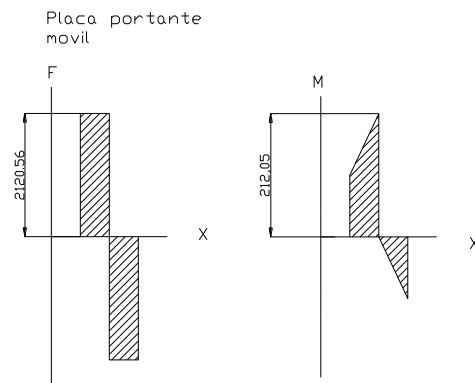


Figura 4.60 Distribución de las fuerza cortante y momento flector

$$S_y := 250 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Resistencia a la fluencia para el acero A 36

$$M_{pm} := 212.05 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Momento máximo en la placa portante móvil

$$a_{pm} := 0.2 \text{ m}$$

Ancho de la sección de la placa

$$\sigma_{pm} := \frac{M_{pm} \cdot \left(\frac{t_{pm}}{2} \right)}{\frac{1}{12} \cdot (a_{pm} \cdot t_{pm}^3)}$$

$$\sigma_{pm} = 4.418 \times 10^7 \text{ Esfuerzo normal}$$

$$FS_{pm} := \frac{S_y}{\sigma_{pm}}$$

Factor de seguridad

(4 – 36)

$$FS_{pm} = 5.659$$

4.3.1.7.2 Placa portante fija

La figura 4.61 muestra la aplicación de las fuerzas y la figura 4.62 el estado de momentos en la zona crítica.

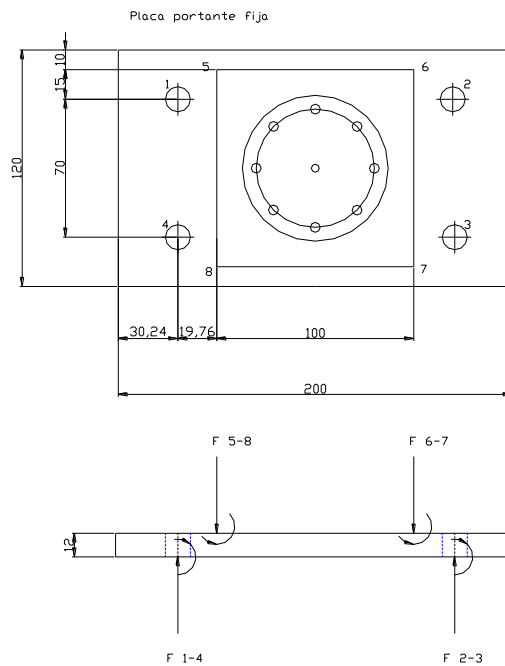


Figura 4.61 Distribución de las fuerzas en la placa portante fija

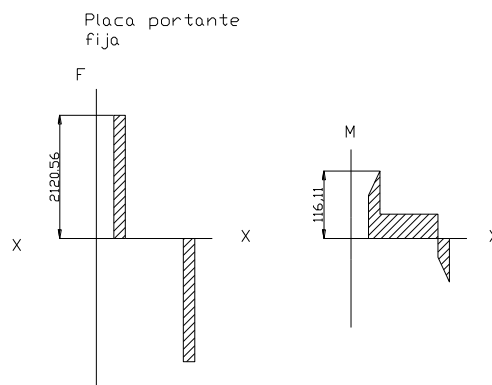


Figura 4.62 Distribución de las fuerza cortante y momento flector

$$M_{pf} := 116.11 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Momento máximo en la placa portante fija

$$a_{pf} := 0.2 \text{ m}$$

Ancho de la sección de la placa

$$\sigma_{pf} := \frac{M_{pf} \cdot \left(\frac{t_{pf}}{2}\right)}{\frac{1}{12} \cdot (a_{pf} \cdot t_{pf}^3)}$$

Esfuerzo normal

(4 – 37)

$$\sigma_{pf} = 2.419 \times 10^7$$

$$F_{Spf} := \frac{S_y}{\sigma_{pf}}$$

Factor de seguridad

(4 – 38)

$$F_{Spf} = 10.335$$

4.3.1.7.3 Placa soporte

La figura 4.63 muestra la aplicación de las fuerzas y la figura 4.64 el estado de momentos en la zona crítica.

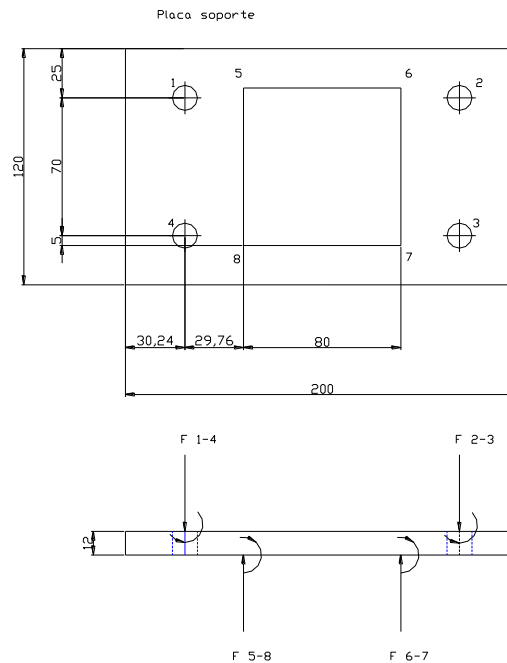


Figura 4.63 Distribución de las fuerzas en la placa soporte

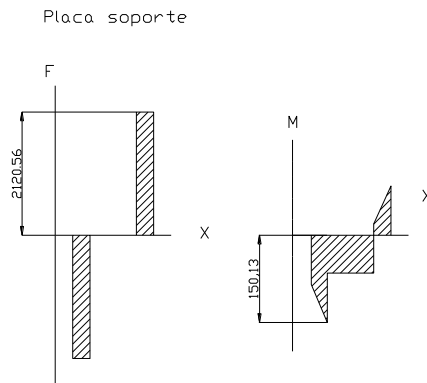


Figura 4.64 Distribución de las fuerza cortante y momento flector

$M_{ps} := 150.13$ N·m Momento máximo en la placa soporte

$aps := 0.2$ m Ancho de la sección de la placa

$$\sigma_{ps} := \frac{M_{ps} \cdot \left(\frac{tps}{2} \right)}{\frac{1}{12} \cdot (aps \cdot tps^3)}$$

Esfuerzo normal (4 – 39)

$$\sigma_{ps} = 3.128 \times 10^7$$

$$FS_{ps} := \frac{Sy}{\sigma_{ps}}$$

Factor de seguridad (4 – 40)

$$FS_{ps} = 7.993$$

4.3.2 CILINDRO PLASTIFICADOR

4.3.2.1 Diseño del cilindro sometido a presión interna

Para el siguiente análisis se tomaron las tres secciones, la primera se la dividió en tres zonas, la segunda en una sola debido a que no es variable, y la tercera en dos zonas, para tener una idea de cómo se está comportando cada parte del cilindro sometido a presión interna, la misma que se considera constante en todas las secciones para el análisis.

Cálculo de la resistencia a presión interna

$S_y := 250 \cdot 10^6$ Pa Resistencia a la fluencia A36

$P_i := 6 \cdot 10^6$ Pa Presión interna para todos los cálculos

Cálculo en el Cono de Entrada:

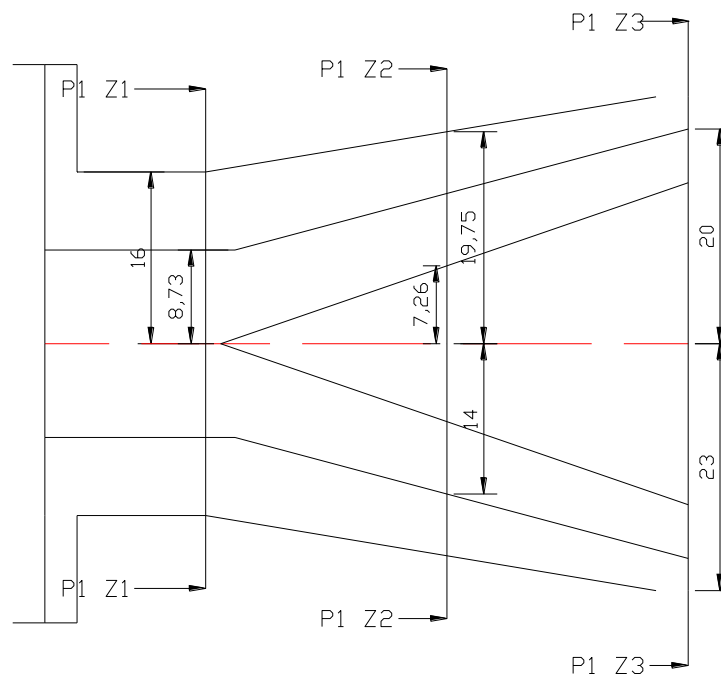


Figura 4.65 Cilindro plastificador: Cono Entrada (Cono 1)

Zona 1:

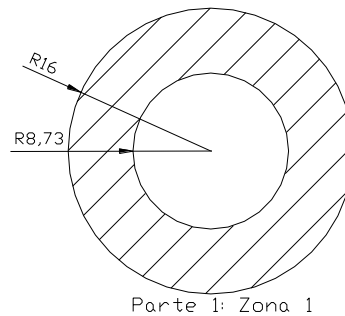


Figura 4.66 Cilindro plastificador: Parte 1 Zona 1

$ri1_1 := 0.00873$ m Radio interior 1

$ro1_1 := 0.016$ m Radio exterior 1

Radio en el que se quiere realizar el cálculo y el esfuerzo es máximo

$r1_1 := ri1_1$ $ri1_1 = 8.73 \times 10^{-3}$ m

Esfuerzo tangencial 1:

$$\sigma t1_1 := \frac{ri1_1^2 \cdot Pi}{ro1_1^2 - ri1_1^2} \cdot \left(1 + \frac{ro1_1^2}{r1_1^2} \right) \quad (4 - 41)$$

$\sigma t1_1 = 1.109 \times 10^7$ Pa

Esfuerzo longitudinal 1:

$$\sigma l1_1 := \frac{ri1_1^2 \cdot Pi}{ro1_1^2 - ri1_1^2} \quad (4 - 42)$$

$\sigma l1_1 = 2.543 \times 10^6$ Pa

Factor de seguridad al esfuerzo tangencial 1:

$$FSt1_1 := \frac{Sy}{\sigma t1_1} \quad (4 - 43)$$

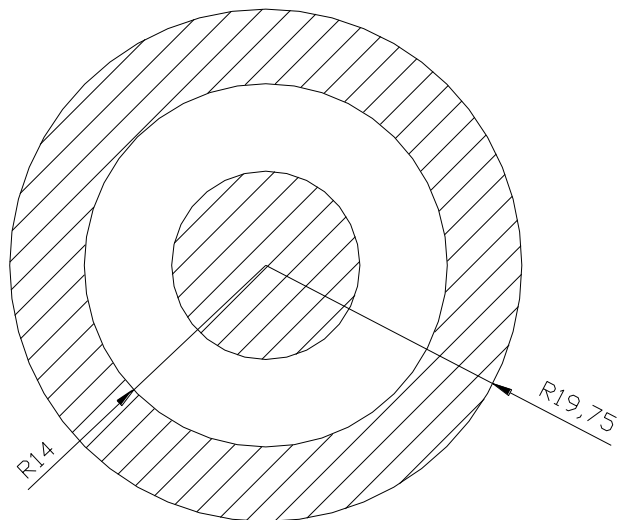
$FSt1_1 = 22.549$

Factor de seguridad al esfuerzo longitudinal1:

$$FSI_{1_1} := \frac{S_y}{\sigma_{l1_1}} \quad (4 - 44)$$

$$FSI_{1_1} = 98.292$$

Zona 2:



Parte 1: Zona 2

Figura 4.67 Cilindro plastificador: Parte 1 Zona 2

$$r_{i2} := 0.014 \quad \text{m} \quad \text{Radio interior 2}$$

$$r_{o2} := 0.01975 \quad \text{m} \quad \text{Radio exterior 2}$$

Radio en el que se quiere realizar el cálculo y el esfuerzo es máximo

$$r_{1_2} := r_{i2} \quad r_{1_2} = 0.014 \quad \text{m}$$

Esfuerzo tangencial 2:

$$\sigma_{t1_2} := \frac{r_{i2}^2 \cdot P_i}{r_{o2}^2 - r_{i2}^2} \cdot \left(1 + \frac{r_{o2}^2}{r_{1_2}^2} \right) \quad (4 - 45)$$

$$\sigma_{t1_2} = 1.812 \times 10^7 \quad \text{Pa}$$

Esfuerzo longitudinal 2:

$$\sigma_{l2} := \frac{r_{i2}^2 \cdot P_i}{r_{o2}^2 - r_{i2}^2} \quad (4 - 46)$$

$$\sigma_{l2} = 6.06 \times 10^6$$

Factor de seguridad al esfuerzo tangencial2:

$$FSt_{l2} := \frac{S_y}{\sigma_{l2}} \quad (4 - 47)$$

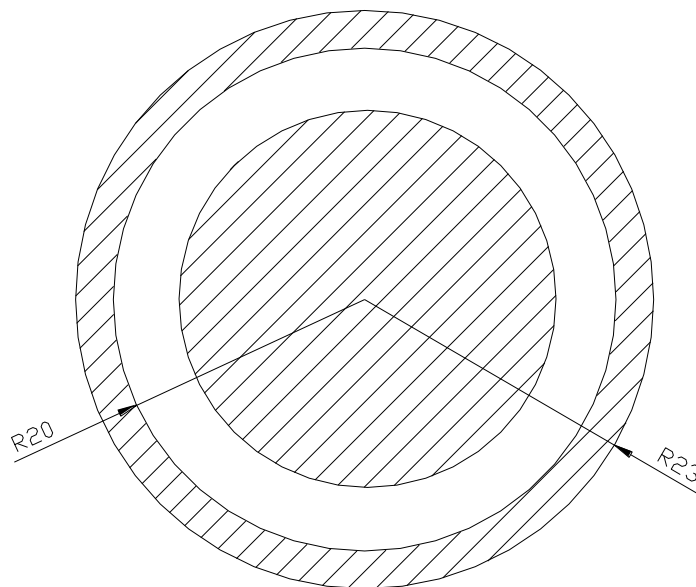
$$FSt_{l2} = 13.797$$

Factor de seguridad al esfuerzo longitudinal2:

$$FS_{l2} := \frac{S_y}{\sigma_{l2}} \quad (4 - 48)$$

$$FS_{l2} = 41.255$$

Zona 3:



Parte 1: Zona 3

Figura 4.68 Cilindro plastificador: Parte 1 Zona 3

$$r_{i3} := 0.020 \quad \text{m} \quad \text{Radio interior 3}$$

$$r_{o3} := 0.023 \quad \text{m} \quad \text{Radio exterior 3}$$

Radio en el que se quiere realizar el cálculo y el esfuerzo es máximo

$$r_{13} := r_{i3} \quad r_{13} = 0.02 \quad \text{m}$$

Esfuerzo tangencial 3:

$$\sigma_{t13} := \frac{r_{i3}^2 \cdot \text{Pi}}{r_{o3}^2 - r_{i3}^2} \cdot \left(1 + \frac{r_{o3}^2}{r_{13}^2} \right) \quad (4 - 49)$$

$$\sigma_{t13} = 4.321 \times 10^7 \quad \text{Pa}$$

Esfuerzo longitudinal 3:

$$\sigma_{l13} := \frac{r_{i3}^2 \cdot \text{Pi}}{r_{o3}^2 - r_{i3}^2} \quad (4 - 50)$$

$$\sigma_{l13} = 1.86 \times 10^7 \quad \text{Pa}$$

Factor de seguridad al esfuerzo tangencial 3:

$$\text{FSt}_{13} := \frac{S_y}{\sigma_{t13}} \quad (4 - 51)$$

$$\text{FSt}_{13} = 5.786$$

Factor de seguridad al esfuerzo longitudinal 3:

$$\text{FSI}_{13} := \frac{S_y}{\sigma_{l13}} \quad (4 - 52)$$

$$\text{FSI}_{13} = 13.437$$

Cálculo en el cilindro intermedio:

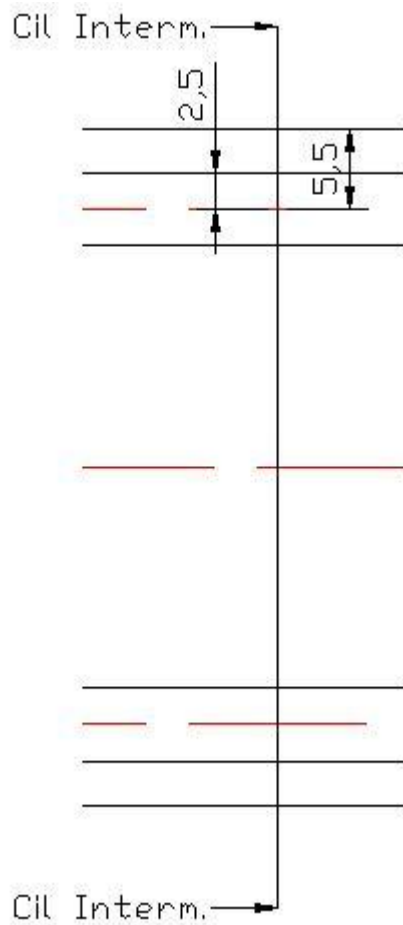


Figura 4.69 Cilindro plastificador: Parte intermedia

El cálculo se realiza para una perforación, ya que el espesor de 3 mm hace que sea de interés a nuestro estudio. Se lo tomará como un cilindro a cada perforación

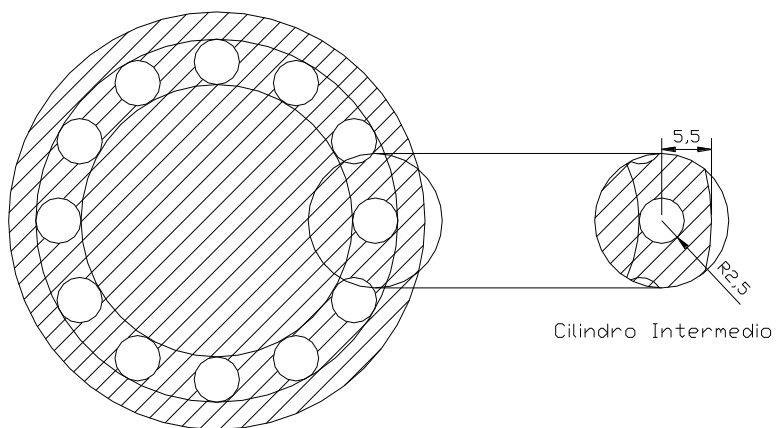


Figura 4.70 Cilindro plastificador Intermedio. Sección

$r_{im} := 0.0025 \quad m$ Radio de la perforación.

$r_{om} := 0.0055 \quad m$ Radio del cilindro exterior formado.

Radio en el que se quiere realizar el cálculo y el esfuerzo es máximo

$$r_m := r_{im} \quad r_m = 2.5 \times 10^{-3} \quad m$$

Esfuerzo tangencial:

$$\sigma_{tm} := \frac{r_{im}^2 \cdot Pi}{r_{om}^2 - r_{im}^2} \cdot \left(1 + \frac{r_{om}^2}{r_m^2} \right) \quad (4 - 53)$$

$$\sigma_{tm} = 9.125 \times 10^6 \quad Pa$$

Esfuerzo longitudinal:

$$\sigma_{lm} := \frac{r_{im}^2 \cdot Pi}{r_{om}^2 - r_{im}^2} \quad (4 - 54)$$

$$\sigma_{lm} = 1.563 \times 10^6 \quad Pa$$

Factor de seguridad al esfuerzo tangencial:

$$FStm := \frac{Sy}{\sigma_{tm}} \quad (4 - 55)$$

$$FStm = 27.397$$

Factor de seguridad al esfuerzo longitudinal:

$$FSlm := \frac{Sy}{\sigma_{lm}} \quad (4 - 56)$$

$$FSlm = 160$$

Cálculo en el Cono de Salida:

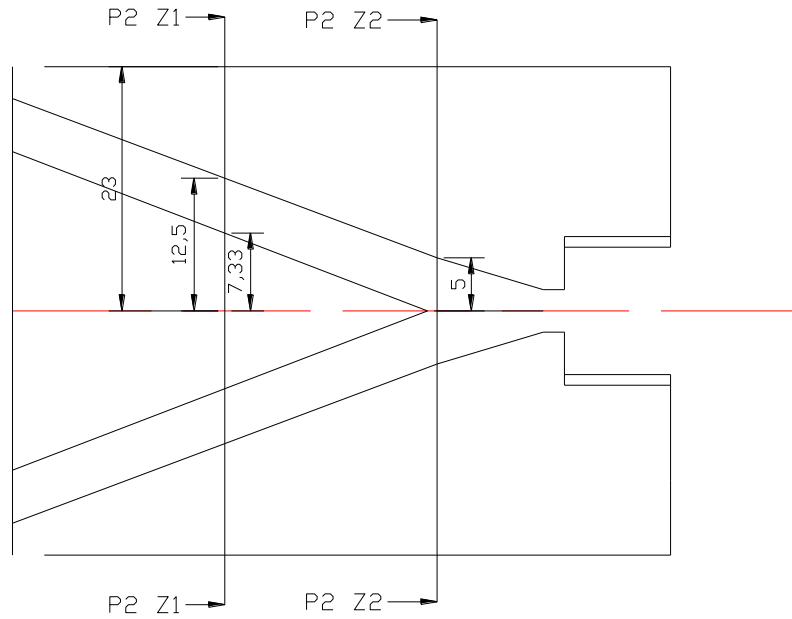
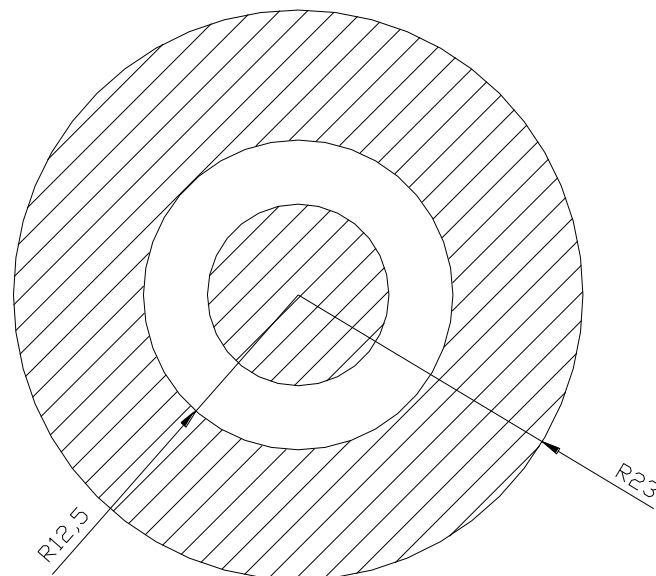


Figura 4.71 Cilindro Plastificador Cono Salida (Cono 2)

Zona 1:



Parte 2: Zona 1

Figura 4.72 Cilindro Plastificador Parte 2 Zona 1

$r_{i2_1} := 0.0125$ m Radio interior 1

$r_{o2_1} := 0.023$ m Radio exterior 1

Radio en el que se quiere realizar el cálculo y el esfuerzo es máximo

$r_{2_1} := r_{i2_1}$ $r_{2_1} = 0.013$ m

Esfuerzo tangencial 1:

$$\sigma_{t2_1} := \frac{r_{i2_1}^2 \cdot Pi}{r_{o2_1}^2 - r_{i2_1}^2} \cdot \left(1 + \frac{r_{o2_1}^2}{r_{2_1}^2} \right) \quad (4 - 57)$$

$$\sigma_{t2_1} = 1.103 \times 10^7 \quad Pa$$

Esfuerzo longitudinal 1:

$$\sigma_{l2_1} := \frac{r_{i2_1}^2 \cdot Pi}{r_{o2_1}^2 - r_{i2_1}^2} \quad (4 - 58)$$

$$\sigma_{l2_1} = 2.515 \times 10^6 \quad Pa$$

Factor de seguridad al esfuerzo tangencial 1:

$$FSt_{2_1} := \frac{Sy}{\sigma_{t2_1}} \quad (4 - 59)$$

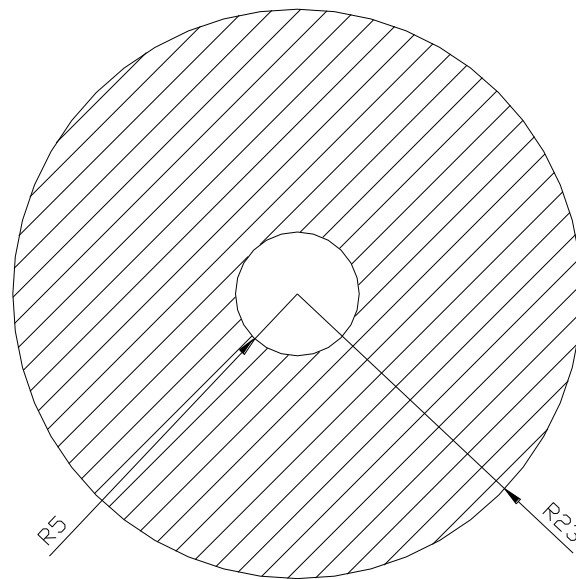
$$FSt_{2_1} = 22.665$$

Factor de seguridad al esfuerzo longitudinal 1:

$$FSI_{2_1} := \frac{Sy}{\sigma_{l2_1}} \quad (4 - 60)$$

$$FSI_{2_1} = 99.4$$

Zona 2:



Parte 2: Zona 2

Figura 4.73 Cilindro Plastificador Parte 2 Zona 2

$ri_{2_2} := 0.005 \quad \text{m}$ Radio interior 2

$ro_{2_2} := 0.023 \quad \text{m}$ Radio exterior 2

Radio en el que se quiere realizar el cálculo y el esfuerzo es máximo

$r_{2_2} := ri_{2_2} \quad r_{2_2} = 5 \times 10^{-3} \quad \text{m}$

Esfuerzo tangencial 2:

$$\sigma_{t2_2} := \frac{ri_{2_2}^2 \cdot Pi}{ro_{2_2}^2 - ri_{2_2}^2} \cdot \left(1 + \frac{ro_{2_2}^2}{r_{2_2}^2} \right) \quad (4 - 61)$$

$\sigma_{t2_2} = 6.595 \times 10^6 \quad \text{Pa}$

Esfuerzo longitudinal 2:

$$\sigma_{l2_2} := \frac{ri_{2_2}^2 \cdot Pi}{ro_{2_2}^2 - ri_{2_2}^2} \quad (4 - 62)$$

$\sigma_{l2_2} = 2.976 \times 10^5 \quad \text{Pa}$

Factor de seguridad al esfuerzo tangencial 2:

$$FSt2_2 := \frac{Sy}{\sigma t2_2} \quad (4 - 63)$$

$$FSt2_2 = 37.906$$

Factor de seguridad al esfuerzo longitudinal 2:

$$FSI2_2 := \frac{Sy}{\sigma l2_2} \quad (4 - 64)$$

$$FSI2_2 = 840$$

Análisis de resultados:

Como podemos observar los factores de seguridad para estos esfuerzos aplicados son muy altos en el cono uno y en el cono dos, los más bajos son en la sección intermedia, donde están las doce perforaciones, sin embargo el factor de seguridad tiene un valor de 5, lo cual es suficiente y aceptable. Se analiza como acero A36, pero es un eje de acero de transmisión SAE 1018, (acero común en el mercado) cuyo punto de fluencia es de 40 Ksi, por lo que su resistencia es 11 % superior al acero A36.

Aparentemente está sobredimensionado para la resistencia a presión interna, pero en el diseño también se considera la parte térmica e hidrodinámica, por esa razón queda sobre dimensionado cuando se lo prueba solo a presión interna.

4.3.2.2 Diseño de los pernos de las bridas:

Como podemos ver del diagrama de cuerpo libre del cono 1, en la primera parte, vemos que el plástico ejerce una presión sobre las paredes del cono, que es perpendicular a las mismas; haciendo sumatorias de fuerzas, las componentes verticales se anulan, pero las componentes horizontales se complementan, esta va a ser la fuerza externa total de tracción que van a soportar los pernos.

La componente horizontal de presión interna multiplicada por el área lateral del cono nos da la fuerza ejercida sobre los pernos, resultado de la presión interna.

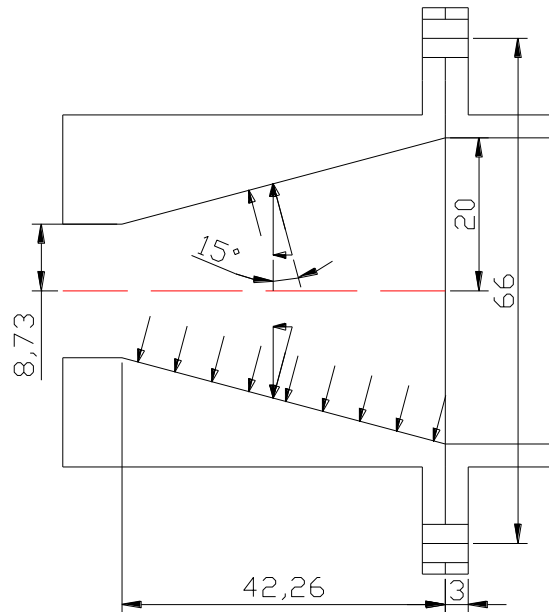


Figura 4.74 Cono Interno del Cono de Entrada

Datos:

$P_i := 6 \cdot 10^6$ Pa Presión interna

$D_c := 0.066$ m Diámetro de colocación de pernos.

$E := 200 \cdot 10^9$ Pa

Datos de prueba para la resolución del problema:

DIN Grado 8.8

$D_n := 4$ mrr Diámetro nominal.

$D_{n\text{mayor}} := \sqrt{3} \cdot D_n$ Diámetro de la cabeza del perno.

$D_{n\text{mayor}} = 6.928$ mrr

$A_t := 8.78$ mm² Área de esfuerzo tensión (tabla 8-1 Shigley), pág 369

$A_t := \frac{A_t}{1000^2}$ m² $A_t = 8.78 \times 10^{-6}$

$S_b := 600 \cdot 10^6$ Pa Resistencia límite mínima a la tensión

$S_u := 830 \cdot 10^6$ Pa Resistencia última mínima a la tensión

$S_y := 660 \cdot 10^6$ Pa Resistencia de fluencia mínima a la tensión

Cálculo del área efectiva en el cono de entrada:

$D := 0.040$ m Diámetro mayor del cono.

$d := 0.01746$ m Diámetro menor del cono.

$h := 0.04226$ m Altura total del cono.

Arista del cono, línea lateral.

$$G := \sqrt{h^2 + \frac{(D-d)^2}{2}} \quad (4 - 65)$$

$$G = 0.045 \quad \text{m}$$

Área lateral del cono, donde se ejerce la presión.

$$A_{\text{efec}} := \frac{\pi}{2} \cdot G \cdot (D + d) \quad (4 - 66)$$

$$A_{\text{efec}} = 4.077 \times 10^{-3} \quad \text{m}^2$$

Fuerza sobre la pared producida por la presión.

$$F_{\text{máx}} := P_i \cdot A_{\text{efec}} \quad \text{Presión interna x Área efectiva} \quad (4 - 67)$$

$$F_{\text{máx}} = 2.446 \times 10^4 \quad \text{N}$$

Ángulo de aplicación de la fuerza con respecto a la horizontal

$$\theta := 15 \cdot \frac{\pi}{180}$$

Fuerza producto de la presión interna.

$$F_{\text{máxTrac}} := F_{\text{máx}} \cdot \sin(\theta) \quad (4 - 68)$$

$$F_{\text{máxTrac}} = 6.331 \times 10^3 \quad \text{N}$$

Cálculo del número de pernos:

Número de pernos calculados

$$N := \frac{\pi}{5} \cdot \frac{D_c}{\frac{D_n}{1000}} \quad (4 - 69)$$

$$N = 10.367$$

Número de pernos tomados.

$$N := 10$$

Cálculo de las constantes elásticas:

Para las placas:

$$L_p := 8 \cdot 10^{-3} \quad \text{m} \quad \text{Espesor de las dos placas.}$$

Área de las placas bajo la cabeza del perno.

$$A_{pl} := \left[\left(\sqrt{3} \cdot \frac{D_n}{1000} \right)^2 - \left(\frac{D_n}{1000} \right)^2 \right] \cdot \frac{\pi}{4} \quad (4 - 70)$$

$$A_{pl} = 2.513 \times 10^{-5} \quad m^2$$

Constante elástica de la placa.

$$K_p := \frac{E \cdot A_{pl}}{L_p} \quad (4 - 71)$$

$$K_p = 6.283 \times 10^8 \quad Pa \cdot m$$

Para el perno:

Área del diámetro nominal del perno.

$$A_{per} := \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{D_n}{1000} \right)^2 \quad (4 - 72)$$

$$A_{per} = 1.257 \times 10^{-5} \quad m^2$$

Longitud total del perno hasta la tuerca.

$$L_{per} := \frac{8 + 5}{1000} \quad m \quad (4 - 73)$$

Constante elástica del perno

$$K_{per} := \frac{E \cdot A_{per}}{L_{per}} \quad (4 - 74)$$

$$K_{per} = 1.933 \times 10^8 \quad Pa \cdot m$$

Fuerza de precarga:

$$F_{prec} := 0.7 \cdot S_b \cdot A_t \quad (4 - 75)$$

$$F_{prec} = 3.688 \times 10^3 \quad N$$

Cálculo de las fuerzas externas sobre los pernos y placas:

Fuerza que resiste cada perno por la presión interna.

$$F_{exper} := \frac{K_{per}}{(K_{per} + K_p)} \cdot F_{m\acute{a}xTrac} \quad (4 - 76)$$

$$F_{exper} = 148.954 \quad N$$

Fuerza que se aplica sobre la placa bajo cada perno.

$$F_{\text{expl}} := \frac{K_p}{(K_{\text{per}} + K_p)} \cdot F_{\text{máxTrac}} \quad (4 - 77)$$

$$F_{\text{expl}} = 484.1 \quad \text{N}$$

Condición de fuerza:

La fuerza de precarga de los 10 pernos debe ser mayor que la fuerza de la placa para que no se suelten los elementos.

$$\text{Cond} := N \cdot F_{\text{prec}} \quad (4 - 78)$$

$$\text{Cond} = 3.688 \times 10^4 \quad \text{N}$$

$$\text{Condplacas} := N \cdot F_{\text{expl}} \quad (4 - 79)$$

$$\text{Condplacas} = 4.841 \times 10^3 \quad \text{N}$$

Se cumple ya que Cond es mayor que la fuerza por carga externa de la placa Condplacas.

Esfuerzo del perno:

Fuerza total sobre el perno

$$F_{\text{pertot}} := F_{\text{exper}} + F_{\text{prec}} \quad (4 - 80)$$

$$F_{\text{pertot}} = 3.837 \times 10^3 \quad \text{N}$$

Esfuerzo por la carga total en el perno

$$\sigma_t := \frac{F_{\text{pertot}}}{A_t} \quad (4 - 81)$$

$$\sigma_t = 4.37 \times 10^8 \quad \text{Pa}$$

Factor de seguridad por esfuerzo total

$$\text{FST1} := \frac{S_b}{\sigma_t} \quad (4 - 82)$$

$$\text{FST1} = 1.373$$

Esfuerzo inicial del perno

$$\sigma_i := \frac{F_{\text{prec}}}{A_t} \quad (4 - 83)$$

$$\sigma_i = 4.2 \times 10^8 \quad \text{Pa}$$

Resistencia del perno a la fatiga:

Constante de la unión (4 - 84)

$$C := \frac{K_{\text{per}}}{K_{\text{per}} + K_p}$$

$$C = 0.235$$

$S_e := 126 \cdot 10^6 \quad \text{Pa}$ Límite de fatiga. Tabla 8-12,
Shigley, pág. 400

Esfuerzo alternante en el perno

$$\sigma_a := C \cdot \frac{F_{\text{máxTrac}}}{N \cdot 2 \cdot A_t} \quad (4 - 85)$$

$$\sigma_a = 8.483 \times 10^6 \quad \text{Pa}$$

Esfuerzo medio en el perno

$$\sigma_m := \sigma_a + \sigma_i \quad (4 - 86)$$

$$\sigma_m = 4.285 \times 10^8 \quad \text{Pa}$$

Esfuerzo máximo aplicado en el perno. Teoría de Goodman.

Sección 8-11, Shigley, pág. 397

$$\sigma_{\text{máx}} := \sigma_a \cdot \frac{S_y}{S_e} + \sigma_m \quad (4 - 87)$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 4.729 \times 10^8 \quad \text{Pa}$$

$$S_{y1} := \sigma_{\text{máx}} \quad (4 - 88)$$

$$S_{y1} = 4.729 \times 10^8$$

Factor de seguridad a la fatiga

$$FS_{\text{fat}} := \frac{S_y}{S_{y1}} \quad (4 - 89)$$

$$FS_{\text{fat}} = 1.396$$

Resistencia estática del perno:

Factor de seguridad a la carga estática

Ec. 8-23, Shigley, pág 393

$$FS_{\text{est}} := \frac{S_b \cdot A_t - F_{\text{prec}}}{C \cdot F_{\text{pertot}}} \quad (4 - 90)$$

$$FS_{\text{est}} = 1.751$$

De la misma manera para el cono de salida, antes de la boquilla de inyección, la presión interna ejercida sobre las paredes se descompone, y las componentes horizontales son las que darán carga externa a los pernos de esa brida.

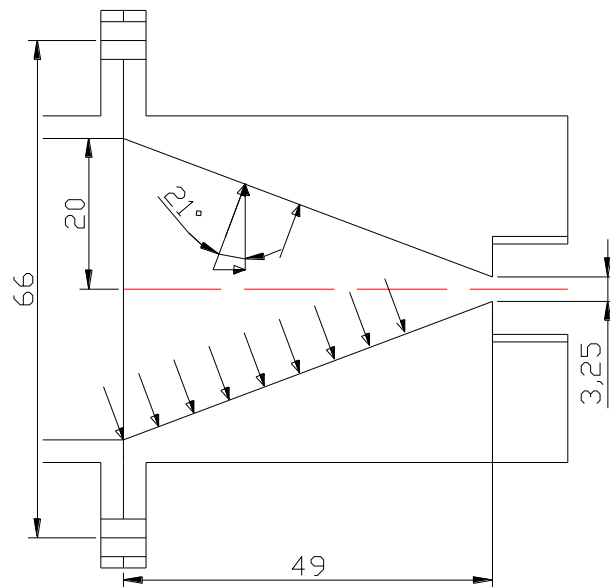


Figura 4.75 Cono Interno del cilindro de salida.

Datos:

$P_i := 6 \cdot 10^6$ Pa Presión interna

$D_c := 0.066$ m Diámetro de colocación de pernos.

$E := 200 \cdot 10^9$ Pa

Datos de prueba para la resolución del problema:

DIN Grado 8.8

$D_n := 4$ mm Diámetro nominal.

$D_{n\text{mayor}} := \sqrt{3} \cdot D_n$ Diámetro de la cabeza del perno.

$D_{n\text{mayor}} = 6.928$ mm

$A_t := 8.78$ mm² Área de esfuerzo tensión (tabla 8-1 Shigley), pág 369

$A_t := \frac{A_t}{1000^2}$ m² $A_t = 8.78 \times 10^{-6}$

$S_b := 600 \cdot 10^6$ Pa Resistencia límite mínima a la tensión

$S_u := 830 \cdot 10^6$ Pa Resistencia última mínima a la tensión

$S_y := 660 \cdot 10^6$ Pa Resistencia de fluencia mínima a la tensión

Cálculo del área efectiva en el cono 2:

$D := 0.040$ m Diámetro mayor del cono.

$d := 0.00325$ m Diámetro menor del cono.

$h := 0.049$ m Altura total del cono.

Arista del cono, línea lateral.

$$G := \sqrt{h^2 + \frac{(D - d)^2}{2}} \quad (4 - 91)$$

$$G = 0.055 \quad \text{m}$$

Área lateral del cono, donde se ejerce la presión.

$$A_{\text{efec}} := \frac{\pi}{2} \cdot G \cdot (D + d) \quad (4 - 92)$$

$$A_{\text{efec}} = 3.768 \times 10^{-3} \quad \text{m}^2$$

Fuerza sobre la pared producida por la presión.

$$F_{\text{máx}} := P_i \cdot A_{\text{efec}} \quad \text{Presión interna x Área efectiva} \quad (4 - 93)$$

$$F_{\text{máx}} = 2.261 \times 10^4 \quad \text{N}$$

Ángulo de aplicación de la fuerza con respecto a la horizontal

$$\theta := 21 \cdot \frac{\pi}{180}$$

Fuerza producto de la presión interna.

$$F_{\text{máxTrac}} := F_{\text{máx}} \cdot \sin(\theta) \quad (4 - 94)$$

$$F_{\text{máxTrac}} = 8.102 \times 10^3 \text{ N}$$

Cálculo del número de pernos:

Número de pernos calculados

$$N := \frac{\pi}{5} \cdot \frac{D_c}{\frac{D_n}{1000}} \quad (4 - 95)$$

$$N = 10.367$$

$$N := 10$$

Número de pernos tomados.

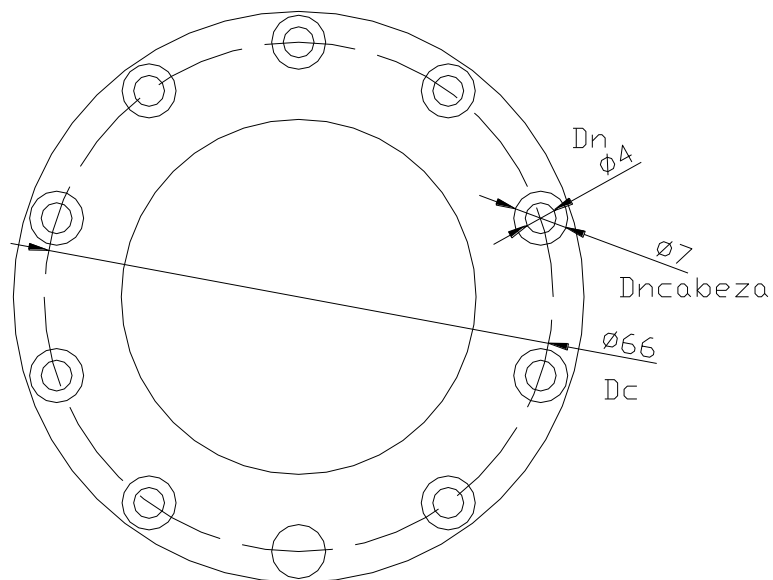


Figura 4.76 Colocación de los pernos en las bridas

Cálculo de las constantes elásticas:

Para las placas:

Espesor de las dos placas

$$L_p := 8 \cdot 10^{-3} \quad \text{m}$$

Área de las placas bajo la cabeza del perno.

$$A_{pl} := \left[\left(\sqrt{3} \cdot \frac{D_n}{1000} \right)^2 - \left(\frac{D_n}{1000} \right)^2 \right] \cdot \frac{\pi}{4} \quad (4 - 96)$$

$$A_{pl} = 2.513 \times 10^{-5} \quad \text{m}^2$$

Constante elástica de la placa.

$$K_p := \frac{E \cdot A_{pl}}{L_p} \quad (4 - 97)$$

$$K_p = 6.283 \times 10^8 \quad \text{Pa} \cdot \text{m}$$

Para el perno:

Área del diámetro nominal del perno.

$$A_{per} := \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{D_n}{1000} \right)^2 \quad (4 - 98)$$

$$A_{per} = 1.257 \times 10^{-5} \quad \text{m}^2$$

Longitud total del perno hasta la tuerca.

$$L_{per} := \frac{8 + 5}{1000} \quad \text{m} \quad (4 - 99)$$

Constante elástica del perno

$$K_{per} := \frac{E \cdot A_{per}}{L_{per}} \quad (4 - 100)$$

$$K_{per} = 1.933 \times 10^8 \quad \text{Pa} \cdot \text{m}$$

Fuerza de precarga:

$$F_{prec} := 0.7 \cdot S_b \cdot A_t \quad (4 - 101)$$

$$F_{prec} = 3.688 \times 10^3 \quad \text{N}$$

Cálculo de las fuerzas externas sobre los pernos y placas:

Fuerza que resiste cada perno por la presión interna.

$$F_{\text{per}} := \frac{K_{\text{per}}}{(K_{\text{per}} + K_{\text{p}})} \cdot F_{\text{máxTrac}} \quad (4 - 102)$$

$$F_{\text{per}} = 190.638 \quad \text{N}$$

Fuerza que se aplica sobre la placa bajo cada perno.

$$F_{\text{expl}} := \frac{K_{\text{p}}}{(K_{\text{per}} + K_{\text{p}})} \cdot F_{\text{máxTrac}} \quad (4 - 103)$$

$$F_{\text{expl}} = 619.575 \quad \text{N}$$

Condición de fuerza:

La fuerza de precarga de los 10 pernos debe ser mayor que la fuerza de la placa para que no se suelten los elementos.

$$\text{Cond} := N \cdot F_{\text{prec}} \quad (4 - 104)$$

$$\text{Cond} = 3.688 \times 10^4 \quad \text{N}$$

$$\text{Condplacas} := N \cdot F_{\text{expl}} \quad (4 - 105)$$

$$\text{Condplacas} = 6.196 \times 10^3 \quad \text{N}$$

Se cumple ya que Cond es mayor que la fuerza por carga externa de la placa Condplacas.

Esfuerzo del perno:

Fuerza total sobre el perno

$$F_{\text{pertot}} := F_{\text{per}} + F_{\text{prec}} \quad (4 - 107)$$

$$F_{\text{pertot}} = 3.878 \times 10^3 \quad \text{N}$$

Esfuerzo por la carga total en el perno

$$\sigma_t := \frac{F_{\text{pertot}}}{A_t}$$

$$\sigma_t = 4.417 \times 10^8$$

Factor de seguridad por esfuerzo total

$$\text{FST1} := \frac{S_b}{\sigma_t} \quad 4 - 117$$

$$\text{FST1} = 1.358$$

Esfuerzo inicial del perno

$$\sigma_i := \frac{F_{\text{prec}}}{A_t} \quad (4 - 108)$$

$$\sigma_i = 4.2 \times 10^8 \quad \text{Pa}$$

Resistencia del perno a la fatiga:

Constante de la unión

$$C := \frac{K_{\text{per}}}{K_{\text{per}} + K_p} \quad (4 - 109)$$

$$C = 0.235$$

$$S_e := 126 \cdot 10^6 \quad \text{Pa}$$

Límite de fatiga. Tabla 8-12, Shigley, pág. 400

Esfuerzo alternante en el perno

$$\sigma_a := C \cdot \frac{F_{\text{máxTrac}}}{N \cdot 2 \cdot A_t} \quad (4 - 110)$$

$$\sigma_a = 1.086 \times 10^7 \quad \text{Pa}$$

Esfuerzo medio en el perno

$$\sigma_m := \sigma_a + \sigma_i \quad (4 - 111)$$

$$\sigma_m = 4.309 \times 10^8 \quad \text{Pa}$$

Esfuerzo máximo aplicado en el perno. Teoría de Goodman.

Sección 8-11, Shigley, pág. 397

$$\sigma_{\text{máx}} := \sigma_a \cdot \frac{S_y}{S_e} + \sigma_m \quad (4 - 112)$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 4.877 \times 10^8$$

$$S_{y1} := 1 \cdot \sigma_{\text{máx}} \quad (4 - 113)$$

$$S_{y1} = 4.877 \times 10^8$$

Factor de seguridad a la fatiga

$$FS_{\text{fat}} := \frac{S_y}{S_{y1}} \quad (4 - 114)$$

$$FS_{\text{fat}} = 1.353$$

Resistencia estática del perno:

Factor de seguridad a la carga estática

Ec. 8-23, Shigley, pág 393

$$FS_{est} := \frac{S_b \cdot A_t - F_{prec}}{C \cdot F_{pertot}} \quad (4 - 115)$$

$$FS_{est} = 1.732$$

Análisis de resultados:

Para ambos casos, vemos que con pernos de 4 mm de diámetro nominal, es suficiente para que pueda soportar las cargas producidas por presión interna, se ha probado fatiga a pesar de que no fuese necesario, debido a que no se tiene mayor número de ciclos del proceso que lo justifique, es mínimo, sin embargo se tiene una presión máxima de 60 bares y una presión mínima que es de cero. El factor de seguridad más importante es el estático, que en este caso es de 1.73, que es un factor muy aceptable para nuestra aplicación.

Para el cálculo de la fuerza de precarga se ha considerado el esfuerzo de prueba, o de Resistencia límite mínima a la tensión, debido a que no se desea fugas en el sistema de plastificación.

4.3.3 DISEÑO DEL MECANISMO DE INYECCIÓN.

En el análisis de las pérdidas de presión tanto en el cilindro plastificador como en el molde, se observa que estas no son elevadas, y se debe a que el polímero recorrer una distancia corta, además las paredes de la pieza a moldear tiene un espesor que permite que el polímero fundido fluya con mayor facilidad. Se toma en consideración estos aspectos para evitar que el prototipo sea demasiado robusto y para no encarecer los costos de fabricación.

La presión mínima de inyección para los termoplásticos que se toma en cuenta es de 50 Bares y ya que las pérdidas de presión no son elevadas, el mecanismo ha sido diseñado con un rango de seguridad del 20%, es decir, la presión de inyección que el mecanismo debe entregar es de 60 Bares.

El mecanismo seleccionado es de corredera manivela, para de esta manera aprovechar la ventaja mecánica que este nos puede entregar al transmitir una fuerza.

4.3.3.1 Análisis de la ventaja mecánica del mecanismo de inyección

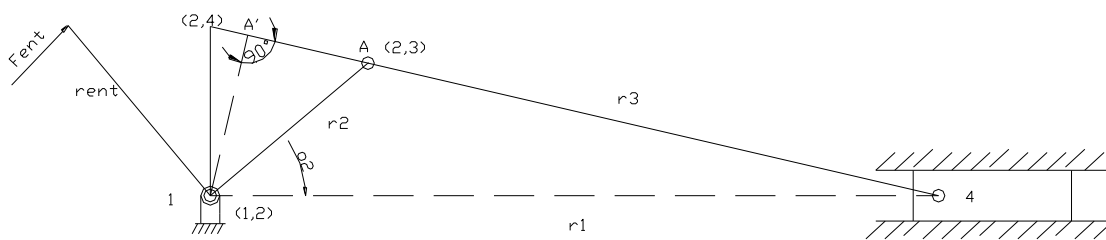


Figura 4.77 Mecanismo de inyección “corredera – manivela”

$$V.M. = \frac{F_{sal}}{F_{ent}} = \frac{rent}{(1,2-2,4)} \quad (4 - 116)$$

Cuando mayor es el brazo “rent” sobre el eslabón de entrada, siempre que su dirección permanezca igual, mayor será la ventaja mecánica. Además como el eslabón de entrada gira en sentido horario, el centro (2,4) se mueve hacia (1,2), incrementando la ventaja mecánica.

$$VM := \frac{F_{sal}}{F_{ent}} \quad \text{Ventaja Mecánica} \quad (4 - 117)$$

$$VM := \frac{Piny \cdot A_{piston}}{F_{ent} \cdot g} \quad (4 - 118)$$

$$VM := \frac{6 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot \pi \cdot 0.016^2 \text{ m}^2}{4 \cdot 20 \text{ kg} \cdot 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$VM = 6.155$$

El mecanismo debe generar esta ventaja mecánica para incrementar la fuerza de entrada y alcanzar una presión de inyección de 60 Bares.

4.3.3.2 Análisis de la síntesis del mecanismo de inyección

Además del requerimiento de la ventaja mecánica, el mecanismo debe retroceder 5 cm para permitir la alimentación de la materia prima para lo que se analiza la síntesis del mecanismo.

$$r1 := r2 + r3 \quad (4 - 119)$$

$$r1 := r2 \cdot \cos(\theta_2) + r3 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{r2}{r3} \cdot \sin(\theta_2)\right)^2} \quad (4 - 120)$$

Donde la fuerza de entrada sea la máxima, es decir cuando el punto A coincida con A', el valor de θ_2 debe ser tal que el punto 4 haya recorrido los 5 cm necesarios para la alimentación.

$$r_2 := 6.5 \quad \text{cm}$$

$$r_3 := 18.5 \quad \text{cm}$$

$$r_1 := r_2 + r_3 \qquad r_1 = 25 \quad \text{cm} \qquad (4 - 121)$$

$$\theta_2 := \text{atan}\left(\frac{r_3}{r_2}\right) \qquad \theta_2 = 1.233 \qquad (4 - 122)$$

$$\theta_{22} := \theta_2 \cdot \frac{180}{\pi} \qquad \theta_{22} = 70.641$$

$$r_1 := r_2 \cdot \cos(\theta_2) + r_3 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{r_2}{r_3} \cdot \sin(\theta_2)\right)^2} \qquad (4 - 123)$$

$$r_1 = 19.609 \quad \text{cm}$$

Ahora se comprueba que la longitud de la palanca sea adecuada para que el valor de ventaja mecánica siga cumpliéndose.

$$\text{rent} := 42.5 \quad \text{cm}$$

$$(1,2-2,4) = \cos(90-\theta_2)/r_2 \qquad (4 - 124)$$

$$x = (1,2-2,4) \qquad (4 - 125)$$

$$x := \frac{r_2}{\cos\left[\left(90 - \theta_{22}\right) \cdot \frac{\pi}{180}\right]} \qquad x = 6.89 \quad \text{cm} \qquad (4 - 126)$$

$$VM := \frac{\text{rent}}{x} \qquad (4 - 127)$$

$$VM = 6.169 \qquad \text{Cumple}$$

4.3.3.3. Diagramas de cuerpo libre del mecanismo y sus partes

La fuerza de entrada será de 20 Kg, es decir 196 N, que es una fuerza promedio que una persona puede ejercer sin problemas.

Con la ventaja mecánica, la fuerza de salida será 1206 N, que multiplicada por el área del cilindro nos da una presión de 60 bares, que será la presión de inyección. La posición mostrada es la posición inicial, el recorrido del cilindro será de 5 cm, los eslabones quedarán estirados y la ventaja mecánica en esa posición será infinita, garantizando que se mantenga la presión.

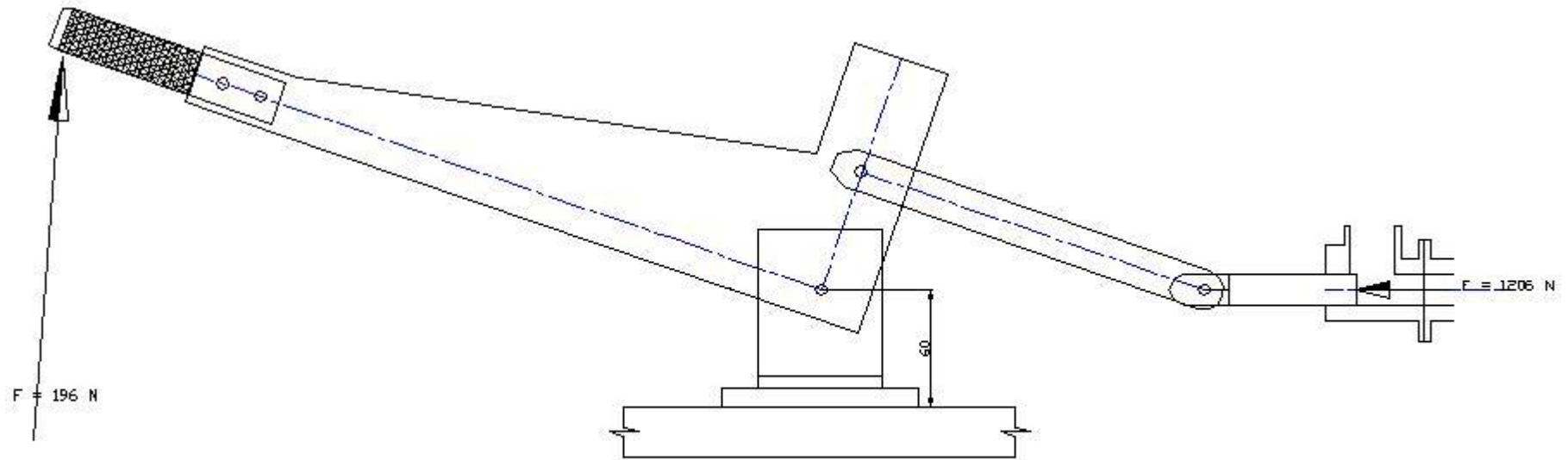


Figura 4.78 Diagrama del mecanismo de inyección

4.3.3.4. Análisis de la resistencia mecánica de los elementos del mecanismo

4.3.3.4.1. Pasador 1 en el pistón de inyección

Material: Acero ASTM A36.

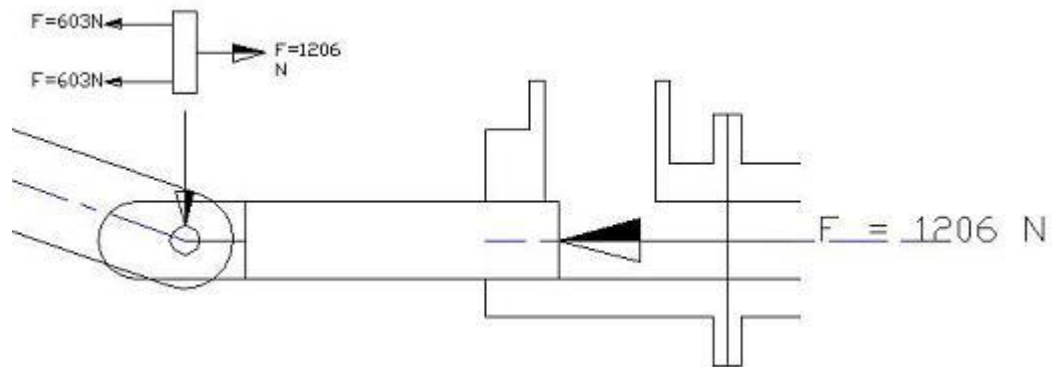


Figura 4.80 Pasador Pistón de Inyección

$S_v := 145 \cdot 10^6$ Resistencia a la fluencia (Fuerza cortante)

$r_{pas1} := 0.0025$ m Radio del pasador

Área de aplastamiento

$$A_{pas1} := \pi \cdot r_{pas1}^2 \quad (4 - 128)$$

$$A_{pas1} = 1.963 \times 10^{-5} \quad m^2$$

$F_{v1} := 1206$ N Fuerza de corte

Esfuerzo de corte

$$\tau_{vpas1} := \frac{4}{3} \cdot \frac{F_{v1}}{A_{pas1}} \quad (4 - 129)$$

$$\tau_{vpas1} = 8.189 \times 10^7 \quad Pa$$

Factor de seguridad

$$FS_{vpas1} := \frac{S_v}{\tau_{vpas1}} \quad (4 - 130)$$

$$FS_{vpas1} = 1.771$$

Es un factor muy aceptable debido a que es un elemento que no debe fallar. Sin embargo, en el mercado existen espárragos desde 6 mm de diámetro, y con este elemento tenemos un factor de seguridad de 2.55

4.3.3.4.2. Palanca y barra R2

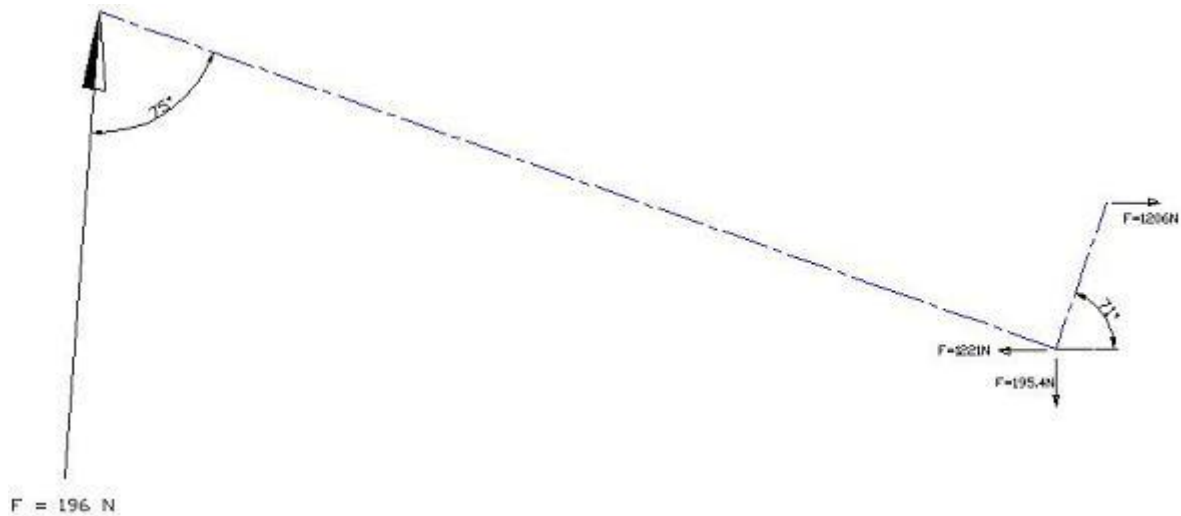


Figura 4.81 DCL Palanca y Barra R2

Se descomponen las fuerza de manera uqe queden alineadas a las direcciones de las barras, y se tengan fuerzas de tracción o compresión y fuerzas cortantes.

Altura (y) para el cálculo del esfuerzo

$$y1 := \frac{h1}{2} \quad (4 - 131)$$

$$y1 = 0.015 \quad \text{m}$$

Momento de inercia de tod la sección transversal

$$I1 := \frac{1}{12} \cdot e1 \cdot h1^3 \quad (4 - 132)$$

$$I1 = 1.429 \times 10^{-8} \quad \text{m}^4$$

Esfuerzo producido por el momento flector

$$\sigma1 := \frac{M1 \cdot y1}{I1} \quad (4 - 133)$$

$$\sigma1 = 1.621 \times 10^8 \quad \text{Pa}$$

Factor de seguridad de la sección

$$FS1 := \frac{Sy}{\sigma1} \quad (4 - 134)$$

$$FS1 = 1.542$$

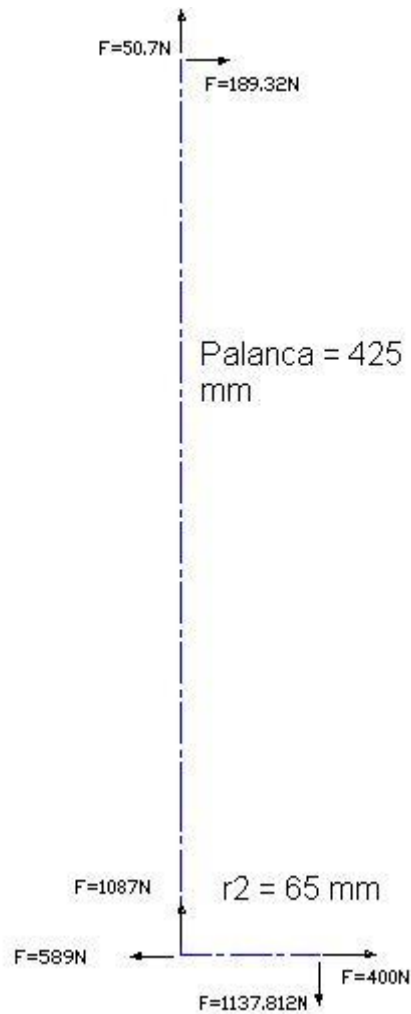


Figura 4.82 DCL Palanca – Barra R2: Fuerzas descompuestas

Sección crítica palanca (pasador):

$M_{cr1} := 154.42$ N·m Momento crítico

$I_{pas1} := 3.354656 \cdot 10^{-8}$ m⁴ Momento de inercia d la sección

$y_{pas} := 0.0384$ m Altura de la sección en el pasador

Esfuerzo de la sección

$$\sigma_{pas} := \frac{M_{cr1} \cdot y_{pas}}{I_{pas1}} \quad (4 - 135)$$

$\sigma_{pas} = 1.768 \times 10^8$ Pa

Factor de seguridad

$$FS_{pas} := \frac{S_y}{\sigma_{pas}} \quad (4 - 136)$$

$FS_{pas} = 1.414$

Radio de giro

$$r_3 := \sqrt{\frac{I_3}{A_3}} \quad (4 - 139)$$

$$r_3 = 5.774 \times 10^{-3} \quad \text{m}$$

Relación de esbeltez, menor que 120

$$Esb_3 := \frac{K_3 \cdot L_3}{r_3} \quad (4 - 140)$$

$$Esb_3 = 64.086$$

Esfuerzo crítico

$$\sigma_{cri3} := \left(1 - \frac{Esb_3^2}{2 \cdot C_c^2} \right) \cdot S_y \quad (4 - 141)$$

$$\sigma_{cri3} = 2.177 \times 10^8 \quad \text{Pa}$$

Factor de seguridad

$$FS_3 := \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{Esb_3}{C_c} - \frac{1}{8} \cdot \left(\frac{Esb_3}{C_c} \right)^3 \quad (4 - 142)$$

$$FS_3 = 1.841$$

Esfuerzo admisible

$$\sigma_{adm3} := \frac{\sigma_{cri3}}{FS_3} \quad (4 - 143)$$

$$\sigma_{adm3} = 1.183 \times 10^8 \quad \text{Pa}$$

$$\theta_3 := 70.641 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{Ángulo de aplicación de la fuerza}$$

$$F_3 := 603 \quad \text{Fuerza aplicada}$$

Fuerza en dirección axial de la barra

$$F_{3x} := \sin(\theta_3) \cdot F_3 \quad \text{N} \quad (4 - 144)$$

$$F_{3x} = 568.906$$

Esfuerzo aplicado

$$\sigma_{apli3} := \frac{F3x}{A3} \quad (4 - 145)$$

$$\sigma_{apli3} = 4.48 \times 10^6 \quad \text{Pa}$$

Factor de seguridad real, con respecto a la fuerza aplicada.

$$FS3_{real} := \frac{\sigma_{adm3}}{\sigma_{apli3}} \quad (4 - 146)$$

$$FS3_{real} = 26.402$$

Sección crítica 3 como columna: área que soporta el pasador

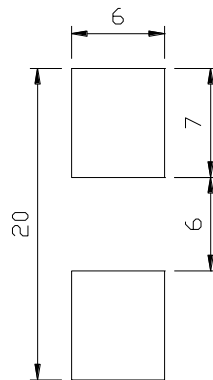


Figura 4.86 Sección pasador R3

$E := 200 \cdot 10^9$	Pa	Módulo de elasticidad del acero estructural A36
$C_c := 126.1$		Límite de deformación plástica para el acero.
$h3cr := 0.014$	m	Altura del perfil
$e3cr := 0.00635$	m	Espesor del perfil
$K3cr := 2$		Condición de apoyo: articulación - corredera
$L3cr := 0.006$	m	Longitud de la barra
$I3cr := 2.52 \cdot 10^{-10}$	m^4	Inercia del perfil

Área del perfil

$$A3cr := h3cr \cdot e3cr \quad (4 - 147)$$

$$A3cr = 8.89 \times 10^{-5} \quad m^2$$

Radio de giro

$$r_{3cr} := \sqrt{\frac{I_{3cr}}{A_{3cr}}} \quad (4 - 148)$$

$$r_{3cr} = 1.684 \times 10^{-3} \quad \text{m}$$

Relación de esbeltez menor que 120

$$Esb_{3cr} := \frac{K_{3cr} \cdot L_{3cr}}{r_{3cr}} \quad (4 - 149)$$

$$Esb_{3cr} = 7.127$$

Esfuerzo crítico

$$\sigma_{cri3cr} := \left(1 - \frac{Esb_{3cr}^2}{2 \cdot C_c^2} \right) \cdot S_y \quad (4 - 150)$$

$$\sigma_{cri3cr} = 2.496 \times 10^8 \quad \text{Pa}$$

Factor de seguridad

$$FS_{3cr} := \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{Esb_{3cr}}{C_c} - \frac{1}{8} \cdot \left(\frac{Esb_{3cr}}{C_c} \right)^3 \quad (4 - 151)$$

$$FS_{3cr} = 1.688$$

Esfuerzo admisible

$$\sigma_{adm3cr} := \frac{\sigma_{cri3cr}}{FS_{3cr}} \quad (4 - 152)$$

$$\sigma_{adm3cr} = 1.479 \times 10^8$$

$$F_{3x} = 568.906 \quad \text{N} \quad \text{Fuerza aplicada}$$

Esfuerzo aplicado

$$\sigma_{apli3cr} := \frac{F_{3x}}{A_{3cr}} \quad (4 - 153)$$

$$\sigma_{apli3cr} = 6.399 \times 10^6$$

Factor de seguridad real.

$$FS_{3realcr} := \frac{\sigma_{adm3cr}}{\sigma_{apli3cr}} \quad (4 - 154)$$

$$FS_{3realcr} = 23.109$$

Resistencia de la palanca R3 a la fuerza cortante:

Sección de 6.35 x 20 mm

$$F_{v3} := 20C \quad N \quad \text{Fuerza cortante}$$

$$h_3 = 0.02 \quad m \quad \text{Altura del perfil}$$

$$e_3 = 6.35 \times 10^{-3} \quad m \quad \text{Espesor del perfil}$$

$$A_3 = 1.27 \times 10^{-4} \quad m^2 \quad \text{Área del perfil}$$

Esfuerzo cortante

$$\tau_{v3} := \frac{3}{2} \cdot \frac{F_{v3}}{A_3} \quad (4 - 155)$$

$$\tau_{v3} = 2.362 \times 10^6 \quad Pa$$

Factor de seguridad

$$FS_{v3} := \frac{S_v}{\tau_{v3}} \quad (4 - 156)$$

$$FS_{v3} = 61.383$$

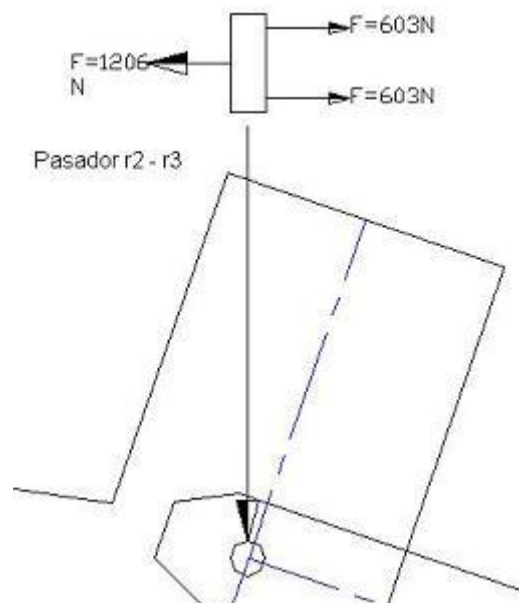


Figura 4.87 Pasador R2 – R3

Sección con pasador:

$$Fv3 = 200 \quad \text{N} \quad \text{Fuerza de corte}$$

$$evpas3 := 0.006 \quad \text{m} \quad \text{Espesor del área de la palanca en el pasador}$$

$$hvpas3 := 0.007 \quad \text{m} \quad \text{Altura del área de la palanca en el pasador}$$

Área total de la palanca en el pasador

$$Avpas3 := 2 \cdot evpas3 \cdot hvpas3 \quad (4 - 157)$$

$$Avpas3 = 8.4 \times 10^{-5} \quad \text{m}^2$$

Momento estático de primer orden.

$$Qvpas3 := \frac{Avpas3}{2} \cdot hvpas3 \quad (4 - 158)$$

$$Qvpas3 = 2.94 \times 10^{-7} \quad \text{m}^3$$

Momento de inercia de toda la sección transversal

$$Ivpas3 := \frac{1}{12} \cdot (evpas3 \cdot h3^3 - evpas3^4) \quad (4 - 159)$$

$$Ivpas3 = 3.892 \times 10^{-9} \quad \text{m}^4$$

Esfuerzo cortante en la sección 3 del pasador

$$\tauvpas3 := \frac{Fv3 \cdot Qvpas3}{Ivpas3 \cdot evpas3} \quad (4 - 160)$$

$$\tauvpas3 = 2.518 \times 10^6 \quad \text{Pa}$$

Factor de seguridad para la sección

$$FSvpas3 := \frac{Sv}{\tauvpas3} \quad (4 - 161)$$

$$FSvpas3 = 57.586$$

Ver figuras 4.87 y 4.88.

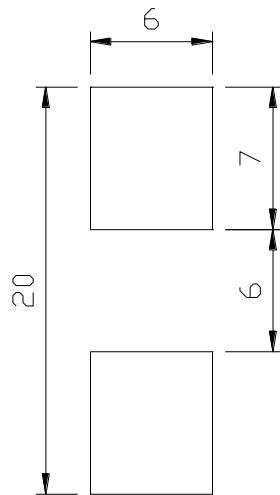


Figura 4.88 Sección del pasador en la palanca R3

4.3.3.4.4. Análisis de los pernos de la placa soporte de la palanca

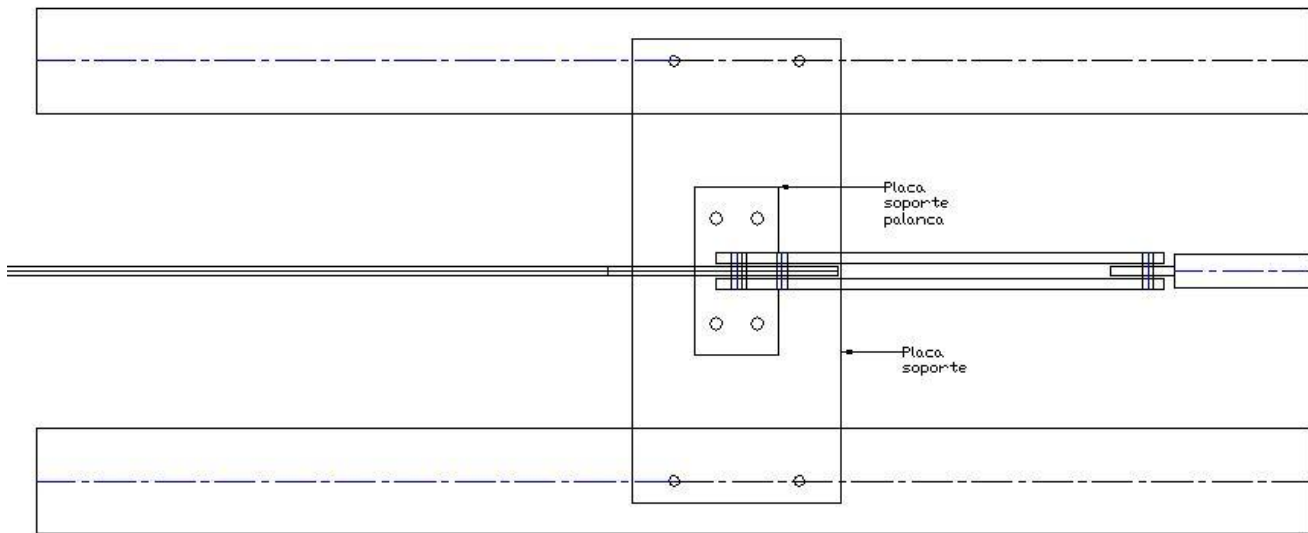


Figura 4.89 Vista superior: Esquema de Mecanismo

$F_{axt} := 589 \text{ N}$

Fuerza cortante en el pasador de apoyo

$R := 0.050 \text{ m}$

Radio de palanca que hace momento flector en los pernos

Momento flector

$MF := F_{axt} \cdot R$

(4 – 162)

$MF = 29.45 \text{ N}\cdot\text{m}$

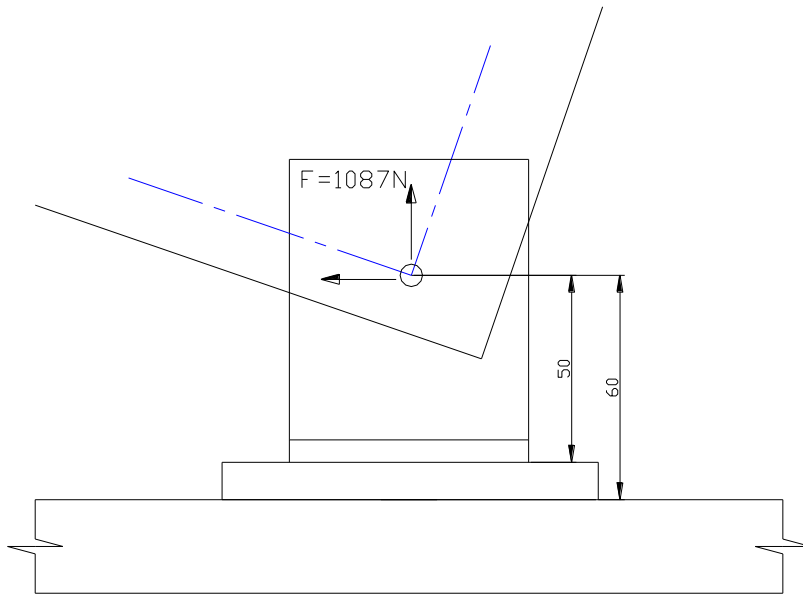


Figura 4.90 Pasador

Pernos que se escoge y se comprueba su resistencia:

Perno M5 * 25 Acero de mediano o bajo carbono

Grado := 8.8

$\phi_{\text{per}} := 0.005$ m

Resistencia de fluencia mínima a la tensión

$S_{b\text{per}} := 660 \cdot 10^6$ Pa Tabla 8-6, Shigey, pàg 388

$A_t := 1.42 \cdot 10^{-5}$ m² Tabla 8-2, Shigley, pàg 370

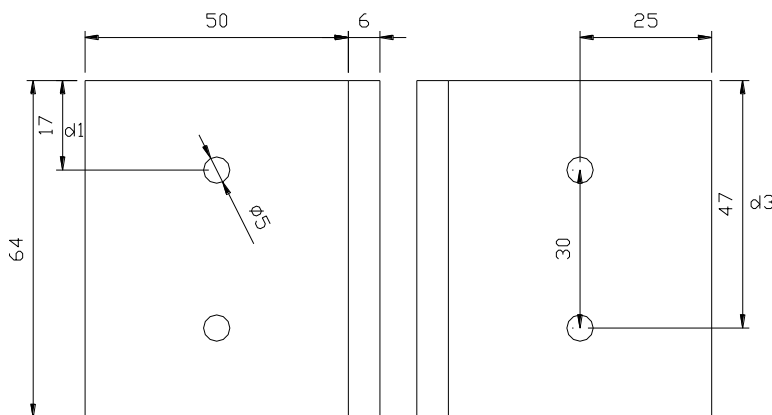


Figura 4.91 Placas soporte de palanca

Esfuerzo por la fuerza axial en el perno

$$\tau_{\text{per}} := \frac{F_{\text{axt}}}{4 A_t} \quad \tau_{\text{per}} = 1.037 \times 10^7 \text{ Pa} \quad (4 - 163)$$

$$d_1 := 0.017 \text{ m} \quad \text{Distancia 1 hasta el perno 1}$$

$$d_3 := 0.047 \text{ m} \quad \text{Distancia 2 hasta el perno 2}$$

Solución del sistema

$$F_1 := 0 \quad F_3 := 0$$

Given

$$\frac{F_1}{d_1} = \frac{F_3}{d_3} \quad (4 - 164)$$

$$MF = 2 \cdot F_1 \cdot d_1 + 2 \cdot F_3 \cdot d_3 \quad (4 - 165)$$

$$\text{Find}(F_1, F_3) = \begin{pmatrix} 100.21 \\ 277.052 \end{pmatrix}$$

$$F_{p1} := 100 \text{ N} \quad \text{Fuerzas en los pernos}$$

$$F_{p3} := 277 \text{ N}$$

Esfuerzo en el perno producto del momento flector

$$\sigma_{\text{per}} := \frac{F_{p3}}{A_t} \quad \sigma_{\text{per}} = 1.951 \times 10^7 \text{ Pa} \quad (4 - 166)$$

Esfuerzo equivalente total en el perno

$$\sigma_{\text{eqper}} := \sqrt{\sigma_{\text{per}}^2 + 4 \cdot \tau_{\text{per}}^2} \quad (4 - 167)$$

$$\sigma_{\text{eqper}} = 2.847 \times 10^7 \text{ Pa}$$

Factor de seguridad para los pernos

$$FS_{\text{per}} := \frac{S_{\text{bper}}}{\sigma_{\text{eqper}}} \quad FS_{\text{per}} = 23.181 \quad (4 - 168)$$

Sección soporta palanca:

$$\text{Scor} := 145 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Resistencia al corte

$$\text{Fcor} := 1087 \text{ N}$$

Fuerza de corte máxima

$$\text{ancho} := 0.022 \text{ m}$$

Ancho de la placa

$$\text{es} := 0.00635 \text{ m}$$

Espesor de la placa

$$\text{Area} := 2 \cdot \text{ancho} \cdot \text{es}$$

Área de la placa

$$\text{Area} = 2.794 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Esfuerzo del pasador

$$\sigma_{\text{cor}} := \frac{\text{Fcor}}{\text{Area}} \quad (4 - 169)$$

$$\sigma_{\text{cor}} = 3.89 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Factor de seguridad

$$\text{FScorpl} := \frac{\text{Scor}}{\sigma_{\text{cor}}} \quad (4 - 170)$$

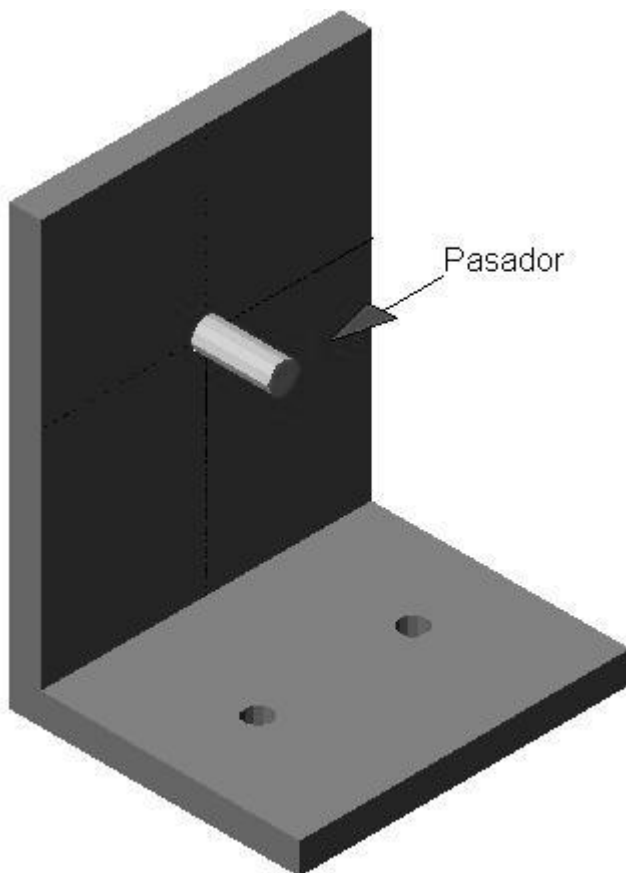


Figura 4.92 Pasador que se analiza

Pasador en el soporte de palanca:

$F_{cor} = 1.087 \times 10^3$ N Fuerza de corte máxima

$r := 0.003$ m Radio del pasador

Área del pasador

$A_{pas} := \pi \cdot r^2$ (4 – 171)

$A_{pas} = 2.827 \times 10^{-5}$ m²

Esfuerzo del pasador

$\tau_{pas} := \frac{F_{cor}}{A_{pas}}$ (4 – 172)

$\tau_{pas} = 3.844 \times 10^7$ Pa

Factor de seguridad

$F_{ScorPas} := \frac{Scor}{\tau_{pas}}$ (4 – 173)

$F_{ScorPas} = 3.772$

4.3.3.4.5. Análisis de los pernos de la placa soporte

$F_{axt} := 589$ N Fuerza cortante en el pasador de apoyo

$R := 0.06$ m Radio de palanca que hace momento flector en los pernos

Momento flector

$MF := F_{axt} \cdot R$ (4 – 174)

$MF = 35.34$ N·m

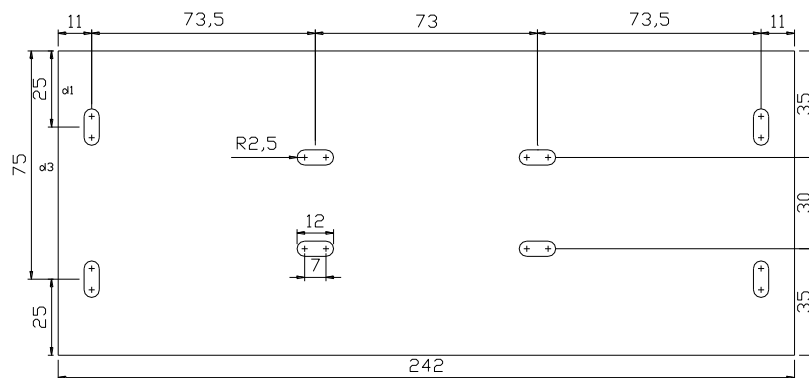


Figura 4.93 Placa soporte

Pernos que se escoge y se comprueba su resistencia:

Perno M5 * 25 Acero de mediano o bajo carbono

Grado := 8.8

$\phi_{\text{per}} := 0.005 \text{ m}$

$S_{b\text{per}} := 660 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ Resistencia de fluencia mínima a la tensión
Tabla 8-6, Shigley, pàg 388

$A_t := 1.42 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ Tabla 8-2, Shigley, pàg 370

Esfuerzo de corte en cada perno

$$\tau_{\text{per}} := \frac{F_{\text{axt}}}{4 A_t} \quad \tau_{\text{per}} = 1.037 \times 10^7 \text{ Pa} \quad (4 - 175)$$

$d_1 := 0.025 \text{ m}$ Distancia 1 hasta el perno 1

$d_3 := 0.075 \text{ m}$ Distancia 2 hasta el perno 2

$F_1 := 0$ $F_3 := 0$

Solución del sistema:

Given

$$\frac{F_1}{d_1} = \frac{F_3}{d_3} \quad (4 - 176)$$

$$MF = 2 \cdot F_1 \cdot d_1 + 2 \cdot F_3 \cdot d_3 \quad (4 - 177)$$

$$\text{Find}(F_1, F_3) = \begin{pmatrix} 70.68 \\ 212.04 \end{pmatrix}$$

$F_{p1} := 71 \text{ N}$ Fuerzas en el perno

$F_{p3} := 212 \text{ N}$

Esfuerzo en el perno producto del momento flector.

$$\sigma_{\text{per}} := \frac{F_{p3}}{A_t} \quad \sigma_{\text{per}} = 1.493 \times 10^7 \text{ Pa} \quad (4 - 178)$$

Esfuerzo equivalente

$$\sigma_{eqper} := \sqrt{\sigma_{per}^2 + 4 \cdot \tau_{per}^2} \quad (4 - 179)$$

$$\sigma_{eqper} = 2.555 \times 10^7 \quad \text{Pa}$$

Factor de seguridad apto para los pernos

$$FS_{per} := \frac{S_{bper}}{\sigma_{eqper}} \quad FS_{per} = 25.827 \quad (4 - 180)$$

En general todos los factores de seguridad para los pernos son aceptables, y debido a que se debe ser práctico en la construcción se han escogido todos pernos M5, para hacer la compra de una sola especificación. Y los pasadores en las palancas serán de M6.

Todas las placas y palancas son de acero estructural A36, debido a que es el más común en el mercado, fácil de conseguir y cumple con los requerimientos de resistencia mecánica

4.3.4 DISEÑO DEL MOLDE DE INYECCIÓN

Como se señaló al iniciar este capítulo, el molde tiene una capacidad de 10 gr. Por tratarse de un prototipo cuya finalidad es la demostración práctica del proceso de inyección y por facilidad de construcción se ha tomado como base un molde de cavidad cilíndrica. Sin embargo, y mientras se mantenga tanto el volumen del molde igual o menor a 6.5 cm^3 como el espesor de pared mayor o igual a 2 mm, se puede montar en la inyectora un molde para piezas de cualquier forma. Debido a que la longitud del cilindro plastificador es corta no se presentan pérdidas mayores de presión en el mismo y si se cumplen con lo indicado anteriormente para la construcción del molde, el proceso de inyección se cumple satisfactoriamente.

Para el diseño del molde se toma como referencia diseño de bases y elementos normalizados para moldes que son utilizados en la industria y que se fundamentan en gran parte en las experiencias de los fabricantes.

Se selecciona un molde cuadrado de cavidad cilíndrica, provisto de cuatro columnas guías con sus correspondientes casquillos. El molde con la cavidad hembra está montado en la placa portante fija, y el molde macho se desliza montado en la placa portante fija. Debido al tamaño del molde y por su aplicación demostrativa no se incluye un sistema de expulsores; esta tarea se realiza de forma manual y se ha dotado del espacio suficiente para retirar la pieza inyectada.

Se ha seleccionado como material para los moldes y para el macho insertado especial K por su facilidad de maquinabilidad y buenas características para trabajo en caliente

El Anexo 1 presenta las normas tomadas como referencia de la Cia. General de Aceros S.A. para el diseño de bases y elementos normalizados para moldes

4.4. SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO DE TEMPERATURA.

4.4.1. ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO.

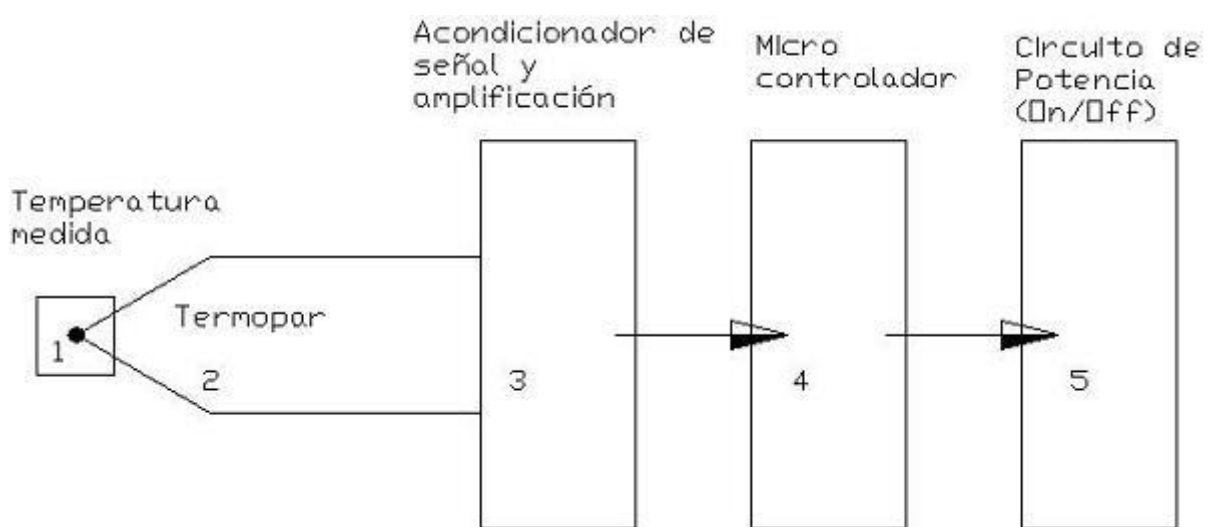


Figura 4.94 Esquema control eléctrico

1.- La temperatura medida es de una superficie metálica, en tres puntos de interés que se necesita controlar, uno a la entrada del material, otro en la parte intermedia del cilindro plastificador y otro en la boquilla de inyección. Debido a que el proceso de control es el mismo para los tres puntos, se explicará de uno y los demás serán similares. El rango de temperatura que se desea en el cilindro plastificador es de 150°C a 170°C, temperatura que se desea mantener en las tres secciones para un plastificado uniforme del material.

2.- El sensor ideal para este control es un termopar, comúnmente llamado termocupla.

La termocupla, está formado por dos conductores metálicos diferentes unidos por sus extremos formando un circuito eléctrico. Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura. La f.e.m. generada depende de la naturaleza de los conductores y de la diferencia de temperaturas entre sus uniones. Cuando se conectan dos metales distintos, y sus uniones son mantenidas a distintas temperaturas, tres fenómenos principales ocurren simultáneamente: el efecto Seebeck, el efecto Peltier, y el efecto Thompson. Tales efectos dependen únicamente de la composición de los metales y la temperatura de la unión.

Efecto Peltier: Consiste en el calentamiento o enfriamiento de una unión entre dos metales distintos al pasar corriente por ella. Este efecto es reversible e independiente del contacto, es decir de la forma y dimensiones de los conductores.

Efecto Thompson: Consiste en la absorción o liberación de calor por parte de un conductor homogéneo con temperatura no homogénea por el que circule corriente, en otras palabras, se absorbe calor si la corriente y el calor fluyen en direcciones opuestas, y se libera calor si fluyen en la misma dirección.

Efecto Seebeck: El resultado de los efectos Peltier y Thompson es el efecto Seebeck, y expresan el teorema fundamental de la termoelectricidad. Se nota que en un circuito cerrado, formado por dos conductores diferentes A y B hay circulación de corriente cuando existe una diferencia de temperaturas ΔT entre sus uniones. Denominando unión de medición T_{med} y unión o junta de referencia T_{ref} . La existencia de una f.e.m térmica AB en el circuito, es

conocida como efecto Seebeck. Cuando la temperatura de la junta de referencia se mantiene constante, se puede verificar que la f.e.m. térmica es función de la temperatura de la junta de medición. Este hecho permite utilizar un par termoeléctrico como un termómetro.

Este efecto es debido a que los electrones libres de un metal, difieren de un conductor a otro. Cuando dos conductores diferentes son unidos y las juntas se mantienen a temperaturas diferentes, la difusión de electrones en las juntas se produce a ritmos diferentes.

De esta manera hay diferentes tipos de termocuplas dependiendo de las combinaciones de los metales, que nos da el rango de medición.

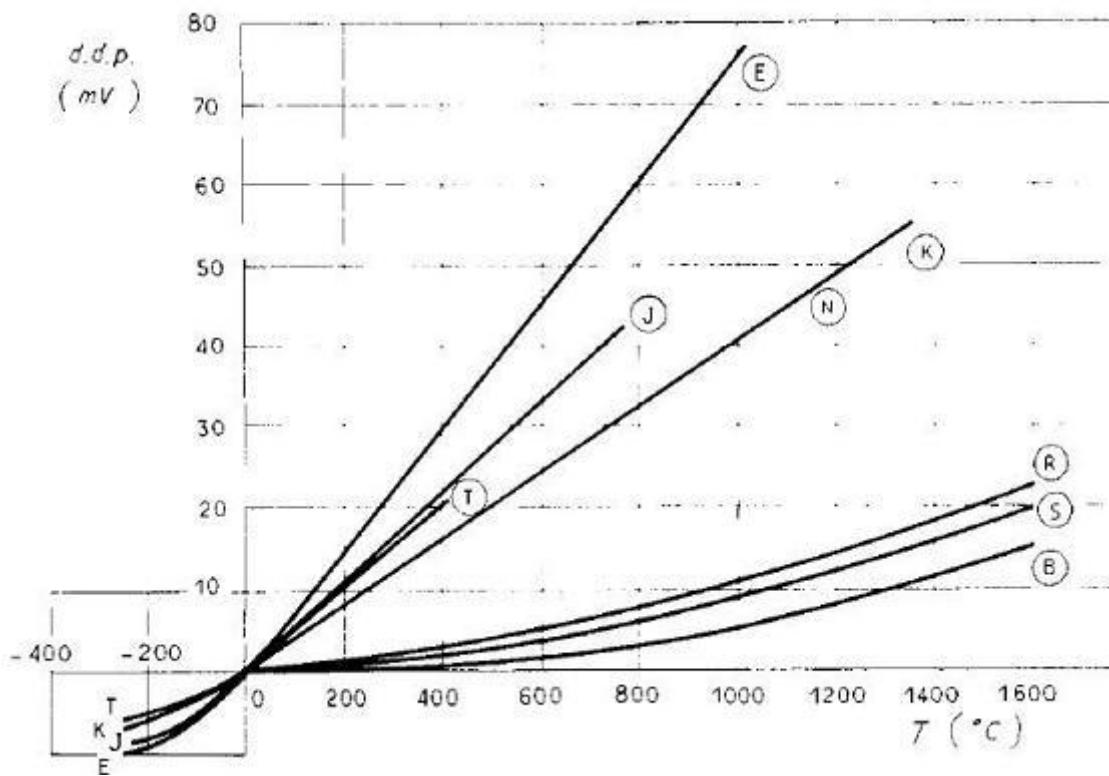


Figura 9.95 Comportamiento termocuplas*

* Documento nt-002.Pdf, <http://www.arian.cl>

Tabla 4.2 Tipos de Termocuplas. Documento nt-002.Pdf*

Tc	Cable + Aleación	Cable - Aleación	°C	Rango (Min, Max) mV
J	Hierro	cobre/nickel	(-180, 750)	42.2
K	Nickel/cromo	Nickel/alumnio	(-180, 1372)	54.8
T	Cobre	cobre/nickel	(-250, 400)	20.8
R	87% Platino 13% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	21.09
S	90% Platino 10% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	18.68
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	(0, 1820)	13.814

Aparentemente, la termocupla ideal para la aplicación debería ser la tipo T, sin embargo, las resistencias sobre pasan los 400 °C fácilmente, por lo que el sensor se podría degradar, por esta razón la termocupla más adecuada es la tipo J.

Los termopares presentan algunas ventajas:

- Su capacidad calorífica es muy pequeña y su constante de tiempo también (el elemento sensible es un punto de soldadura) por lo que resultan muy apropiados para medir fluctuaciones de temperatura y temperaturas de sistemas de reducidas dimensiones.
- No necesitan una fuente de energía por los que hay que hacer pasar una corriente eléctrica para determinar la resistencia, ya que engendran su propia señal (f.e.m. generada por el termopar).
- Pueden usarse como instrumentos diferenciales directamente, ya que su respuesta es proporcional a la diferencia de temperaturas entre las dos uniones del termopar.

* <http://www.arian.cl>

3.- Acondicionamiento de la señal:

La termocupla entrega un diferencial de voltaje, además, a este voltaje se debe sumar el voltaje por temperatura ambiente (corrección de cero) y restar el voltaje producido por los elementos electrónicos (Offset).

Cuando se hacen procesos automáticos se emplean polinomios que aproximan las tablas con exactitud, y los coeficientes dependen del tipo de termopar que se desee usar.

$$T = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots \quad (4 - 181)$$

Donde x es el voltaje obtenido.

En este caso el rango de temperatura se considera un comportamiento lineal.

Se mide la temperatura ambiente con otro sensor, el LM355, el cual da la medida en °C, hay que pasarlo a mv, de esta manera,

$$x(mv) = \frac{Ta - a_0}{a_1} \quad (4 - 182)$$

La salida de la termocupla en el rango de 150 a 170 °C, es de 8.008 a 9.113 mv, se desea linealizar de 0 a 5 V, por otro lado, la resolución va a ser de 1023, debido a que se tiene 10 bits, y el número de combinaciones posibles es 2^{10} .

La ecuación que vamos a programar es la siguiente:

$$T = a_0 + a_1 \left(\frac{\frac{x * 5}{1023} - Offset}{Gain} + \frac{Ta - a_0}{a_1} \right) \quad (4 - 183)$$

Donde Offset es la desviación que hay que restar, y Gain, es la ganancia que hemos dado al circuito. La variable x queda medida en milivoltios (medida dada por la termocupla), y el resultado luego de multiplicar y sumar por sus constantes está dado en grados Celsius.

$$T = a_0 + a_1x(mv) \quad (4 - 184)$$

4.- Esta señal de temperatura en grados Celsius pasa al microcontrolador, el que hará las veces de On/Off. Simplemente compara la temperatura, si es menor que 150 °C, se enciende la resistencia, si es mayor que 170 °C se apaga la resistencia Esta lectura pasa simultáneamente a un Lcd, donde se presenta la temperatura medida y al circuito de potencia.

El programa está hecho en lenguaje C (Pic C) para microcontroladores.

Ver anexo 3: Programa de control de temperatura. .

5.- El circuito de potencia es el encargado de alimentar con 110 v de corriente alterna a las tres resistencias y de dar las protecciones necesarias para que la corriente no se regrese al circuito de control por medio de un circuito de diodos. La corriente que se maneja está alrededor de los 5 a 6 Amp, por lo que los elementos están diseñados para soportar una corriente de 10 Amp.

El circuito necesita una alimentación de corriente continua de 12 y 5 v, para lo cual se utilizó una fuente de computadora, debido a que en su diseño ya posee las protecciones del caso y su uso es práctico.

El encendido se hace con interruptor On/Off, y se alimenta a 110 V de corriente alterna.

4.4.2 CIRCUITOS ELÉCTRICOS Y SEGURIDADES.

4.4.2.1 Circuito de control.

En el circuito de control, lo que se hace es la corrección de cero, el acondicionamiento de la señal, la medición y comparación de la temperatura dentro del rango establecido, de 150 °C a 170 °C.

Para esto se utilizaron varios elementos, entre los cuales los más importantes son los operacionales de instrumentación, los mismos que se encargan de la calibración y acondicionamiento de la señal de la termocupla.

Por lo tanto, si se sensa una temperatura menor que 150°C, se encenderá la resistencia, y si la temperatura es mayor que 170 °C, se apagará la resistencia.

Cabe destacar que esta temperatura es de las caras de las bridas, de modo que las resistencias se encuentran alrededor de unos 280 °C.

El microcontrolador (PIC), cumple varias funciones. Por un lado utiliza el puerto A para la lectura analógica/digital de los conversores, en los que se encuentran las señales de la temperatura ambiente y las temperaturas de las tres termocuplas. En el puerto B se hace el envío de las lecturas al LCD, el mismo es utilizado para tener una lectura de la temperatura que se está controlando. El puerto C es utilizado para las señales de salida, para que se enciendan o apaguen las resistencias.

Anexo 4: Microcontrolador.

Anexo 5: Elementos del circuito de control.

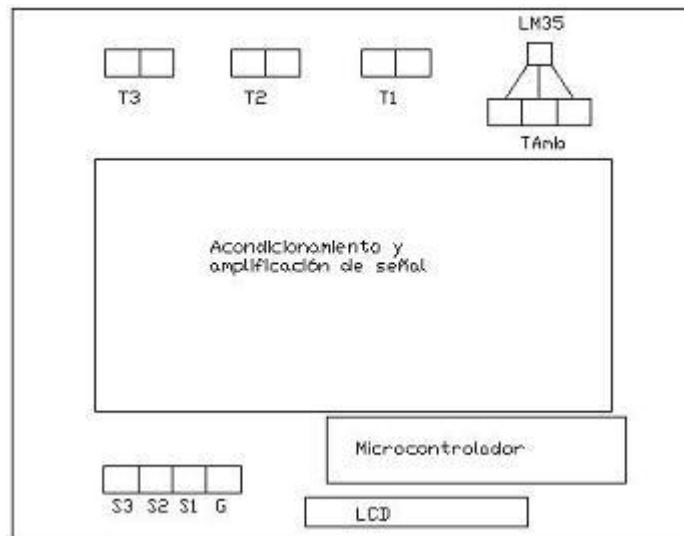


Figura 4.96 Esquema del circuito impreso de control

T1: Temperatura medida 1.

T2: Temperatura medida 2.

T3: Temperatura medida 3.

LM35: Sensor de temperatura.

TÁmb: Medida de la temperatura ambiente para corrección de cero.

S1: Señal de control 1.

S2: Señal de control 2.

S3: Señal de control 3.

G: Contacto a tierra.

LCD: El microcontrolador mandará la lectura de la temperatura a un LCD para poder observar la temperatura sensada.

De manera general, las temperaturas son sensadas, su señal amplificada y acondicionada para ser procesada en el microcontrolador. El microcontrolador enviará una señal de 5 (V) si la temperatura llega hasta antes de 170 °C, si la temperatura es mayor de 170°C, no enviará la señal y la corriente a la resistencia se corta.

4.4.2.2 Circuito de potencia.

Este circuito es el encargado de alimentar a las resistencias con 110 V. Para el correcto funcionamiento y protección de los elementos, se usan opto acopladores (MOC), debido a que se pretende separar la intensidad de corriente de las resistencias del circuito de control. En el circuito de control se manejan intensidades de corriente alrededor de los micro y miliamperios, en cambio en el circuito de potencia se manejan corrientes en el orden de amperios, con lo que fácilmente se pueden quemar los elementos de control. La independencia de estas corrientes se logra con el MOC, debido a que este elemento al recibir la señal, envía una señal infrarroja, o de radio o de luz para conectar la alimentación a las resistencias. Cada resistencia tiene su control de alimentación. De esta manera se evita que se recargue el circuito de control.

Anexo 6: Elementos del circuito de potencia.

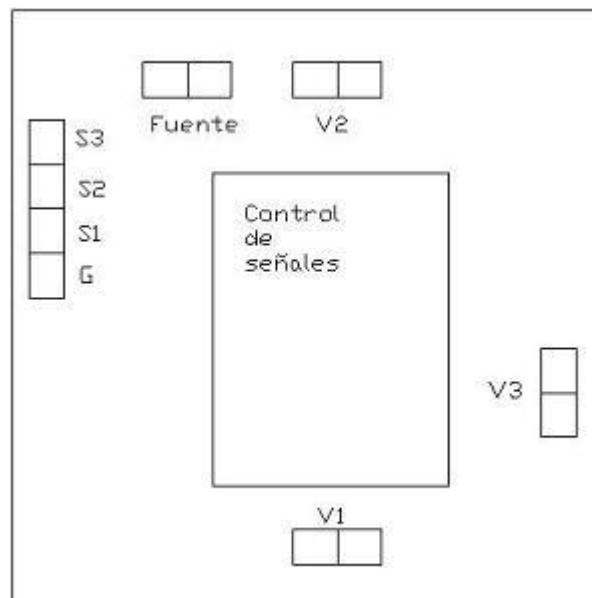


Figura 4.97 Esquema del circuito impreso de potencia

V1: Voltaje alimentación resistencia 1.

V2: Voltaje alimentación resistencia 2.

V3: Voltaje alimentación resistencia 3.

Fuente: Voltaje de alimentación (110 V).

Control de señales: Separa las corrientes del circuito de control con las corrientes del circuito de potencia.

S1: Señal de control 1.

S2: Señal de control 2.

S3: Señal de control 3.

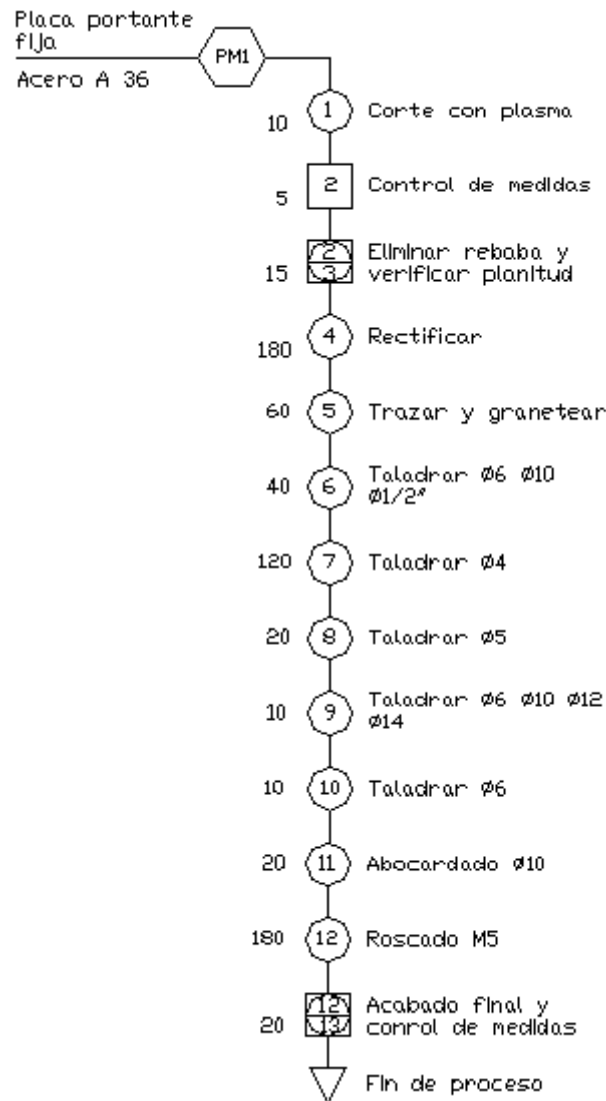
G: Contacto a tierra.

CAPITULO 5

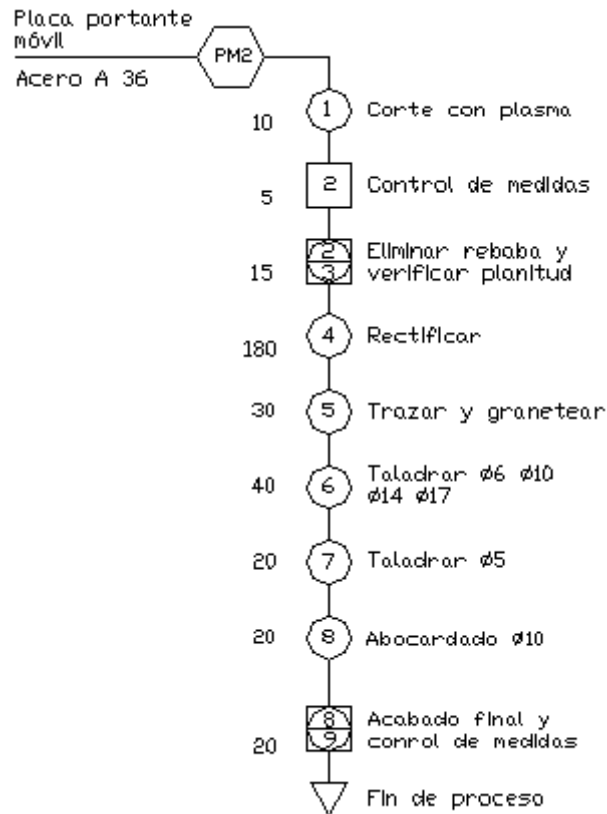
CONSTRUCCION

5.1 ANÁLISIS DE PROCESOS

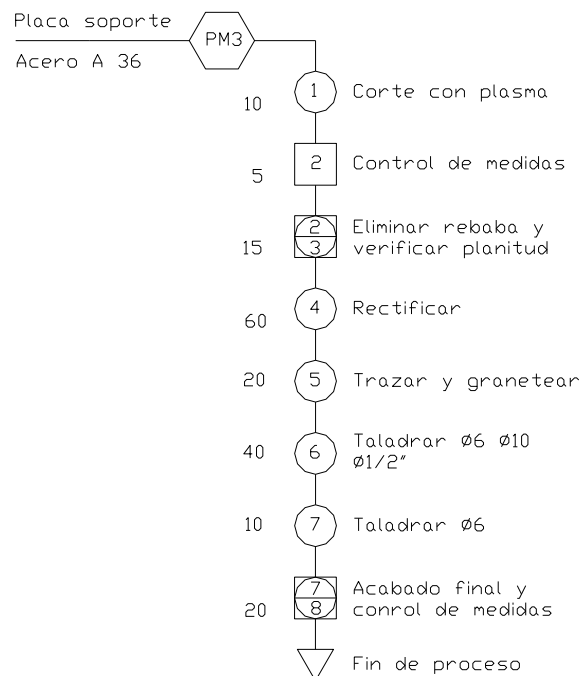
5.1.1 PLACA PORTANTE FIJA



5.1.2 PLACA PORTANTE MÓVIL



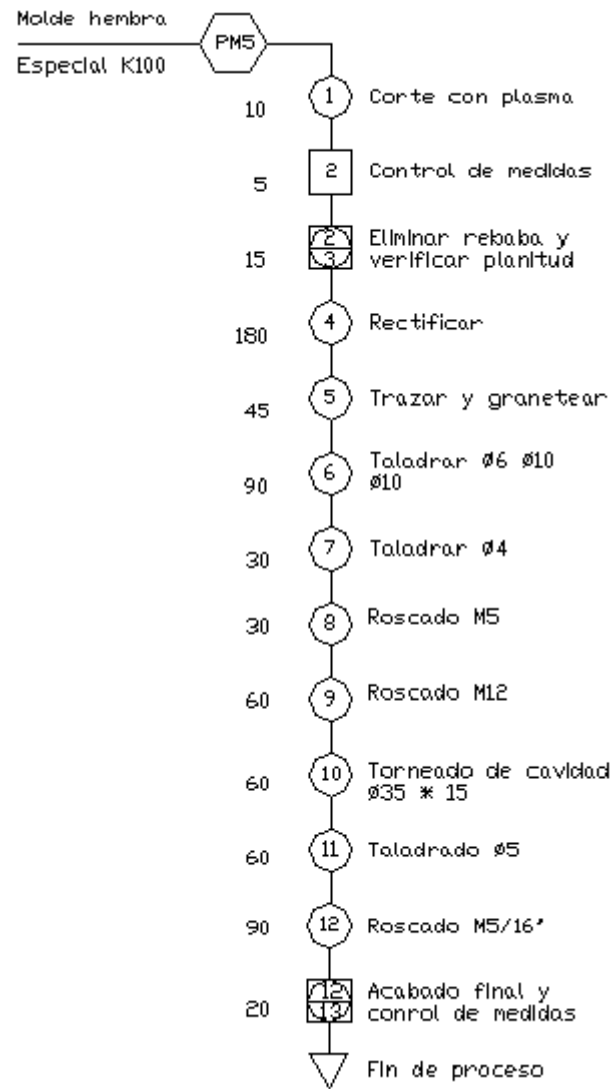
5.1.3 PLACA SOPORTE



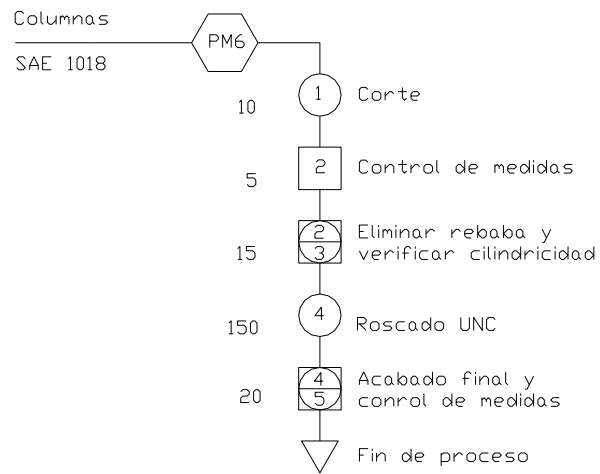
5.1.4 MOLDE MACHO



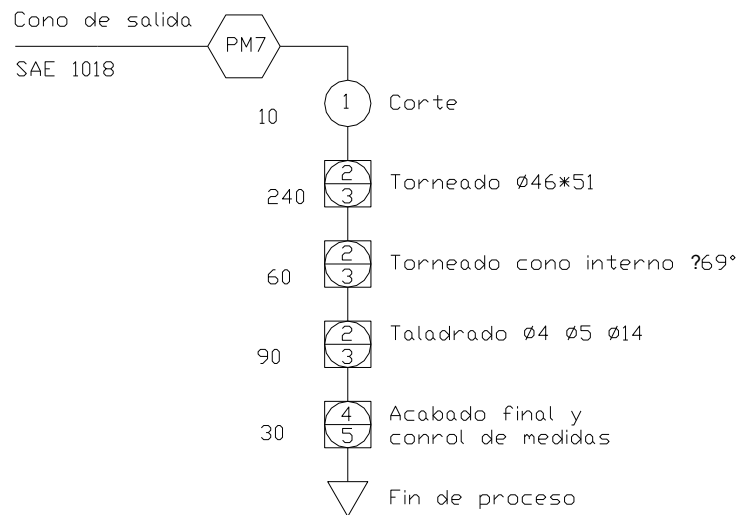
5.1.5 MOLDE HEMBRA



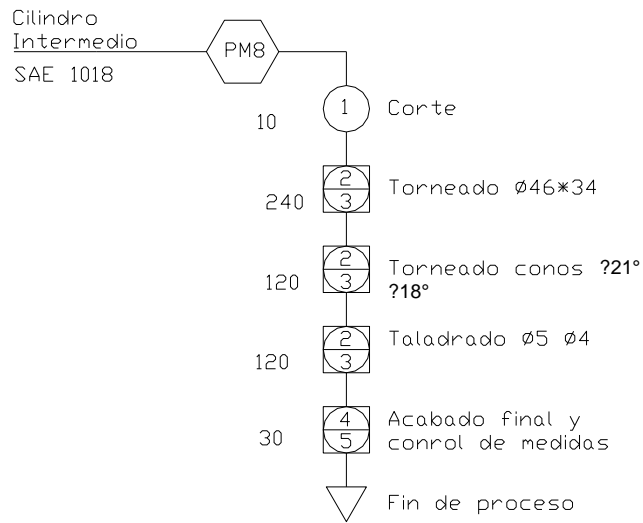
5.1.6 COLUMNAS



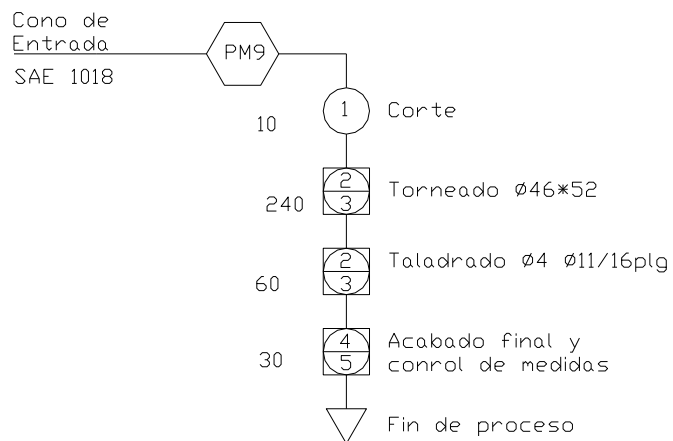
5.1.7 CONO DE SALIDA



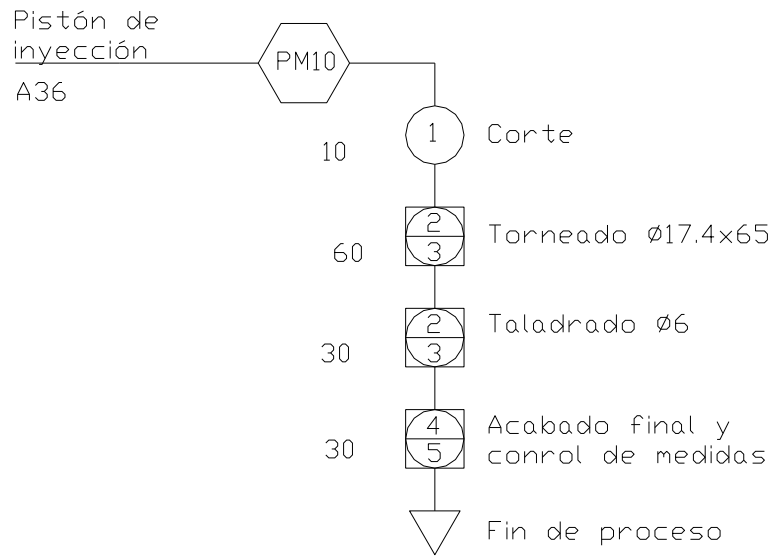
5.1.8 CILINDRO INTERMEDIO



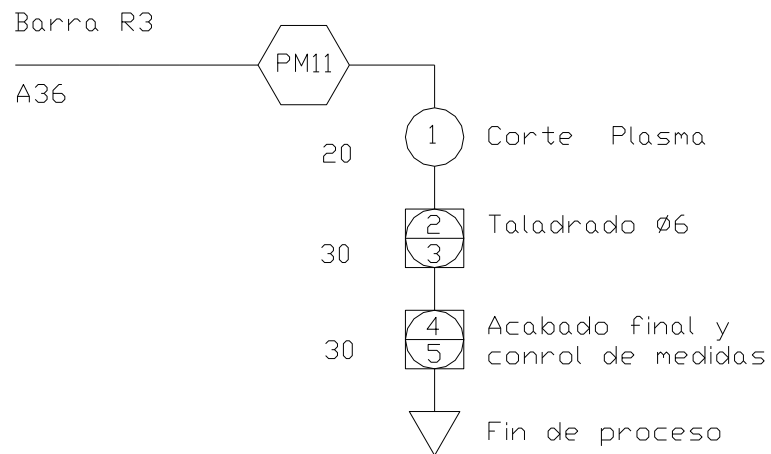
5.1.9 CONO DE ENTRADA



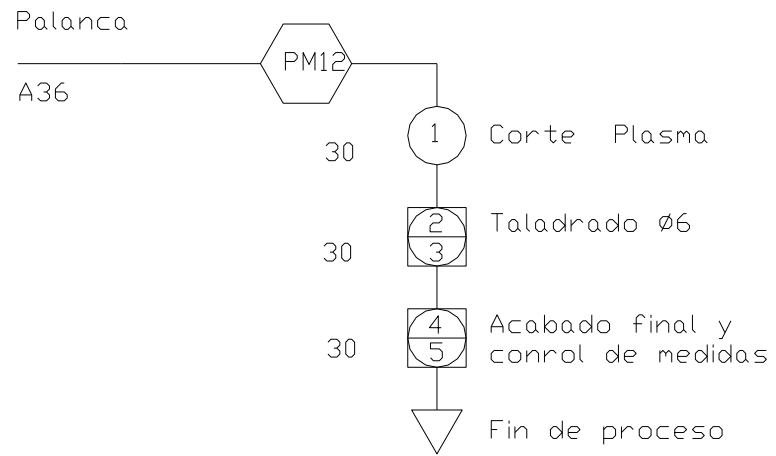
5.1.10 PISTÓN DE INYECCIÓN



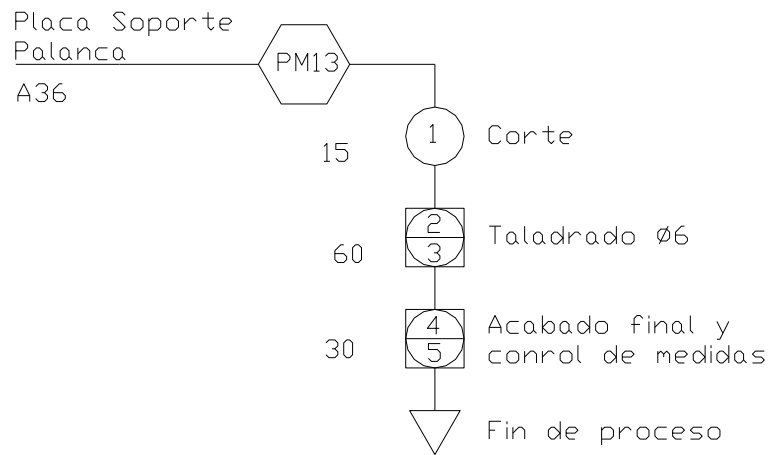
5.1.11 BARRA R3



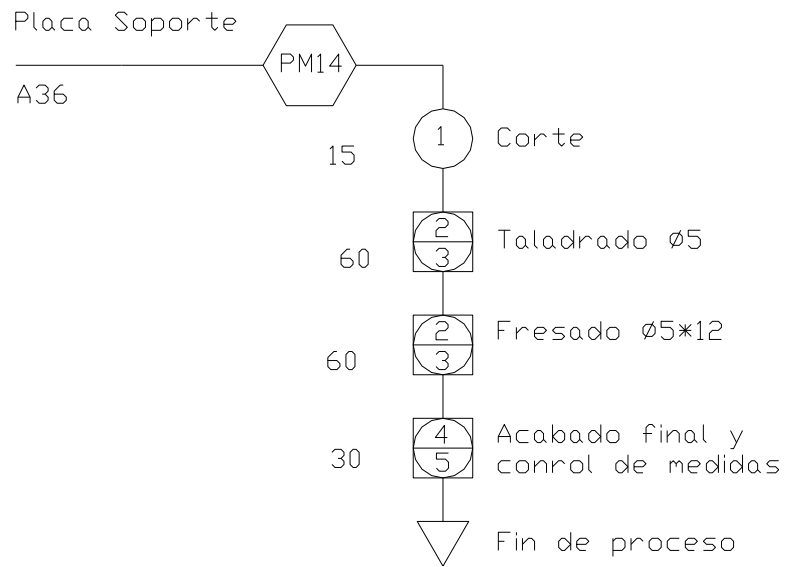
5.1.12 PALANCA



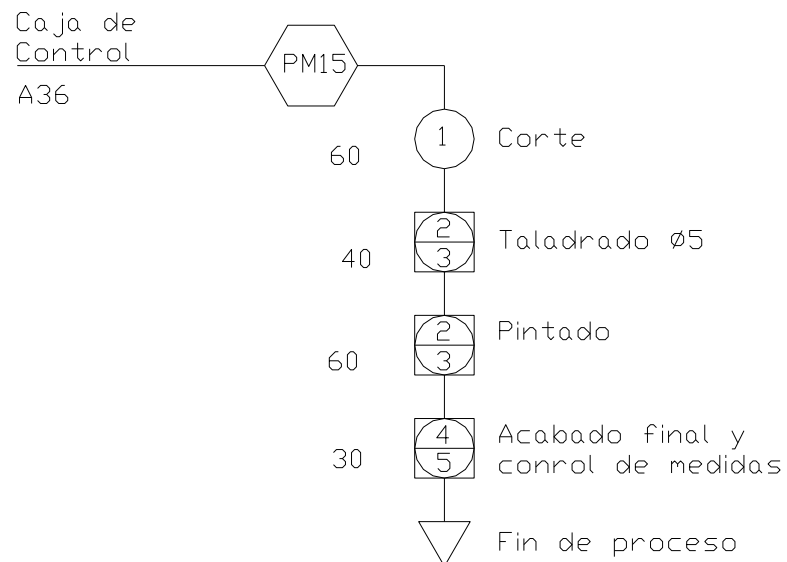
5.1.13 PLACAS SOPORTE PALANCA



5.1.14 PLACA SOPORTE



5.1.15 CAJA DE CONTROL



5.2 PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN

5.2.1 MATRIZ DE PROCESOS PARA EL SISTEMA DE CIERRE

No	Descripción	Cantidad	Proceso					
			Corte	Taladrado	Fresado	Rectificado	Torneado	Roscado
1	Placa Portante Fija	1	X (plasma)	X		X		X
2	Placa Portante Móvil	1	X (plasma)	X		X		X
3	Placa Soporte	1	X (plasma)	X		X		
4	Columnas	4	X					X
5	Bujes	4	X				X	
6	Molde Macho	1	X (plasma)	X		X	X	X
7	Molde Hembra	1	X (plasma)	X		X	X	X
8	Guías	4	X				X	
9	Macho Insertado	1	X			X	X	

5.2.2 MATRIZ TIEMPOS DE PROCESOS PARA EL SISTEMA DE CIERRE

No	Descripción	Cantidad	Proceso					
			Corte (mm)	Taladrado (h)	Fresado (h)	Rectificado (h)	Torneado (h)	Roscado (h)
1	Placa Portante Fija	1	720	4,0		3		3,0
2	Placa Portante Móvil	1	640	2,5		3		1,0
3	Placa Soporte	1	720	2,0		1		
4	Columnas	4	100,6					2,3
5	Bujes	4	68				3	
6	Molde Macho	1	400	3,0		3	2	1,0
7	Molde Hembra	1	400	4,0		3	4	3,0
8	Guías	4	48				2	
9	Macho Insertado	1				0,3	2	
Total			3096,6	15,5	0	13,3	13	10,3

5.2.3 COSTOS DE PROCESOS PARA EL SISTEMA DE CIERRE

Costos de los procesos	V. Unit.		Sub Total	
Costo por metro de corte con plasma =	4,25	USD	12,24	
Costo por metro de corte con sierra =	0,5	USD	0,4332	
Costo por hora de fresado=	3	USD	0	
Costo por hora de torneado=	5	USD	65	
Costo por hora de rectificad=	3,5	USD	46,55	
Costo por hora de taladrado=	3	USD	46,5	
	Total		170,72	USD

5.2.4 MATRIZ DE PROCESOS PARA EL SISTEMA DE INYECCIÓN

No	Descripción	Cantidad	Proceso				
			Corte	Taladrado	Fresado	Rectificado	Torneado
10	Placa Soporte	1	X (plasma)	X	X		
11	Placa Soporte Palanca	2	X	X			
12	Palanca 1	1	X (plasma)	X			
13	Mango Palanca 1	1	X	X			X
14	Barra R3	2	X (plasma)	X			
15	Pistón de inyección	1		X			X
16	Alimentación	1		X	X		X
17	Cilindro Plastificador 1	1		X			X
18	Cilindro Plastificador 2	1		X			X
19	Cilindro Plastificador 3	1		X			X

5.2.5 MATRIZ TIEMPOS DE PROCESOS PARA EL SISTEMA DE INYECCIÓN

No	Descripción	Cantidad	Proceso				
			Corte (mm)	Taladrado (h)	Fresado (h)	Rectificado (h)	Torneado (h)
10	Placa Soporte Palanca	2	200	1			
11	Placa Soporte	1	600	1	2		
12	Palanca 1	1	958	0,25			
13	Mango Palanca 1	1	69	0,25			1
14	Barra R3	2	430	0,25			
15	Pistón de inyección	1		0,5			1
16	Alimentación	1		2	1		4
17	Cilindro Plastificador 1	1		1,5			4
18	Cilindro Plastificador 2	1		2			4
19	Cilindro Plastificador 3	1		1			4
Total			2257	9,75	3	0	18

5.2.6 COSTOS DE PROCESOS PARA EL SISTEMA DE INYECCIÓN

Costos de los procesos

	V. Unit.		Sub Total	
Costo por metro de corte con plasma =	3	USD	6,654	
Costo por metro de corte con sierra =	0,5	USD	0,3345	
Costo por hora de fresado=	3	USD	9	
Costo por hora de torneado=	5	USD	90	
Costo por hora de rectificado=	2	USD	0	
Costo por hora de taladrado=	3	USD	29,25	
	Total		135,24	USD

5.2.7 COSTOS DE MATERIALES

No	Descripción	Cantidad	V. Unitario (USD)	Sub Total (USD)
1	Acero A 36 12 mm	6,74 Kg	1,00	6,74
2	Acero A 36 1/4"	4,00 Kg	1,00	4,00
3	Acero A 36 10 mm	2,81 Kg	1,00	2,81
4	Especial K 100 20 mm	1,56 Kg	1,50	2,34
5	Acero de Transmisión SAE 1018 1/2"	1,60 Kg	1,80	3,23
6	Bronce Fosfórico SAE 40 1/8" * 1/2"	0,50 Kg	3,00	1,50
7	Acero de Transmisión SAE 1018 3"	13,34 Kg	1,80	24,01
8	Perfiles U 50*25*3 mm	6,00 m	1,93	11,55
9	Cilindro hidráulico	1,00	7,00	7,00
10	Banda calefacora 700 W	2,00	16,25	32,50
11	Banda calefacora 250 W	1,00	11,25	11,25
12	Acople hidráulico Push 5/8" MP	4,00	1,60	6,40
13	Acople hidráulico Push 5/8" FJX	4,00	2,20	8,80
14	"T" 2FP	2,00	3,50	7,00
15	Misceláneos			40,00
16	Elementos eléctricos	1	170,00	170,00
			Total	339,13

5.2.8 COSTO TOTAL

No	Descripción	Sub Total
1	Sistema de cierre	170,72
2	Sistema de inyección	135,24
3	Materiales	339,13
Total		645,09

CAPITULO 6

PRUEBAS Y CALIBRACION

6.1 DESARROLLO DE PRUEBAS

Posterior a la etapa de de construcción se realizan pruebas del equipo para verificar que el diseño cumpla con los requerimientos planteados inicialmente.

6.1.1 PRUEBAS CONSTRUCTIVAS

Esta estaba busca comprobar que la construcción este acorde con el diseño y planos constructivos.

Dentro del proceso de producción, cada uno de los elementos fue comprobado en sus medidas y geometría para posteriormente proceder al ensamble. Al montar los elementos dentro de cada sistema se encontraron varias discrepancias, en especial de carácter geométrico. Luego de analizar las posibles causas se determinó que el uso de las máquinas y herramientas del Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Mecánica no fue la mejor opción de construcción debido a que se trata de equipo no calibrado.

Las discrepancias constructivas se corrigieron realizando ajustes a los elementos que lo requerían. La mayor suma de desviaciones se presenta en las guías del molde, las cuales luego de un análisis y comprobando que no afectan al proceso, se las omitió dentro del montaje.

Fue necesario implantar un sistema de refrigeración al diseño inicial del molde para lograr la solidificación de la pieza inyectada. Además se añadieron elementos rigidizadores al bastidor por presentarse pandeo en los perfiles de soporte.

Con las correcciones realizadas y las modificaciones implementadas se solventaron las discrepancias encontradas y el sistema funciona satisfactoriamente.

6.1.2 PRUEBAS OPERACIONALES

Las pruebas operacionales están orientadas a la comprobación del sistema de control y a la verificación de la plastificación dentro del cilindro.

Siguiendo los parámetros de diseño, se comprueba que con el cilindro vacío, la temperatura de las paredes del cilindro alcanzan la temperatura de trabajo dentro del tiempo establecido de cinco minutos.

Se procede a la alimentación con intervalos de veinte segundos hasta llenar cada una de las secciones previo a la primera inyección. En esta fase el material fundido fluye con facilidad y en ningún momento existe obstrucción ni fallas en el sistema de inyección que indiquen una posible obstrucción. Se observa además que el control de temperatura satisfactoriamente prende y apaga cada una de las bandas calefactores. Las temperaturas alcanzadas en la prueba se muestran en la tabla 6.1. Como el rango de temperatura de control en esta prueba sale del límite de diseño debido a que el sistema requiere estabilizarse, el umbral de temperatura se reprogramó entre 150 °C y 170°C con la finalidad de evitar la degradación del material por sobrecalentamiento.

Tabla 6.1 Valores de temperaturas de superficie en las secciones del cilindro.

Tiempo (min)	Temperatura de Termocuplas		
	1 (°C)	2 (°C)	3 (°C)
0	21	21	21
2	55	50	56
4	91	83	94
6	117	104	120
8	142	130	150
10	220	200	280
13	167	150	172

Al realizarse la primera inyección se observó que la cavidad del molde se llenaba, pero el material inyectado no se solidificaba. Posterior al análisis se determinó que la causa era la elevada temperatura del molde, ya que al contrario de las inyectoras industriales en que el cilindro plastificador retrocede luego de cada inyección, en este caso el cilindro constantemente transfiere calor al molde. Para solucionar esta deficiencia se incorporan canales de refrigeración al molde hembra y a través de los cuales se hace circular agua de 5 a 10 segundos luego de realizada la inyección.

Incorporada la modificación se realiza otra prueba, en este caso se parte con el cilindro a la temperatura ambiente y lleno debido a que hubo un proceso previo de inyección. En este caso se comprobó que en doce minutos el material dentro de cada sección del cilindro plastificador funde completamente y que la variación de la temperatura de control no afecta a este proceso. La refrigeración del molde comenzó a la par que el calentamiento de las secciones; al inyectarse material fundido dentro del molde, la solidificación en este caso resulta ser brusca y la pieza inyectada es frágil.

Una prueba subsiguiente se realiza precalentando el molde hasta los 40° C, temperatura a la que se inicia con la refrigeración para así conseguir una pieza inyectada que no sea frágil. La tabla 6.2 muestra las temperaturas de las secciones del cilindro plastificador en función del tiempo con la variación del rango de control.

Tabla 6.2 Valores de temperaturas de superficie en las secciones del cilindro con el nuevo rango de control.

Tiempo (min)	Temperatura de Termocuplas		
	1 (°C)	2 (°C)	3 (°C)
0	22	22	22
2	50	45	44
4	73	66	72
6	96	86	94
8	129	110	122
10	147	126	142
13	159	142	157

Por requerimiento del Director de Tesis, Ing. Víctor Andrade, se realizaron también pruebas utilizando pigmento y otras con material reciclado, las observaciones encontradas son las siguientes:

- La utilización de pigmentos produjo que se formen burbujas de aire in la pieza inyectada, además parte de este aire forzó a que el material fundido se regrese y salga a través de la alimentación una vez que el cilindro fue retirado. Posterior a un análisis se determinó que los pigmentos dotados por el Laboratorio no eran los correspondientes para el material utilizado.
- Los rangos de temperatura para el plástico reciclado no están dentro del los utilizados para el presente diseño, por lo que el exceso de calor fundió y posteriormente degradó al polímero dentro del cilindro plastificador.

El prototipo de inyectora de plástico cumple con los requerimientos de diseño y si otra materia prima va a ser utilizada, debe comprobarse primero que sus propiedades y en especial los rangos de temperatura para fundirla estén dentro del rango de trabajo que es de 150°C a 170°C, caso contrario el material se puede degradar o no llegue a fundir.

El desarrollo de las pruebas constructivas y operacionales fue la base para la calibración del equipo y de esta manera cumpla con los requisitos de diseño y opera satisfactoriamente.

CAPÍTULO 7

EVALUACIÓN ECONÓMICA

7.1 COSTOS DIRECTOS

7.1.1 COSTOS DE MATERIALES

No	Descripción	Cantidad	V. Unitario (USD)	Sub Total (USD)
1	Acero A 36 12 mm	6,74 Kg	1,00	6,74
2	Acero A 36 1/4"	4,00 Kg	1,00	4,00
3	Acero A 36 10 mm	2,81 Kg	1,00	2,81
4	Especial K 100 20 mm	1,56 Kg	1,50	2,34

5	Acero de Transmisión SAE 1018 1/2"	1,60 Kg	1,80	3,23
6	Bronce Fosfórico SAE 40 1/8" * 1/2"	0,50 Kg	3,00	1,50
7	Acero de Transmisión SAE 1018 3"	13,34 Kg	1,80	24,01
8	Perfiles U 50*25*3 mm	6,00 m	1,93	11,55
9	Cilindro hidráulico	1,00	7,00	7,00
10	Banda calefacora 700 W	2,00	16,25	32,50
11	Banda calefacora 250 W	1,00	11,25	11,25
12	Acople hidráulico Push 5/8" MP	4,00	1,60	6,40
13	Acople hidráulico Push 5/8" FJX	4,00	2,20	8,80
14	"T" 2FP	2,00	3,50	7,00
15	Accesorios varios (pernos, arandelas, etc)			40,00
16	Elementos eléctricos	1	273,00	273,00
			Total	442.13

7.1.2 COSTOS DE MAQUINADO

Costos de los procesos	V. Unit.		Sub Total
Costo metro de corte con plasma (e = 20mm) =	4.25	USD	12.24
Costo por metro de corte con plasma (e = 1/4 ") =	3	USD	6.654
Costo por metro de corte con sierra =	0.5	USD	0.7677
Costo por hora de fresado=	3	USD	9
Costo por hora de torneado=	5	USD	155
Costo por hora de rectificad=	2	USD	46.55
Costo por hora de taladrado=	3	USD	75.75
Total			305.96

7.1.3 HONORARIOS PROFESIONALES

Nombre	Horas - H	(USD)	(USD)
		Valor	Costo

3. Los resultados obtenidos en la simulación tanto en la parte de pérdidas de presión como en la de calentamiento del cilindro plastificador fueron comprobados al realizar las pruebas del equipo, debiéndose modificar únicamente el rango de temperatura de trabajo entre 170 °C y 190 °C a 150 °C y 170 °C en el control eléctrico para evitar la degradación del polímero.
4. Los altos factores de seguridad obtenidos en el diseño para los principales elementos de los sistemas garantizan la confiabilidad del equipo.
5. La funcionalidad del prototipo es del 90%, debido a la dosificación en la alimentación y a la mayor fuerza que el operador debe aplicar para accionar el mecanismo de inyección.
6. Se vio necesaria la implementación de un sistema de refrigeración en el molde para que la pieza solidifique y pueda ser desmontada luego del proceso de inyección.
7. El suprimir una de las columnas guías del molde no influye en su alineación al momento de cerrarlo, puesto que las tres columnas restantes cumplen su función.
8. Debido a la presencia de pandeo en el bastidor, se reforzó la estructura con elementos rigidizadores entre la placa portante fija y los perfiles de soporte, obteniéndose una mejor distribución de las cargas.
9. La utilización de pigmentos genera burbujas de aire dentro del fluido lo que no permite una correcta inyección. Para la utilización de estos se debe analizar sus propiedades y correcta dosificación.
10. El material reciclado se degradó al realizar las pruebas de inyección debido a que trabaja a un rango menor de temperatura. La utilización de materiales diferentes a los tomados como base para el diseño puede no dar el mismo resultado, por lo que se debe analizar primero sus propiedades para determinar si se adapta a los parámetros, especialmente de temperatura.

8.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la utilización del prototipo de inyectora de plástico en prácticas de laboratorio para la familiarización con los diferentes sistemas y la mejor comprensión del proceso de inyección
2. El desarrollo de proyectos de investigación deben ser eficientes en su diseño, es decir que, la utilización de recursos sea aprovechada de la mejor manera cumpliendo siempre con los objetivos planteados.
3. Controlar de forma permanente los valores de temperatura en cada una de las secciones para prevenir la degradación del material en caso de que alguno de los elementos del control no trabaje de forma adecuada.
4. La refrigeración del molde debe aplicarse posteriormente a la inyección solamente y durante 5 a 10 segundos para prevenir la formación de un tapón sólido a la salida de la boquilla.

5. Montar la estructura sobre una superficie plana y fijarla adecuadamente para prevenir desplazamientos y un posible pandeo de los perfiles de soporte.
6. Para la utilización de pigmentos se deben analizar primeramente sus propiedades y correcta dosificación para determinar su aplicabilidad, puesto que no fueron considerados como parámetros de diseño.
7. En caso de utilizar algún material diferente para los que fue diseñado el prototipo (poliestireno y polietileno de alta y baja densidad), analizar primero sus propiedades para determinar si se adapta a los parámetros, especialmente al rango temperatura de trabajo y la presión de inyección mínima necesaria. El rango de temperatura puede ser modificado reprogramando el PIC, pero la presión máxima de inyección que es de 60 bares no puede variar.

ANEXO 2

FULL REPORT Cono de Entrada (8 bares)

System Info

Product	COSMOSFloWorks 2005/ PE SP0.0. Build: 157
Computer Name	DELTACOM
User Name	Chris
Processors	Intel
Memory	502 MB / 2047 MB
Operating System	Windows XP
CAD Version	SolidWorks 2005 SP0
CPU Speed	586 (1969 MHz)

General Info

Model	D:\Cris\Tesis\Inyectora manual\Proyecto de Tesis\Tercer avance\Simulaciones\Parte 1\Part1.SLDPRT
Project Name	Default
Project Path	D:\Cris\Tesis\Inyectora manual\Proyecto de Tesis\Tercer avance\Simulaciones\Parte 1\1\1.fwp
Units system	NMM (mm-g-s)
Analysis type	Internal
Exclude cavities without flow conditions	On
Coordinate system	Global Coordinate System

Reference Axis

X

INPUT DATA

Initial Mesh Settings

Automatic Initial Mesh: On

Result resolution level: 3

Advanced narrow channel refinement: Off

Refinement in solid region: Off

Geometry resolution

Evaluation of minimum gap size: Automatic

Evaluation of minimum wall thickness: Automatic

Computational Domain

Size

X min	-7.452 mm
X max	44.652 mm
Y min	-23.046 mm
Y max	23.046 mm
Z min	-23.046 mm
Z max	23.046 mm

Boundary Conditions

2D plane flow	None
At X min	Default
At X max	Default
At Y min	Default
At Y max	Default
At Z min	Default
At Z max	Default

Physical Features

Heat transfer in solids: On

Heat transfer in solids only: Off

Radiation: Off

Time dependent: On

Gravitational effects: Off

Flow type: Laminar only

High Mach number flow: Off

Default roughness: 46 micrometer

Default outer wall condition

Wall temperature: 180 °C

Initial Conditions

Thermodynamic parameters

Static Pressure: 0.101325 MPa

Velocity parameters	Temperature: 20.05 °C
	Velocity vector
	X component of velocity: 0 mm/s
	Y component of velocity: 0 mm/s
	Z component of velocity: 0 mm/s
Solid parameters	Default material: Steel,stainless
	Initial solid temperature: 20.05 °C

Material settings

Fluid type: Liquid

Fluids

[Polietileno](#)

Solids

[Steel,stainless](#)

Boundary Conditions

Inlet Volume Flow1

Type

Faces

Coordinate system

Reference Axis

Flow parameters

Inlet Volume Flow

Face <2 >

Face based coordinate system

X

Flow vectors direction: Normal to face

Volume flow rate normal to face: 0 mm³/s

Fully developed tube flow: No

Inlet profile: 0

Temperature: 20.05 °C

Thermodynamic parameters

Static Pressure1

Type

Faces

Coordinate system

Reference Axis

Thermodynamic parameters

Static Pressure

Face <1 >

Face based coordinate system

X

Static Pressure: 0.8106 MPa

Temperature: 20.05 °C

Goals

Global goals

GG Average Total Pressure1

Type

Goal type

Calculate

Coordinate system

Use in convergence

Global Goal

Total Pressure

Average value

Global Coordinate System

On

GG Average Static Pressure1

Type

Global Goal

Goal type
Calculate
Coordinate system
Use in convergence

Static Pressure
Average value
Global Coordinate System
On

GG Average Dynamic Pressure1
Type
Goal type
Calculate
Coordinate system
Use in convergence

Global Goal
Dynamic Pressure
Average value
Global Coordinate System
On

GG Average Temperature of Fluid1
Type
Goal type
Calculate
Coordinate system
Use in convergence

Global Goal
Temperature of Fluid
Average value
Global Coordinate System
On

GG Average Temperature of Solid1
Type
Goal type
Calculate
Coordinate system
Use in convergence

Global Goal
Temperature of Solid
Average value
Global Coordinate System
On

Calculation control options

Finish Conditions

Finish Conditions
Maximum physical time

If one is satisfied
10 s

Solver Refinement

Refinement: Disabled

Results saving

Save before refinement
Periodic saving

On
Units: Physical time
Period: 1

Advanced control options

Flow Freezing
Flow Freezing Strategy

Disabled

Manual time step: Off

RESULTS

General Info

Iterations: 2111

Physical time: 10 s

Warnings: A vortex crosses the pressure opening
Static Pressure1 ; Inlet flow/outlet flow=0.999998

Boundary Condition :

Calculation Mesh

Basic Mesh Dimensions

Number of cells in X	12
Number of cells in Y	10
Number of cells in Z	10

Number of Cells

Total Cells	4560
Fluid Cells	736
Solid Cells	1736
Partial Cells	2088
Irregular Cells	0

Maximum refinement level: 1

Goals

Name	Unit	Value	Progress	Use in convergence	Delta	Criteria
GG Average Total Pressure1	MPa	0.810658	100	On	5.19663174e-006	0.0131538228
GG Average Static Pressure1	MPa	0.810658	100	On	5.19641952e-006	0.0131566968
GG Average Dynamic Pressure1	MPa	6.172e-011	100	On	5.10843281e-010	4.71182522e-006
GG Average Temperature of Fluid1	°C	20.0506	100	On	8.62506738e-007	0.000220116233

GG	°C	164.055	100	On	0.1981751	0.7409590
Average					76	35
Temperature of Solid1						

Min/Max Table

Name	Minimum	Maximum
Pressure [MPa]	0.808055	0.813352
Temperature [°C]	20.05	180
Density [kg/mm ³]	9.54e-007	9.54e-007
Velocity [mm/s]	0	11.5705
X-velocity [mm/s]	-4.51773	8.55311
Y-velocity [mm/s]	-9.48272	4.34792
Z-velocity [mm/s]	-11.1861	9.11928
Heat Transfer Coefficient [N/s/mm/°C]	1.97176e-012	3.25793e-006
Shear Stress [MPa]	8.56552e-009	0.00113051
Heat Flux [N*mm/(mm ² *s)]	8.99589e-007	477.687
Polietileno Mass Fraction []	1	1
Polietileno Volume Fraction []	1	1
Fluid Temperature [°C]	20.05	180
Solid Temperature [°C]	20.0835	180

Engineering Database

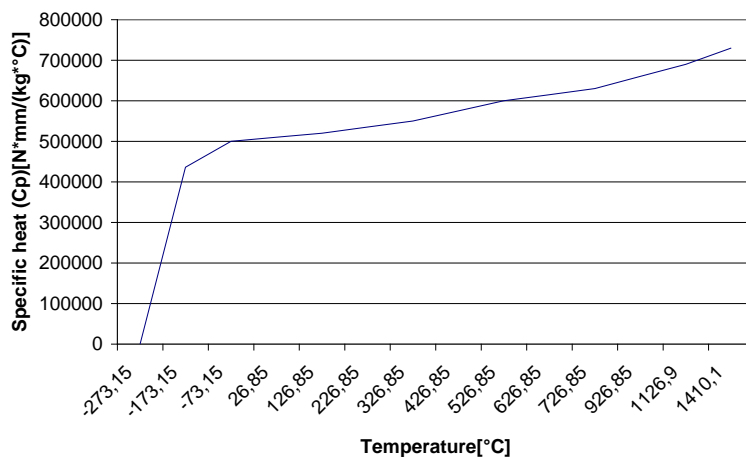
Solids

Steel, stainless

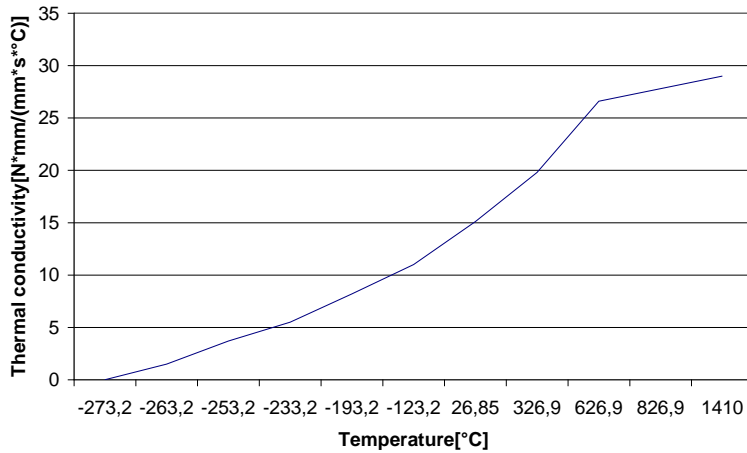
Path: Solid FW Defined

Density: 8.1e-006 kg/mm³

Specific heat (Cp)



Thermal conductivity



Melting temperature: 1410 °C

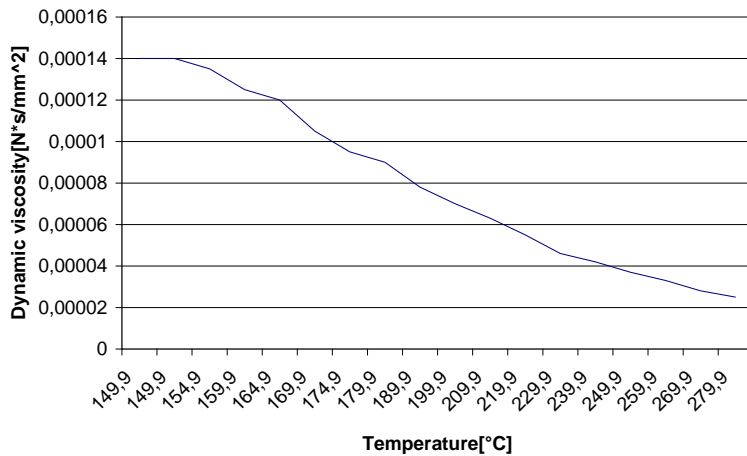
Liquids

Polietileno

Path: Liquid User Defined

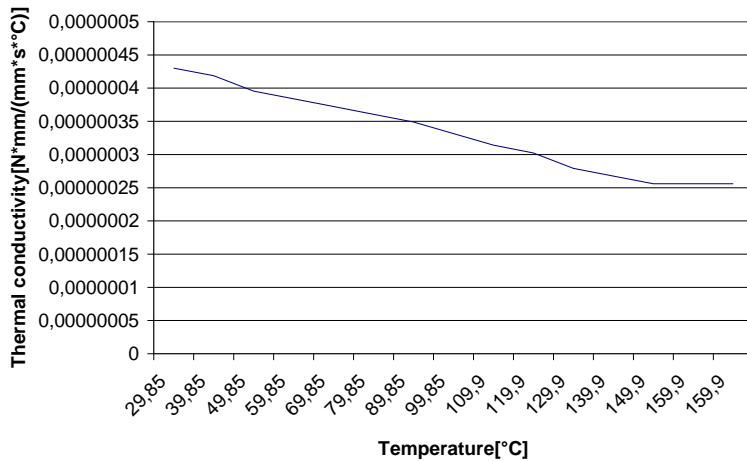
Density: 9.54e-007 kg/mm³

Dynamic viscosity



Specific heat (Cp): 2000000 N*mm/(kg*°C)

Thermal conductivity



ANEXO 3

PROGRAMA DE CONTROL DE TEMPERATURA

```
// COMANDO PARA DFEFINICION DE BITS
#define BITNUM(adr, bit) ((unsigned)(&adr)*8+(bit)) //-- used for port defs
#define XTAL_FREQ 4MHZ /* Crystal frequency in MHz */
#define men_ini "Cont. Temperat" // mensaje inicial
#define INPUT 1
#define CURSOR_OFF 1
#define CH0 0 // LM35
#define CH1 1 // TERMOPAR 1
#define CH2 2
#define CH3 3
#define A0 0.0488683 // termopar tipo J
#define A1 19873.145
#define OFFSET1 0.1 // offset circuito acondicionador
#define OFFSET2 0.25 // offset circuito acondicionador
#define OFFSET3 0.01 // offset circuito acondicionador
#define GAIN1 500.00 // ganancia amplificador instrumentacion
#define GAIN2 570.40
#define GAIN3 466.00

#include <pic.h>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <stdlib.h>
#include "delay.c"
#include "adc.h"
#include "adc.c"
#include "lcd.h"
static bit KEY1 @ BITNUM(PORTB, 6); //-- VELOCIDAD 1
static bit KEY2 @ BITNUM(PORTB, 7); //-- VELOCIDAD 2
static bit OUT1 @ BITNUM(PORTC, 4); //-- CONTROL 1
static bit OUT2 @ BITNUM(PORTC, 5); //-- CONTROL 2
static bit OUT3 @ BITNUM(PORTC, 6); //-- CONTROL 3
#define LCD_DATA PORTB //-- LCD Data Port (Low 4bits)
#define T_LCD_DATA TRISB //-- LCD Data Port (Low 4bits)
static bit T_LCD_RS @ BITNUM(TRISB, 4); //-- LCD RS Control
static bit T_LCD_EN @ BITNUM(TRISB, 5); //-- LCD E Control
static bit LCD_RS @ BITNUM(PORTB, 4); //-- LCD RS Control
static bit LCD_EN @ BITNUM(PORTB, 5); //-- LCD E Control
#include "lcd.c"

// funtion definition
void init_port (void);
float t_conv (float vfem);
float v_conv (float x1, float x2, float x3, float x4);
void lcd_show (double y1, char y2);
//variable definition
```

```

float te, temperatura,mv,tref,k1;
char d2,d1,d0;
int x;
float q;
//unsigned char channel;
void main(void)

{

    //DelayMs(50);
    init_port();
    InitialiseADC(CH0);          //inicializa conversor adc
    lcd_init();                 //-- Initialise the LCD
    lcd_clear();
    lcd_cursor(CURSORS_OFF);
    lcd_puts(men_ini);
    while (1)
    {

        if (KEY1=0)
            {

            }

        if (KEY2=0)
            {

            }

        tref=ReadADC(CH0);
        //tref=500;
        tref=(tref-256)/10;
        DelayMs(150);
        x=ReadADC(CH1);
        //x=500;
        mv=v_conv(x,tref,OFFSET1,GAIN1);
        temperatura=t_conv(mv);
        lcd_show(temperatura,0x40);
        if (temperatura>170)
            {
                OUT1=0;
            }
        if (temperatura<150)
            {
                OUT1=1;
            }

        x=ReadADC(CH2);
        mv=v_conv(x,tref,OFFSET2,GAIN2);
        temperatura=t_conv(mv);
        lcd_show(temperatura,0x45);
        if (temperatura>170)

```

```

        {
            OUT2=0;
        }
        if (temperatura<150)
        {
            OUT2=1;
        }

        x=ReadADC(CH3);
        mv=v_conv(x,tref,OFFSET3,GAIN3);
        temperatura=t_conv(mv);
        lcd_show(temperatura,0x4a);
        if (temperatura>170)
        {
            OUT3=0;
        }
        if (temperatura<150)
        {
            OUT3=1;
        }
    }
}
void lcd_show (double y1, char y2)
{
    double i_val;
//    float q1;
    y1 = modf( y1, &i_val);
    y1=i_val;
    y1=y1/100;
    y1= modf( y1, &i_val);
    d2=i_val;
    y1=  y1*10;
    y1= modf( y1, &i_val);
    d0=y1*10;
    d1=  i_val;
    lcd_goto(y2);
    putchar(d2+48);
    lcd_goto(y2+1);
    putchar(d1+48);
    lcd_goto(y2+2);
    putchar(d0+48);
}
void init_port (void)
{
    OPTION=0x07;           //pull ups enable preescaler timer 0 1:255
    TRISA=255;
    TRISB=0b11000000;
    TRISC=0;
    TRISD=0;
}

```

```

    PORTD=0;
    PORTC=0;
    PORTB=0;
}

float t_conv (float vfem)
{
    return te=A1*vfem-A0;
}

float v_conv (float x1, float x2,float x3, float x4)
{
    k1=(((x1*5/1023)-x3)/x4)+((x2+A0)/A1);
    return k1;
}

```

ANEXO B

MANUAL DE USUARIO

El presente manual busca explicar la correcta utilización del prototipo para lograr una inyección apropiada.

B.1 PROCESO DE INYECCIÓN

1. INYECCION CON EL CILINDRO VACÍO.

- a. Encender el circuito de control. Las bandas calefactores comenzarán a calentar al realizar esta acción.
- b. Verificar que el valor temperatura indicado en el LCD comience a elevarse para cada una de los cilindros. Esto indica que las termocuplas se encuentran colocadas correctamente entre las bridas y que esta enviando la señal de variación de voltaje al circuito de control.
- c. Tomar el tiempo que transcurre desde que se inicia el proceso y verificar que a los 5 minutos la temperatura de cada sección se encuentre dentro de el rango de control (150 °C – 170 °C).

- d. Dosificar paulatinamente 10 gr de materia prima dentro del embudo, si es necesario ayudarse del mecanismo de inyección para conseguir alimentar el material requerido.
- e. Realizar la inyección utilizando el mecanismo y mantener la presión durante 5 segundos para asegurar el llenado del cono de entrada.
- f. Contabilizar 20 segundos y repetir los pasos d. y e. para llenar los canales coaxiales.
- g. Posterior a otro periodo de 20 segundos que necesita el polímero para ganar calor en cada sección, repetir los pasos d. y e. con lo que se consigue llenar completamente el cilindro plastificador.
- h. Contabilizar otros 20 segundos y nuevamente repetir los pasos literales d. y e. Se observa que material fundido empieza a fluir a través de la boquilla, lo que indica que la fundición se ha realizado satisfactoriamente.
- i. Retirar el material que fue inyectado y cerrar el molde con ayuda del cilindro hidráulico. Contabilizar 20 segundos.
- j. Repetir los pasos d. y e. realizando una aplicación constante de la fuerza sobre la palanca para alcanzar una inyección apropiada.
- k. Aplicar refrigeración al molde de 5 a 10 segundos y luego suspenderla para prevenir la formación de un tapón sólido en la salida de la boquilla, lo que dificulta la extracción de la pieza inyectada del molde.
- l. Retroceder el mecanismo de inyección, liberar el seguro del cilindro hidráulico y abrir el molde.
- m. Con cuidado retirar la pieza inyectada.

El proceso puede ser realizado en serie a partir del literal i. debido a que el cilindro se halla a la temperatura de trabajo y a que todas las secciones del cilindro están ahora con material.

2. INYECCION CON EL CILINDRO LLENO A TEMPERATURA AMBIENTE.

- a. Encender el circuito de control. Las bandas calefactores comenzarán a calentar al realizar esta acción.

- b. Verificar que el valor temperatura indicado en el LCD comience a elevarse para cada una de los cilindros. Esto indica que las termocuplas se encuentran colocadas correctamente entre las bridas y que esta enviando la señal de variación de voltaje al circuito de control.
- c. Tomar el tiempo que transcurre desde que se inicia el proceso y verificar que a los 12 minutos la temperatura de cada sección se encuentre dentro de el rango de control (150 °C – 170 °C).
- d. Dosificar paulatinamente 10 gr de materia prima dentro del embudo, si es necesario ayudarse del mecanismo de inyección para conseguir alimentar el material requerido.
- e. Se observa que material fundido empieza a fluir a través de la boquilla, lo que indica que la fundición se ha realizado satisfactoria mente. Las características de la materia prima puede influir en este proceso y la fundición podría requerir uno o dos minutos más. No se debe forzar el mecanismo para expulsar el tapón sólido, esto podría ocasionar fugas por exceso de presión interna dentro del cilindro.
- f. Retirar el material que fue inyectado y cerrar el molde con ayuda del cilindro hidráulico. Contabilizar 20 segundos.
- g. Repetir el paso d. e inyectar realizando una aplicación constante de la fuerza sobre la palanca para alcanzar una inyección apropiada.
- h. Aplicar refrigeración al molde de 5 a 10 segundos y luego suspenderla para prevenir la formación de un tapón sólido en la salida de la boquilla, lo que dificulta la extracción de la pieza inyectada del molde.
- i. Retroceder el mecanismo de inyección, liberar el seguro del cilindro hidráulico y abrir el molde.
- j. Con cuidado retirar la pieza inyectada.

El proceso puede ser realizado en serie con intervalos de 20 segundos entre cada inyección para permitir que el material alcance la temperatura requerida en cada sección.

Nota:

- Se recomienda que la operación de la máquina se realice con tres personas mínimo.

Una persona para verificar la temperatura de las termocuplas en el LCD y accione el cilindro hidráulico para el sistema de cierre cuando se lo requiera.

Una persona para realizar la alimentación de material y la limpieza de la boquilla en el molde cuando se haya llegado a la temperatura óptima de trabajo.

Una persona que realice el accionamiento del pistón de inyección por medio de la palanca, para ayudar a la alimentación y luego para realizar la inyección.

- En el caso de que al momento de encender el equipo se observe en el LCD temperaturas fijas y mayores a 250 °C, se recomienda resetear el sistema con el pulsador de Reset que se encuentra junto al botón On/Off. El Reset corta la alimentación de + 5 voltios a la placa de control de temperatura, y hace que se reinicien los valores.
- Se recomienda que durante la operación o la práctica con la máquina, el vidrio permanezca levantado, debido a que se debe realizar alimentación casi constantemente, y se lo deberá bajar al terminar la práctica, con el fin de evitar que accidentalmente alguna persona tope las resistencias que todavía se encuentran calientes causando accidentes innecesario.
- Si se desea cambiar el tipo de polímero, se recomienda desarmar el cilindro plastificador y limpiar los conos, con el fin de que el plástico que queda como residuo del anterior material no afecte al proceso del nuevo material; en el caso de que se desee trabajar con mayores temperaturas especialmente, debido a que el anterior material se va a hacer líquido y se va a escurrir entre las bridas.
- Tomar en cuenta que el plástico debe llegar a una temperatura de reblandecimiento, temperatura en la cual el polímero puede ser empujado uniformemente, deja de ser sólido, pero no llega a ser líquido completamente.
- Se puede trabajar en rangos de temperatura para el polímero entre 150 y 280 °C. No se recomienda trabajar con polímeros cuya temperatura

esté por debajo de los 150°C debido a la alta potencia de las resistencias, y tampoco con polímeros cuya temperatura de trabajo esté por encima de los 300°C debido a que las resistencias pueden elevar la temperatura al cilindro hasta 230°C.

- Se recomienda trabajar adecuadamente con la refrigeración, debido a que si el agua circula constantemente por el molde, se forma un tapón sólido en la boquilla, haciendo imposible la inyección y causando fugas en el cilindro debido a la excesiva presión. Si se ha formado este tapón por exceso de refrigeración, se recomienda primero cerrar la llave de paso de agua, y esperar a que el material en la boquilla se funda completamente con el fin de poder realizar la inyección correctamente.

B.2 DATOS ADICIONALES.

1. Termocuplas: (Tienen polaridad)

Tipo J.

Rango de trabajo: -180 a 700 °C

Material: Cobre – Níquel

Hierro – Constantán (Cu + 43% Ni , porcentaje en peso)

Voltaje de salida máximo: 42.2 mV.

Lugar de compra:

Retena S.A.

Dirección: Av. La Prensa N47-296

Teléfonos: 593-2-2240-668

2. Resistencias.

Niquelinas cubiertas con tubo de acero de 1/8".

Voltaje de alimentación: 110 V.

Temperatura de trabajo máxima: 900 °C.

Lugar de compra:

Resistencias Omega.

Dirección: De los Aceitunos lote 15 y Av. Eloy Alfaro (Sector Cristiania).

Teléfonos: (593-2) 2807 – 625, 2807 – 499.

E-mail: resistvega@hotmail.com

R2: 250w (ubicada en el medio)

R1 y R3: 700w cada una (ubicadas en los extremos)

3. Fuente de alimentación

Fuente de computador ATX, o AT, de 300, 350, 400 o 450 w.

Lugar de compra:

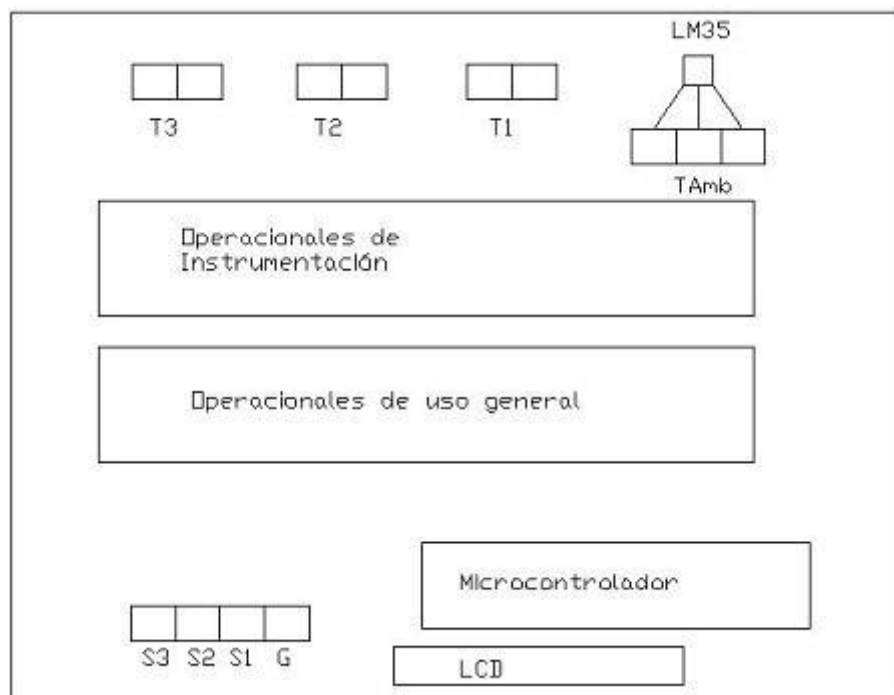
Compu Capacitación.

Dirección: Veintimilla 680 y Av. 6 de Diciembre.

Telefax: 2 - 507 - 226

(se especifica el lugar debido a que fuentes compradas en otro lugar generan interferencia en la señal del circuito, haciendo que este funcione incorrectamente)

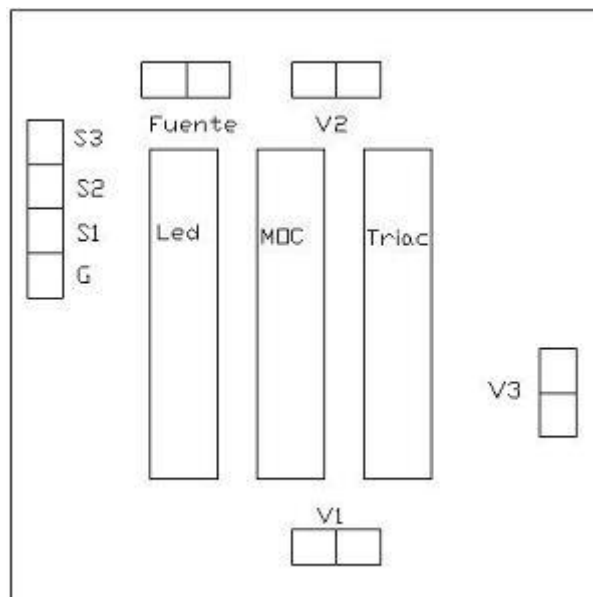
4. Circuito de control:



- Sensor de temperatura: LM35
Sensor de temperatura ambiente. Utilizado para la corrección de cero.
Lugar de compra: Cualquier electrónica.
- Operacionales de instrumentación: CTG 925 o NTE 925.
Son operacionales para acondicionamiento de termocuplas.
Lugar de compra:
Radiocom.
Dirección: Av. Colón

- Operacionales de uso general.
Operacionales LM358, LM317.
Lugar de compra: Cualquier electrónica.
- Microcontrolador:
PIC16F877.
Fabricante: Microchip.
Lugar de compra: Cualquier electrónica.
Nota: En caso de que se reemplace el PIC, antes de ser colocado en la placa, debe ser grabado. La grabación puede ser realizada en los laboratorios de electrónica de la ESPE.
- LCD:
LCD de 8 bits.
Lugar de compra: Cualquier electrónica.

5. Circuito de potencia:



- MOC3021.
Opto acoplador óptico.
El opto acoplador separa la intensidad de corriente del circuito de potencia con el circuito de control, para evitar sobre corrientes y que el control se queme.
Lugar de compra: Cualquier electrónica.
- Led: Led común que funciona desde 3 V en corriente continua.

- Triac BT136:

Dispositivo usado para control de voltaje y ciclos térmicos altos.

Elemento de aplicación industrial común.

Intensidad de corriente: 10 Amp.

Lugar de compra: Cualquier electrónica.