



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**TEMA: “Selección del proceso de fabricación en serie y elaboración de una autoparte mediante el uso de polímeros reciclados”.**

**AUTORES:**

- FRIAS MERO, CARLOS ALBERTO
- GARZÓN VILLEGAS, JAVIER ANDRES

**DIRECTOR:**

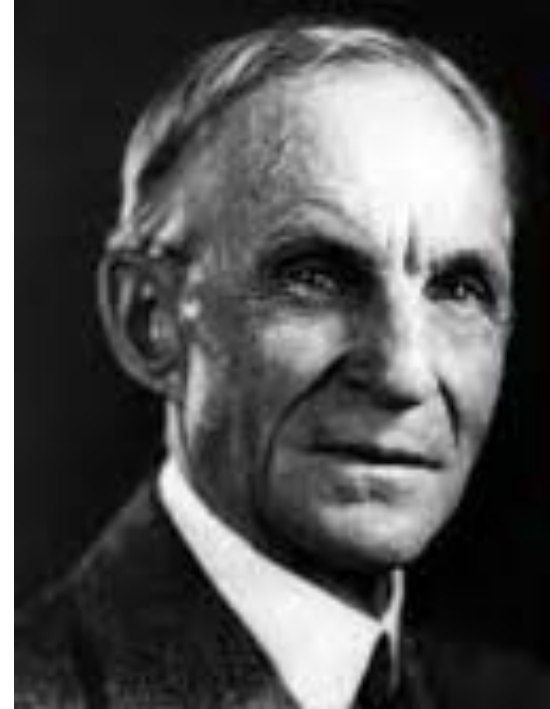
- ING. SOLIS SANTAMARIA, SANTIAGO ISAAC



# *Frase célebre*

No busques fallos, encuentra un remedio; cualquiera puede quejarse.

-Henry Ford



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Tabla de contenido

1. Planteamiento del problema
2. Objetivos
  - 2.1 Objetivo General
  - 2.2 Objetivo Específico
3. Hipótesis
4. Marco Teórico
5. Diseño y Fabricación de la matriz
6. Análisis de resultados
7. Conclusiones
8. Recomendaciones



# Planteamiento del Problema

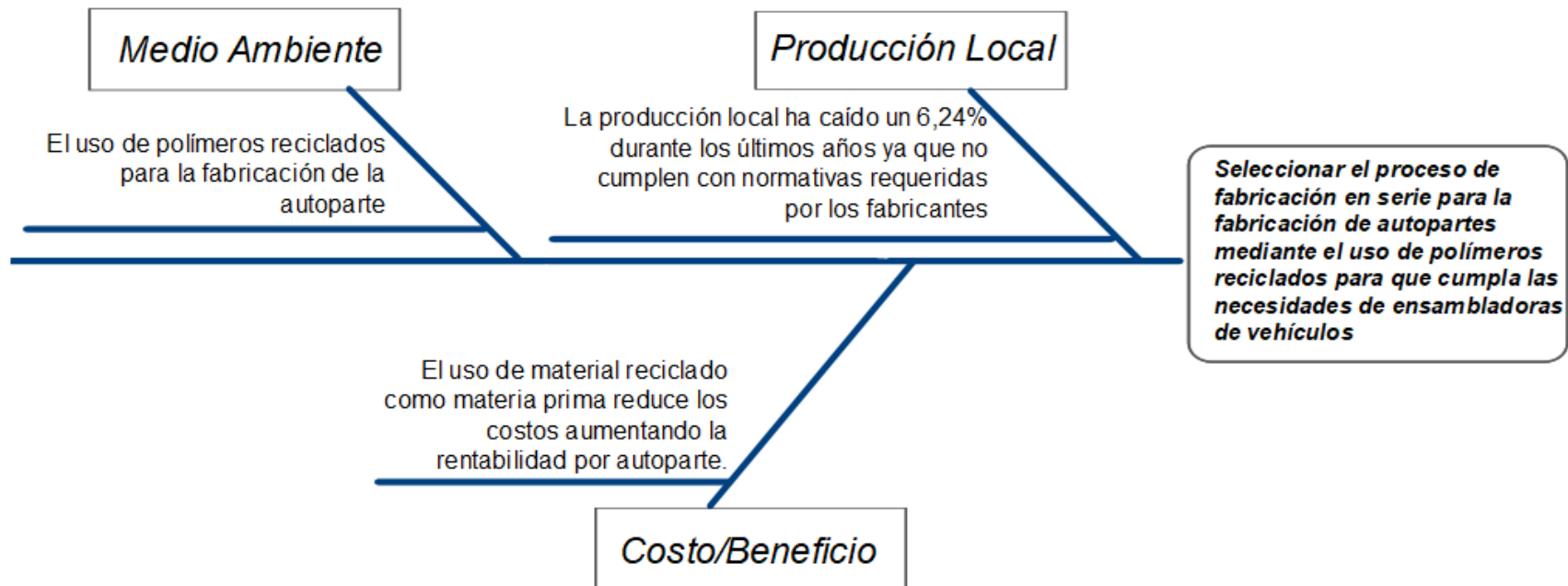


Fig. 1: Planteamiento del problema (diagrama espina de pescado)



# Objetivos

## Objetivo General

Seleccionar del proceso de fabricación en serie para la elaboración de una autoparte mediante el uso de polímeros reciclados.



# Objetivos Específicos

Realizar un análisis cualitativo por puntos para seleccionar el método de fabricación de la autoparte y seleccionar el polímero reciclado a ocupar.

Realizar un estudio de mercado de las empresas que distribuyen polímeros reciclados en el mercado ecuatoriano.

Ejecutar un análisis cualitativo por puntos el cual permita seleccionar el material más adecuado para la elaboración de la matriz para inyección por moldeo.

Diseñar y construir la matriz para inyección por moldeo, identificar los parámetros para la inyección de la autoparte y simular la inyección mediante software.

Fabricar la autoparte mediante el método de moldeo por inyección y el uso de polímeros reciclados.

Analizar los valores obtenidos en las simulaciones de llenado con los datos reales obtenidos del proceso de inyección.

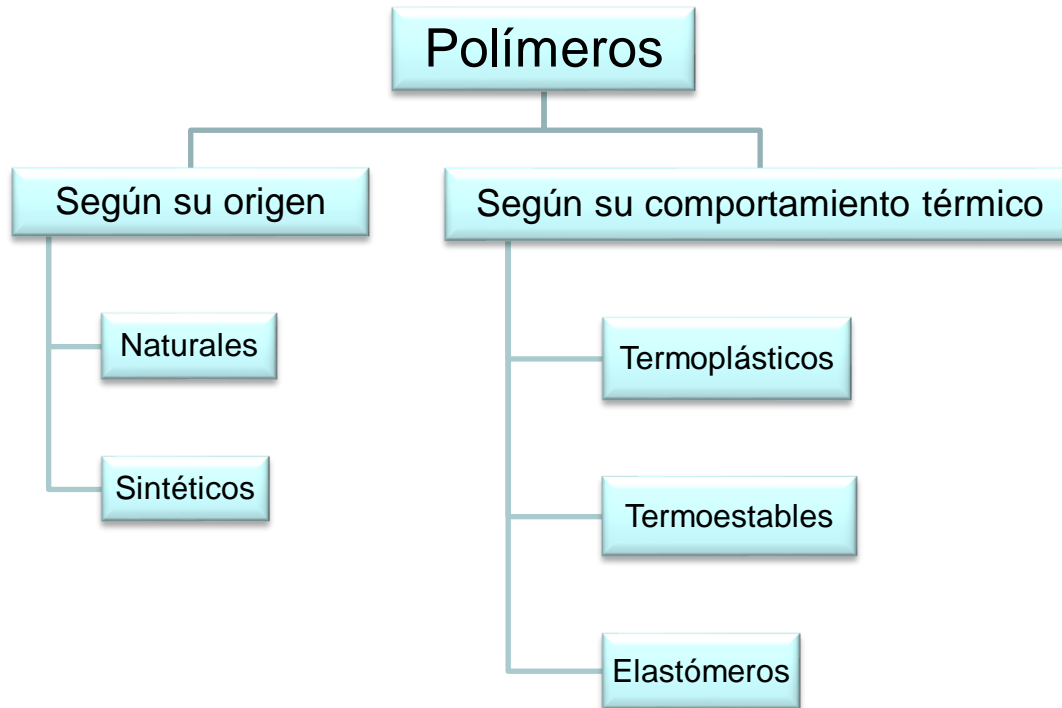


# Hipótesis

¿La selección del proceso de fabricación que cumpla con los requerimientos necesarios permitirá la elaboración en serie de una autoparte mediante el uso de polímeros reciclados como materia prima?



# Marco Teórico





# Polipropileno

## Características

- Gran equilibrio entre su resistencia térmica y química
- Buenas propiedades mecánicas
- Facilidad para su procesamiento
- Bajo costo
- Excelentes propiedades dieléctricas

## Usos

- Juguetes
- Fundas
- Autopartes
- Recipientes para alimentos

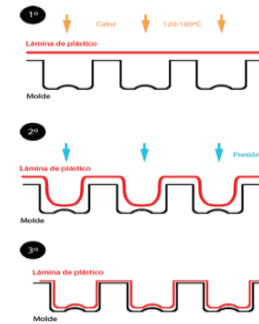
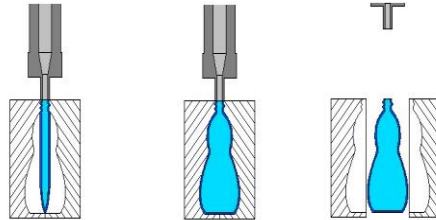
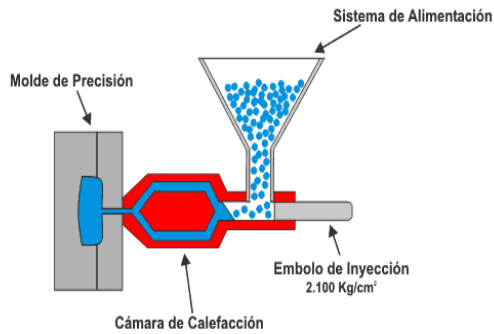


# Procesos de fabricación

## Moldeo por inyección

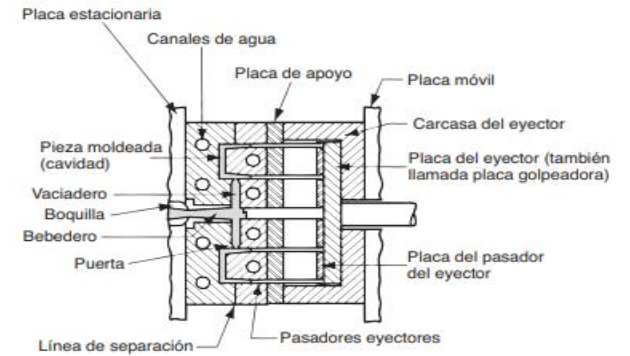
## Moldeo por soplado

## Moldeo por termoformado

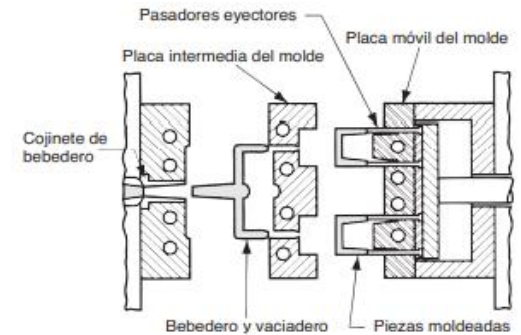


# Tipos de moldes para inyección

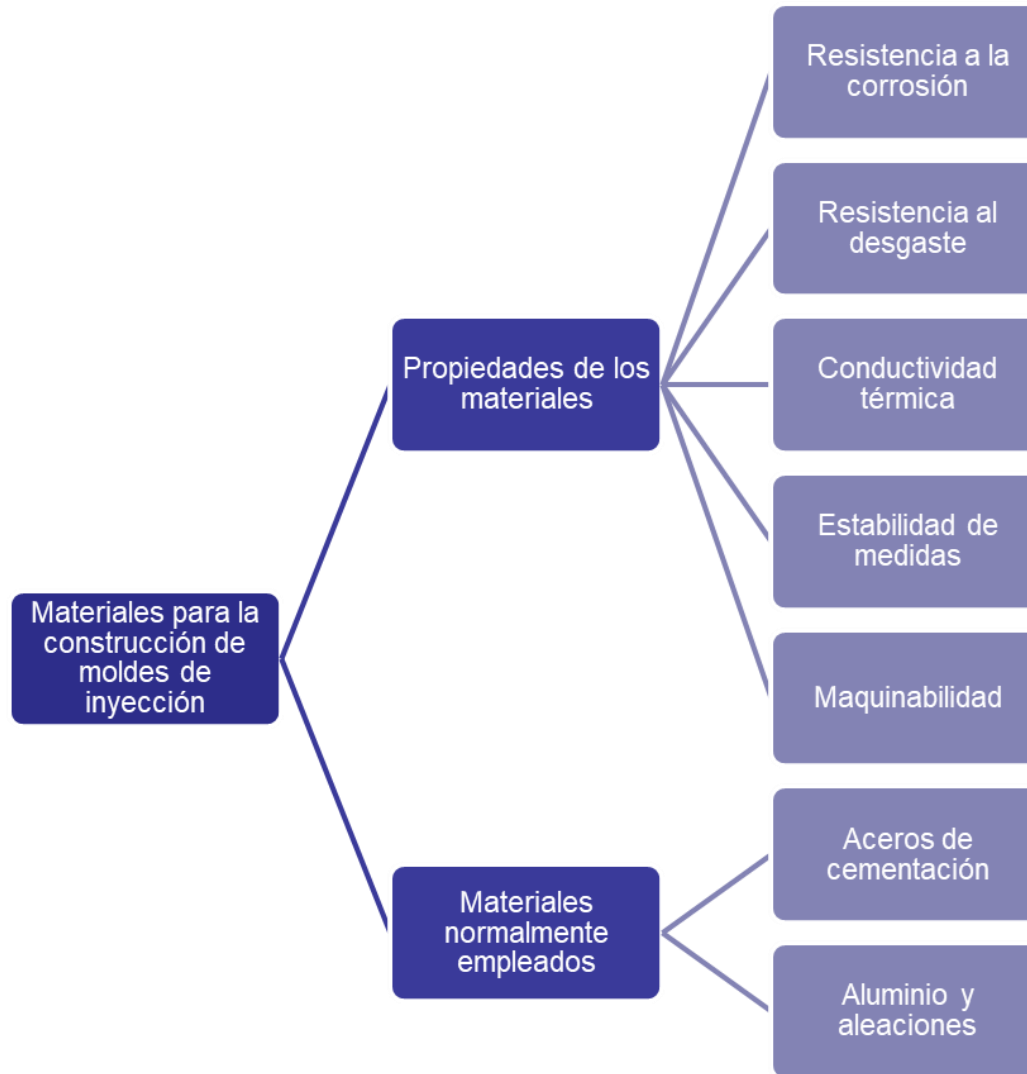
Molde de dos placas



Molde de tres placas

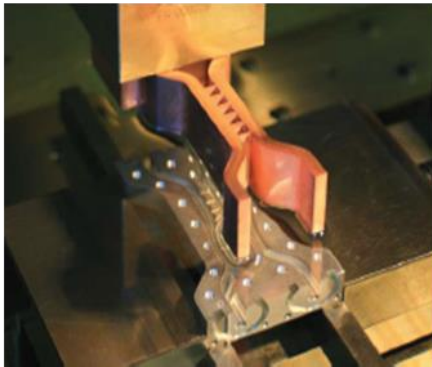


# ***Materiales para la construcción de moldes de inyección***

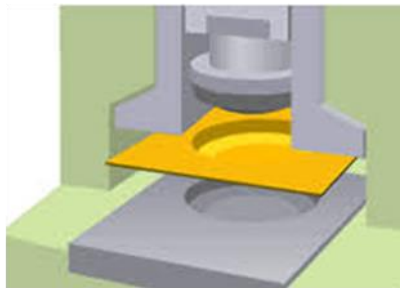


# PROCESOS DE FABRICACIÓN DE MOLDES DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS

ELECTROEROSIÓN



ESTAMPADO



MECANIZADO CON ARRANQUE DE VIRUTA



**Tabla 1.** *Parámetros necesarios para el mecanizado*

<u>Parámetro</u>	<u>Definición</u>	<u>Obtención</u>	<u>Unidades</u>
n	Velocidad del husillo		rpm
D	Diámetro de corte	Depende de la herramienta a usarse	mm
Vc	Velocidad de corte		m/min
fz	Avance por diente		mm
Vf	Velocidad de avance		mm/min
Z	Número de dientes	Según la herramienta	
ap	Profundidad de corte	Dado por fabricante	mm
ae	Ancho de corte	Viene dado en función del diámetro de la herramienta	mm

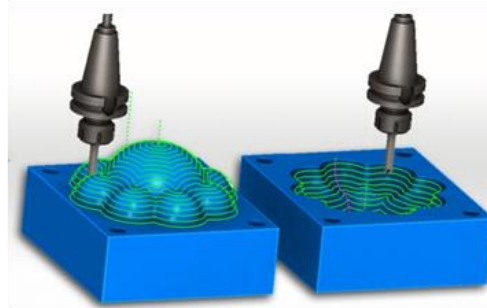


# SISTEMAS CAD CAM CAE

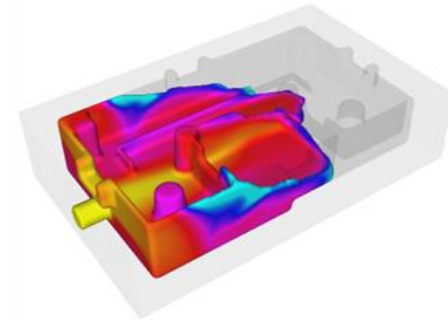
CAD: Diseño  
Asistido por  
Computador



CAM:  
Fabricación  
Asistida por  
Computadora



CAE: Ingeniería  
Asistida por  
Computadora



# ***DISEÑO Y MANUFACTURA DEL MOLDE DE INYECCIÓN***



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



## Selección del método de fabricación de la autoparte

**Tabla 2.**

Análisis Cualitativo por puntos para la selección del proceso de fabricación

Factores	%	Moldeo por inyección		Termoformado	
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Aplicación	40	10	4	6	2.4
Calidad	30	9	2.7	8	2.4
Costo de mano de obra	20	9	1.8	8	1.6
Accesibilidad	10	8	0.8	7	0.7
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>9</b>	<b>9.3</b>	<b>7.25</b>	<b>7.1</b>



**Tabla 3.**

Análisis Cualitativo por puntos

Factores	%	Novared		Nutec	
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Precio	50	7	3.5	10	5
Ubicación	20	7	1.4	9	1.8
Características					
Técnicas	20	8	1.6	9	1.8
Accesibilidad	10	8	0.8	8	0.8
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>7.5</b>	<b>7.3</b>	<b>9</b>	<b>9.4</b>



## Selección del material a inyectar

**Tabla 4.**

Análisis cualitativo por puntos para la selección del material a inyectar

Factores	%	Polipropileno		Polietileno	
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Precio	50	9	4.5	7	3.5
Características técnicas	25	9	2.25	9	2.25
Aplicación Automotriz	15	8	1.2	6	0.9
Accesibilidad	10	8	0.8	8	0.8
Total	100	8.5	8.75	7.5	7.45



# Selección del material para la fabricación del molde

Tabla 5

*Datos del Acero P20*

<b>Factores</b>	<b>Acero P20</b>
Precio	\$10 /kg
Conductividad térmica	25 W/m*K
Densidad	7861 kg/m <sup>3</sup>
Dureza	250 HB
Maquinabilidad	80%
Accesibilidad	Media

Tabla 6

*Datos de la Aleación de aluminio*

<b>Factores</b>	<b>Aleación de aluminio</b>
Precio	\$5,5 /kg
Conductividad térmica	205 W/m*K
Densidad	27000 kg/m <sup>3</sup>
Dureza	250 HB
Maquinabilidad	>80%
Accesibilidad	Media



## Selección del material para la fabricación del molde

Tabla 7.

*Análisis cualitativo por puntos para la selección del material para la fabricación del molde*

Factores	%	Acero P20		Aleación de aluminio	
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Precio	40	5	2	10	4
Conductividad térmica	10	2.5	0,25	10	1
Densidad	10	4	0,4	8	0,8
Dureza	10	10	0,1	3	0,3
Maquinabilidad	20	7	1,4	9	1,8
Accesibilidad	10	6	0,6	10	0,1
Total	100	-----	4,75	-----	8



## Características para la inyección de polipropileno

**Tabla 8.**

Valores de temperaturas para el polipropileno

Material	Temperatura de inyección (°C)	Temperatura del molde (°C)
Polipropileno	180 – 280	0 – 80

Contracción del  
polipropileno

**Tabla 9.**

Valores de contracción para el polipropileno

Polímero	Contracción en %
Polipropileno	1.2 – 2

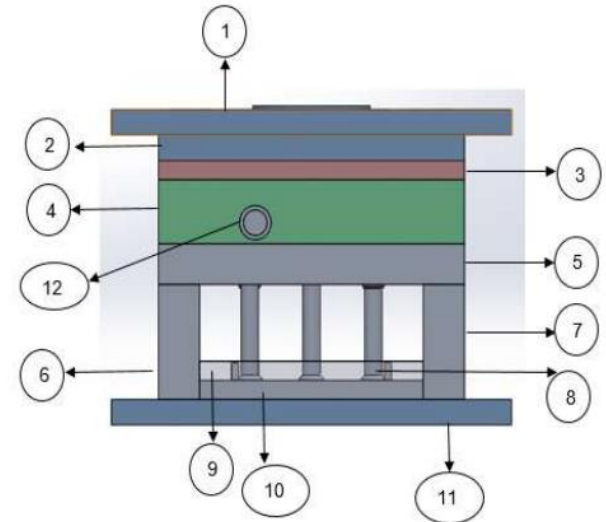


## Partes del molde

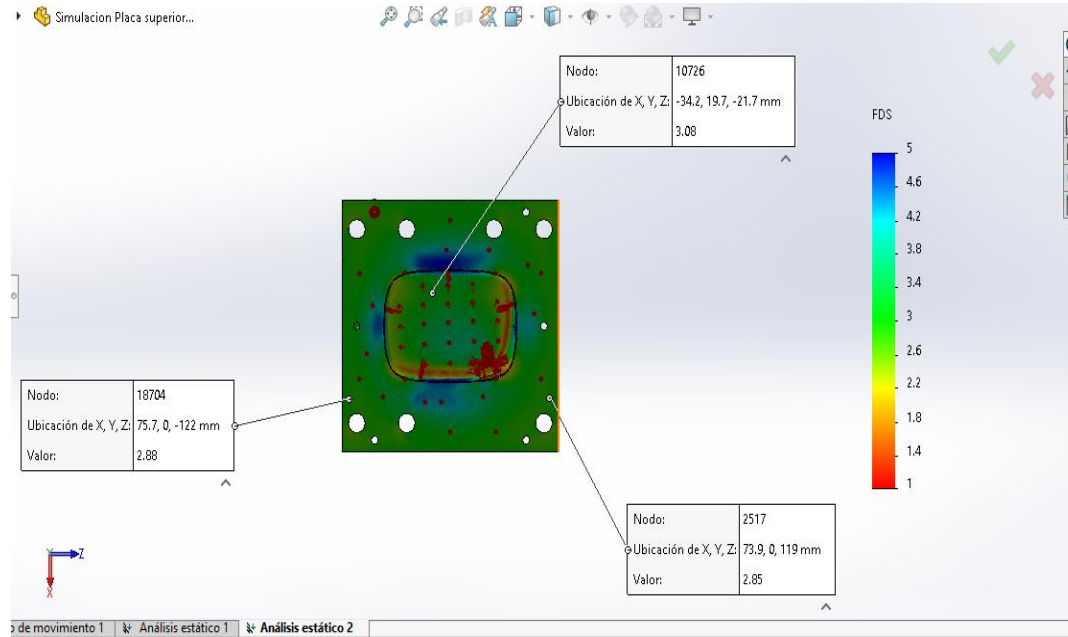
Tabla 10.

Partes del molde de inyección

N°	Nombre	Material
1	Placa de sujeción fija	Aleación de aluminio
2	Placa de canal de inyección 1	Aleación de aluminio
3	Placa de canal de inyección 2	Aleación de aluminio
4	Placa de la cavidad	Aleación de aluminio
5	Placa del núcleo	Aleación de aluminio
6	Paralela	Aleación de aluminio
7	Paralela	Aleación de aluminio
8	Expulsores	Aleación de aluminio
9	Placa expulsores superior	Aleación de aluminio
10	Placa expulsores inferior	Aleación de aluminio
11	Placa de sujeción móvil	Aleación de aluminio
12	Inserto	Aleación de aluminio



## Cálculo del espesor de la placa de la cavidad



**Tabla 11.**  
Valores del factor de seguridad

Puntos	Factor de seguridad
1	3.08
2	2.88
3	2.85
<b>Promedio</b>	<b>2.94</b>





## Cálculo del espesor de la placa de la cavidad

Cálculo del espesor de pared

$$F_c = \frac{P (A_p * N + A_r)}{1000}$$

$$F_c = \frac{80 \text{ kg/cm}^2 (241.65 \text{ cm}^2 * 1 + 0)}{1000}$$

$$F_c = 19.33 \text{ Ton} = 19330 \text{ Kgf}$$

$$P_i = \frac{F_i}{A_L}$$

$$P_i = \frac{17397 \text{ Kgf}}{110.16 \text{ cm}^2}$$

$$P_i = 157.9 \text{ kgf/cm}^2$$

$$t = \frac{P_i * R_c}{\sigma_L}$$

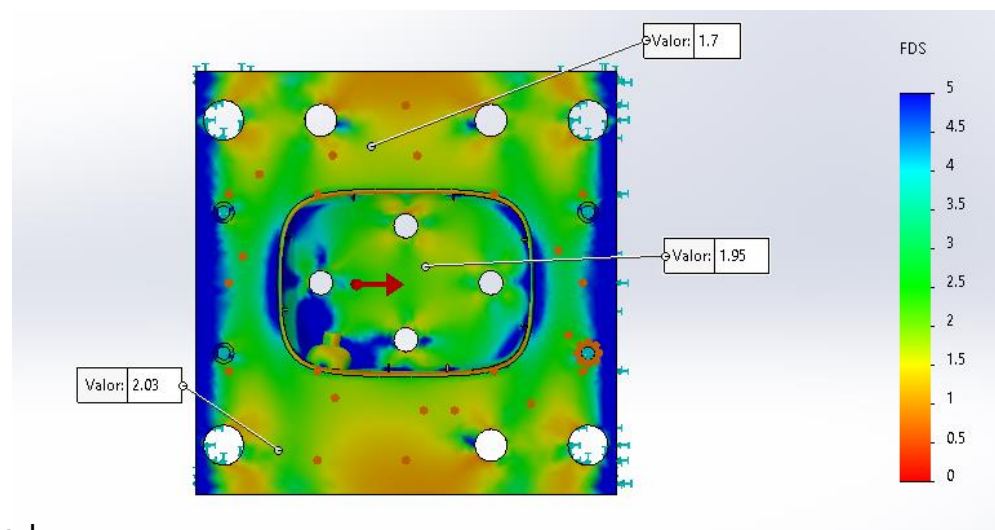
$$t = \frac{15.48 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 79.87 \text{ mm}}{110 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$t = 11.24 \text{ mm}$$

Para evitar problemas o rupturas en la placa de la cavidad se considera un factor de seguridad de 2 por lo cual el espesor de pared mínimo en el punto más crítico de la placa es de 22.5 mm.



## Cálculo del espesor de la placa del núcleo



**Tabla 12.**  
Valores del factor de seguridad

Puntos	Factor de seguridad
1	1.7
2	1.95
3	2.03
<b>Promedio</b>	<b>1.89</b>

# Mecanizado del molde de inyección

**Tabla 13**

*Dimensiones iniciales de las placas, en mm.*



<b>Cantidad</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Espesor</b>
2	340	270	25
2	270	270	22
1	270	270	55
1	270	270	70
1	120	60	60



# Mecanizado del molde de inyección

**Tabla 14**

*Especificación de los parámetros de mecanizado según la herramienta utilizada.*

N° Herramienta	D/Dcap (mm)	$V_c$ (mm/min)	$n$ (rpm)	$Z$	$a_p$ (mm)	$a_e$ (mm)	$f_z$ (mm)	$V_f$ (mm/min)
1	46	3000	2076	4	1	40	0,55	4567
2	17,3	2500	4600	4	1	14	0,55	10120
3	12	3000	7958	1	1	8	0,45	3581
4	6	2800	14854	1	1	4	0,45	6684
5	10	2800	8913	1	1	7	0,45	4011
6	50	3000	1910	4	1	25	0,55	4202
7	8	400	1000	2	1	5	0,45	450
8	3	3000	31831	1	1	1,5	0,45	14324
9	3	1500	15915	1	1	1	0,45	7162
10	8	400	1000	1	1	6	0,45	2700



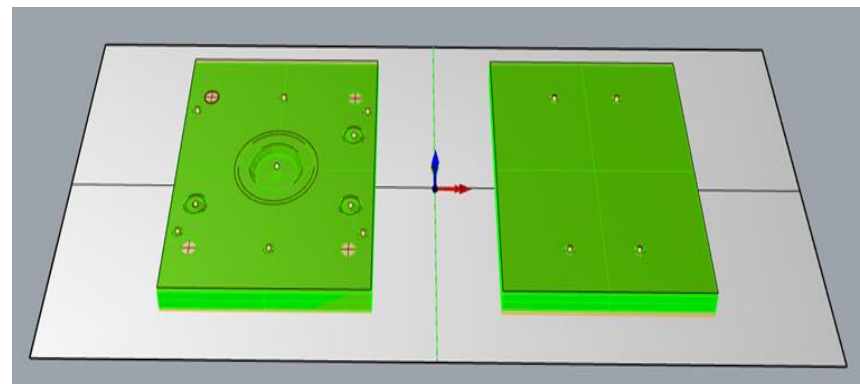
# Mecanizado del molde de inyección

## Placas de sujeción fija y de sujeción móvil

Tabla 15

*Operaciones de mecanizado realizadas en las placas de sujeción móvil.*

Operación	N° de Herramienta
Horizontal Roughing	6
Parallel Finishing	5
Standar Drill	7
Axis Profiling	5 y 6



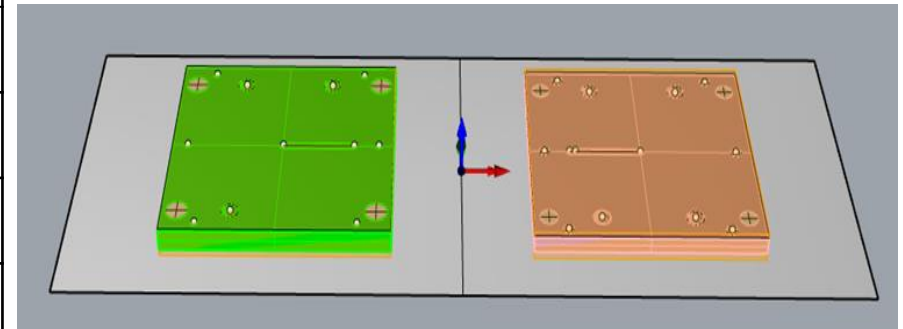
# Mecanizado del molde de inyección

## Placas de canal de inyección 1 y 2

Tabla 16

Operaciones de mecanizado realizadas en las placas de canal de inyección 1 y 2.

Operación	N° de Herramienta
Horizontal Roughing	5 y 6
Parallel Finishing	5
Standar Drill	7
Axis Profiling	5 y 6
Engraving	10

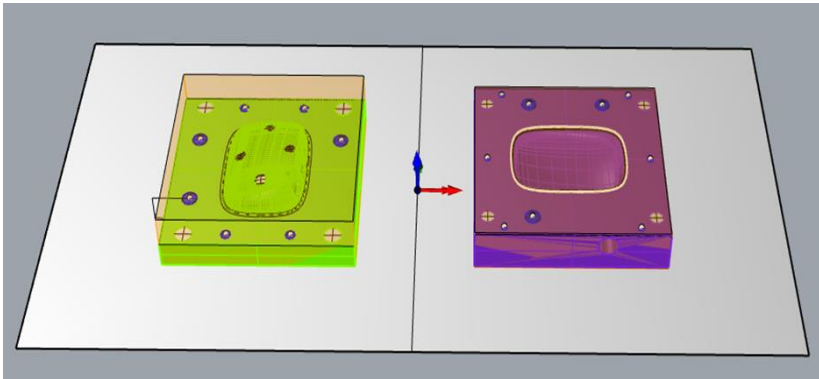


# Mecanizado del molde de inyección

## Placas de la cavidad y del núcleo

Tabla 17

*Operaciones de mecanizado realizadas en las placas de cavidad y núcleo.*



Operación	N° de Herramienta
Horizontal Roughing	1
Parallel Finishing	2 y 4
3D Offset Pocketing	3 y 4
Estándar Drill	7
Axis Profiling	5 y 6
Between 2 Curves Finishing	8
Engraving	9



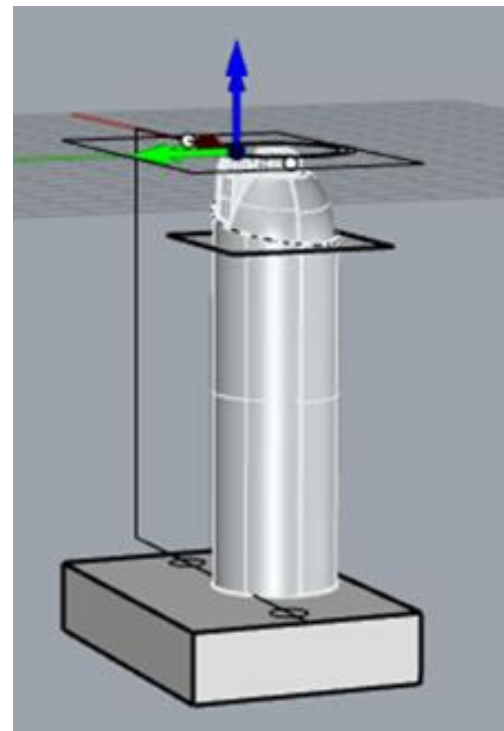
# Mecanizado del molde de inyección

## Placas de canal de inyección 1 y 2

Tabla 18

*Operaciones de mecanizado realizadas en la placa del inserto*

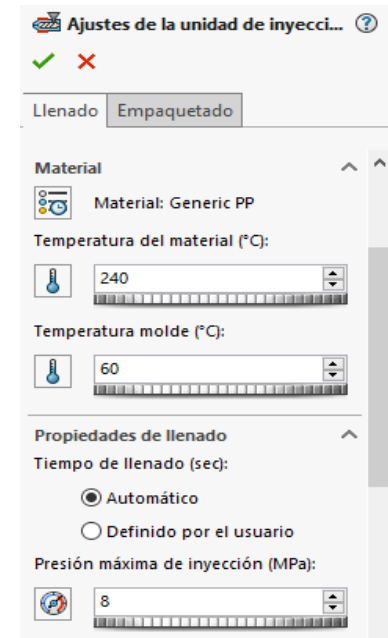
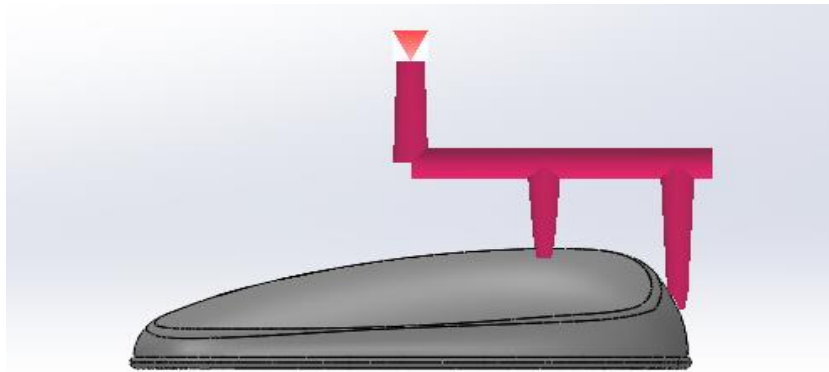
Operación	N° de Herramienta
Horizontal Roughing / Desbaste Horizontal	1
Estándar Drill / Taladrado	7
Axis Profiling / Perfilado de eje	5 y 6

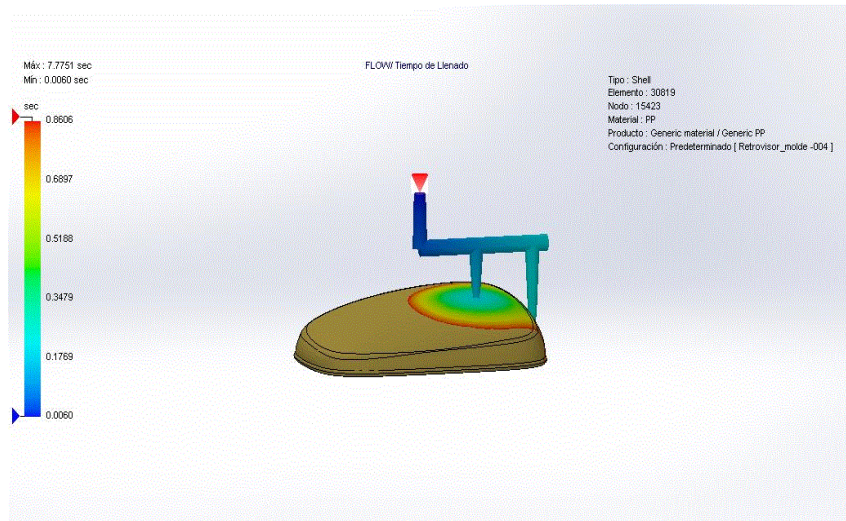




## Simulación de llenado

La simulación de llenado se la realizo para verificar que los puntos de inyección sean correctos y para identificar que los valores de presión de inyección cumplan con el llenado de toda la pieza.





**Tabla 19.**  
Valores de simulación

Parámetros	Valores
Temperatura del material	240 °C
Temperatura del molde	60 °C
Presión de inyección	8 MPa
Tiempo de llenado	7 seg
Tiempo de refrigeración	24 seg



## Proceso de inyección

Para el proceso de inyección se ocupó una maquina inyectora de la marca Fu Chun Shin modelo FT110 la cual cuenta con las siguientes características técnicas:

**Tabla 20.**  
Características técnicas

Características	Unidades	FT110
Diámetro del tornillo	mm	40
Peso de inyección	gr	200
Presión máxima del sistema	kg/ cm <sup>2</sup>	140
Velocidad de inyección	mm/sec	97
Tasa de inyección	Cm <sup>3</sup> /sec	122
Fuerza de sujeción del molde	Toneladas	110
Potencia del motor	Hp	15
Controlador de temperatura	°C	0 - 400

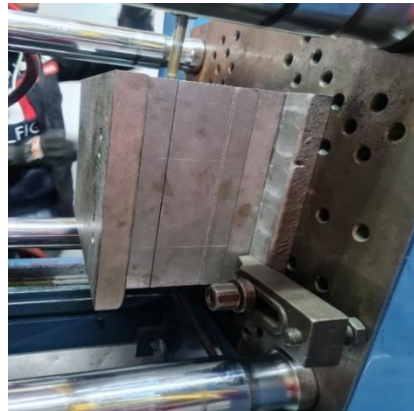


## Montado del molde en la maquina

Centrado del molde



Sujeción del molde



Cierre del molde



# ANÁLISIS DE RESULTADOS



## Pruebas de inyección

### Primera prueba de inyección

Para la primera prueba se ingresó una presión de 8 Mpa con un tiempo de inyección de 7 segundos, tiempo de enfriamiento de 24 segundos y una temperatura del material de 240 °C.

Una vez realizada la primera prueba se pudo observar que hubo un exceso de material inyectado esto debido a un tiempo de inyección elevado para lo cual se procedió a realizar otra prueba con un tiempo menor de inyección.



## Segunda prueba de inyección

Para la segunda prueba se ingresó una presión de 8 Mpa, se redujo el tiempo de inyección a 3 segundos, tiempo de enfriamiento de 24 segundos y una temperatura del material de 240 °C.

Luego de realizar la segunda prueba se observó que los parámetros de inyección ingresados fueron los correctos debido a que no hubo fugas del material y el llenado de la cavidad fue adecuado



## Parámetros para las pruebas de inyección

Tabla 21.

Parámetros para las pruebas de inyección

Parámetros	Unidades	Simulación de llenado	Inyección de la autoparte
Presión de inyección	kg/cm2	80	80
Fuerza de cierre	Toneladas	19.33	19.33
Tiempo de llenado	s	7.77	3
Tiempo de refrigeración	s	24	24
Temperatura del material	°C	240	240





## Resultados del diseño

**Tabla 22.**  
Parámetros para el diseño

Parámetros	Unidades	Valores	
Factor de Contracción	%	1.5	correcto
Espesor de la placa de cavidad	mm	50	correcto
Espesor mínimo de pared	mm	22.5	correcto
Espesor de la placa del núcleo	mm	32	correcto
Factor de seguridad		2	correcto
Diámetro del punto de inyección	mm	2.5	correcto
Puntos de inyección		2	correcto



# Mecanizado del molde de inyección

Tabla 23

*Operaciones de mecanizado realizadas en la placa del inserto*

Herramienta	D/Dcap (mm)	Vc Actual	Vc Potencial
1	46	3000	6000
2	17,3	2500	5000
3	12	3000	3000
4	6	2800	5600
5	10	2800	5600
6	50	3000	6000
7	8	400	800
8	3	3000	6000
9	3	1500	3000



Elemento	Material	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor Total
Placas de sujeción fija y móvil	Aleación de aluminio	340x270x25	59 kg	\$5 c/kg	\$295
Placas de canal de inyección		270x270x22			
Placa de la cavidad		270x270x55			
Placa del núcleo		270x270x70			
Placa del inserto		120x60x60			
Ejes de centrado	Acero de transmisión	Ø30x137mm	3	\$4	\$12
Polímero reciclado	PP reciclado	25kg	1	\$1,5 c/kg	\$37,5
Polímero	PP virgen	25kg	1	\$2,2 c/kg	\$55
				<b>Total</b>	\$399,5

## Costos de los materiales

**Tabla 24**

*Costos de los materiales necesarios para la ejecución del proyecto de investigación.*



# Costos de maquinarias y herramientas

Tabla 25

*Costos de las maquinarias y herramientas utilizadas para construir el molde*

Máquina / Herramienta	Costo por hora	Horas de operación	Costo Total
Fresadora CNC	\$30	20	\$600
Torno	\$12	8	\$96
Inyectora	\$50	2	\$100
Herramientas en general	\$170		\$170
		<b>Total:</b>	<b>\$966</b>



# Conclusiones

- Se seleccionó el método de fabricación en serie más adecuado y se elaboró una autoparte mediante el uso de polímeros reciclados.
- Para la selección del método de fabricación de la autoparte se realizó un análisis cualitativo por puntos en donde se evaluó cuatro factores los cuales fueron: Aplicación, Calidad, Costo de mano de obra y Accesibilidad en donde se obtuvo que el método de moldeo por inyección es el más adecuado con una puntuación de 9 sobre 10.
- Por medio de un estudio de mercado se pudo identificar cuáles son los polímeros reciclados para inyección en el Ecuador obteniendo como resultado el polipropileno y el polietileno, de igual manera se determinó la empresa proveedora del polímero para la fabricación de la autoparte.



# Conclusiones

- Para la selección del polímero reciclado a ocupar se realizó un análisis cualitativo por puntos en donde se evaluó cuatro factores los cuales fueron: Precio, Características Técnicas, Aplicación Automotriz y Accesibilidad en donde se obtuvo que el polipropileno reciclado es el material más óptimo para la fabricación de la autoparte con una puntuación de 9 sobre 10.
- Para la selección del material a mecanizar se hizo una investigación sobre los materiales más utilizados para la fabricación de moldes de inyección y se comparó factores como: precio, conductividad térmica, dureza, maquinabilidad y su accesibilidad en el mercado, donde fue el aluminio el material escogido, luego de la selección del material se simuló mediante software CAE un análisis estático donde con un valor de presión de inyección mayor al real se obtuvo factores de seguridad confiables.



# Conclusiones

- Para el diseño del molde se determinaron siete parámetros fundamentales los cuales fueron: Factor de contracción de 1.5%, Espesor de la placa de la cavidad de 50 mm, Espesor de la placa del núcleo de 32 mm, Espesor mínimo de pared de 22.5 mm, Factor de seguridad de 2, Diámetro del punto de inyección de 2.5 mm y Puntos de inyección los cuales fueron 2.
- En la simulación de llenado se establecieron los datos iniciales los cuales fueron: Presión de inyección de 8Mpa, Temperatura del material de 240 °C y Temperatura del molde de 60 °C, y se obtuvieron los resultados del Tiempo de inyección de 7.77 segundos y el Tiempo de refrigeración de 24 segundos. En la simulación de llenado se pudo observar un correcto llenado del molde con el material lo cual nos indica que los valores seleccionados son los correctos.



# Conclusiones

- Los parámetros de corte calculados teóricamente con la ayuda de datos establecidos, según fabricantes o fuentes bibliográficas son correctos, sin embargo la fresadora CNC estaba limitada en sus capacidades para cumplir ciertos parámetros como la velocidad de giro del husillo. Por lo que se optó por usar valores dentro de las capacidades de la máquina, lo cual no afectó de ninguna forma el resultado final del mecanizado. El uso de herramientas de corte HSS y de carburo fue ideal para la calidad de los acabados y el tiempo de mecanizado.
- En el proceso de inyección se realizaron dos pruebas, para la primera prueba se ingresó en la máquina inyectora los valores obtenidos de la simulación de llenado teniendo un exceso de material debido a un elevado tiempo de inyección, por lo cual para la segunda prueba se redujo el tiempo de inyección de 7.77 a 3 segundos y con ello se observó una correcta inyección.





# Recomendaciones

- Para la selección del proceso de fabricación en serie se deben considerar los factores más relevantes para realizar el análisis cualitativo por puntos.
- Tener en cuenta la calidad y las características técnicas de las herramientas de corte a usar en las diferentes operaciones de un proceso de mecanizado.
- Seguir las indicaciones de los fabricantes en cuanto a la seguridad del operador y usar correctamente el Equipo de Protección Personal (EPP).
- En la simulación de llenado ingresar valores que se encuentren dentro de los rangos óptimos de trabajo del material de inyección.
- Al momento de usar material reciclado para inyección en moldes se debe tener un porcentaje de material virgen para compensar la pérdida de propiedades mecánicas.



GRACIAS  
**TOTALES**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA