

# UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Industrial y de Procesos

PROPUESTA DE DISEÑO DE MOLDES DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO EN MADERA  
PARA FABRICACIÓN DE PROTECTOR DIADEMA COVID-19

Jonathan Xavier Lima Trujillo

Nota del autor

Jonathan Xavier Lima Trujillo, Facultad de Ingeniería Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK.

Directora Ing. PERALTA-Zurita Diana Belén, M.Sc.

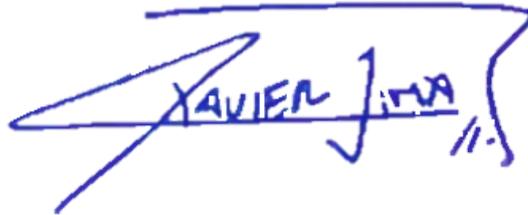
Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

[jxlima.mdin@uisek.edu.ec](mailto:jxlima.mdin@uisek.edu.ec)

## Declaración juramentada

Yo, Jonathan Xavier Lima Trujillo, con cédula de identidad 1003007042, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



---

Jonathan Xavier Lima Trujillo  
C.I.: 1003007042

## Índice de contenido

Declaración juramentada.....	2
Índice de contenido .....	3
Índice de figuras .....	6
Índice de tablas.....	10
Índice de ecuaciones.....	13
Abreviaturas .....	14
Resumen .....	15
Abstract .....	16
Introducción .....	17
Antecedentes.....	17
Planteamiento del problema .....	24
Justificación.....	26
Hipótesis .....	28
Estado del arte. ....	29
Normativa para los protectores faciales.....	29
Normas para modelos de protectores faciales.....	29
Diseños de protectores faciales impresos en 3d.....	39
Implementación de un molde de inyección. ....	42
Diseño de un molde de inyección de plástico.....	54
Procesos de fabricación de un molde de inyección. ....	61
Maderas en el ecuador .....	75

Metodología .....	79
Tipo de método.....	79
Modalidad de investigación.....	79
Diseño del protector facial.....	80
Parámetros físicos para diseño del protector facial.....	80
Forma del protector visual. ....	81
Material y dimensiones del visor. ....	83
Modelo CAD y prototipado. ....	84
Pruebas con el usuario. ....	87
Pruebas para la certificación con la norma EN 166:2001.....	91
Parámetros de diseño del molde de inyección.....	93
Diseño del molde de inyección.....	94
Selección de un polímero. ....	99
Simulación del proceso de inyección. ....	101
Selección de una especie de madera.....	103
Simulación de resistencia mecánica del molde de madera.....	103
Selección de los parámetros de corte de las maderas.....	108
Proceso experimental de inyección de plástico.....	108
Análisis de resultados y discusión.....	117
Proceso de inyección de plástico.....	117
Análisis de resistencia del molde de inyección fabricado en Madera.....	121
Análisis del llenado del molde experimental.....	123

Mecanizado de las partes del molde de inyección de plástico. ....	125
Análisis de costos. ....	168
Impresión 3d .....	168
Inyección de plástico.....	173
Discusión de resultados .....	178
Conclusiones .....	182
Recomendaciones.....	184
Bibliografía.....	185

## Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Modelo de protector facial de Strátasys. ....	20
<i>Figura 2.</i> Protector facial Prusa PRO.....	21
<i>Figura 3.</i> Modelo de protector facial de 3d systems.....	21
<i>Figura 4.</i> Modelo para corte de lámina transparente. ....	22
<i>Figura 5.</i> Fabricación de un protector facial de bajo costo.....	23
<i>Figura 6.</i> Personal de salud usando un protector facial impreso en 3d .....	26
<i>Figura 7.</i> Proceso de impresión 3d .....	27
<i>Figura 8.</i> Diversos tipos de protectores oculares .....	30
<i>Figura 9.</i> Dimensiones antropométricas de un P50 .....	31
<i>Figura 10.</i> Misil de impacto de alta masa. ....	35
<i>Figura 11.</i> Aparato de prueba para impacto de prueba de alta velocidad.....	36
<i>Figura 12.</i> Características principales de los plásticos. ....	42
<i>Figura 13.</i> Clasificación de los polímeros .....	43
<i>Figura 14.</i> Principales etapas del moldeo por inyección .....	44
<i>Figura 15.</i> Unidades de una máquina de inyección por moldeo.....	44
<i>Figura 16.</i> Ciclo de inyección.....	47
<i>Figura 17.</i> Modelo del ensamble del molde con modelo de simulación probado. ....	50
<i>Figura 18.</i> Moldes de inyección de plástico .....	52
<i>Figura 19.</i> Resultados de temperatura en procesos de moldeo por inyección.....	53
<i>Figura 20.</i> Tipos de elementos para simulación de elementos finitos. ....	55
<i>Figura 21.</i> Presión de inyección teórica.....	57
<i>Figura 22.</i> Ángulos de salida en las piezas. ....	60
<i>Figura 23.</i> Formas del conducto de alimentación.....	61

<i>Figura 24.</i> Resultados de rugosidad media al aplicar diferentes velocidades de avance en el corte de madera de abedul.....	63
<i>Figura 25.</i> Materiales para el ensayo de fresado. ....	65
<i>Figura 26.</i> Ensayo de fresado de abeto. ....	68
<i>Figura 27.</i> Fotografías de rebabas formadas usando ranurado normal (izquierda) y utilizando el nuevo sistema propuesto (tipo 1, 2 y 3). ....	69
<i>Figura 28.</i> Fresado a favor en madera .....	70
<i>Figura 29.</i> Datos para interpolación del número de revoluciones .....	72
<i>Figura 30.</i> Datos para interpolar la velocidad de avance.....	73
<i>Figura 31.</i> Parámetros de avance para fresado de madera. ....	74
<i>Figura 32.</i> Sistema de coordenadas para la Madera .....	77
<i>Figura 33.</i> Desarrollo Metodológico .....	79
<i>Figura 34.</i> Selección de la población.....	82
<i>Figura 35.</i> Selección del percentil .....	82
<i>Figura 36.</i> Modelos 3d en base a datos antropométricos.....	83
<i>Figura 37.</i> Dimensiones del visor .....	84
<i>Figura 38.</i> Partes del protector visual .....	85
<i>Figura 39.</i> Vistas del modelo con el visor .....	85
<i>Figura 40.</i> Proceso de impresión de la visera .....	86
<i>Figura 41.</i> Proceso de corte laser para el visor .....	87
<i>Figura 42.</i> Prototipo ensamblado.....	87
<i>Figura 43.</i> Prueba de usuario femenino 1 .....	88
<i>Figura 44.</i> Prueba de usuario masculino 1 .....	88
<i>Figura 45.</i> Prueba de usuario femenino 2 .....	89
<i>Figura 46.</i> Prueba de usuario masculino 2.....	89

<i>Figura 47.</i> Prueba de usuario femenino 3 .....	90
<i>Figura 48.</i> Prueba de usuario masculino 3.....	90
<i>Figura 49.</i> Detalle de la prueba de impacto simulada.....	92
<i>Figura 50.</i> Condiciones para la simulación de la prueba .....	92
<i>Figura 51.</i> Distribución de esfuerzos de von Mises para una prueba de impacto .....	93
<i>Figura 52.</i> Análisis del ángulo de salida.....	94
<i>Figura 53.</i> Molde de inyección de plástico.....	95
<i>Figura 54.</i> Sistema de inyección.....	95
<i>Figura 55.</i> Sistema de botación.....	96
<i>Figura 56.</i> Sistema de expulsión.....	97
<i>Figura 57.</i> Sistema de inyección.....	97
<i>Figura 58.</i> Sistema de botación. ....	98
<i>Figura 59.</i> Selección de un polímero del universo de los termoplásticos.....	100
<i>Figura 60.</i> Selección de un polímero en función del precio y módulo de elasticidad .....	100
<i>Figura 61.</i> Condiciones de contorno para la simulación del proceso de inyección.....	101
<i>Figura 62.</i> Análisis de convergencia para la simulación del proceso de inyección.....	103
<i>Figura 63.</i> Núcleo y cavidad para la simulación estática. ....	104
<i>Figura 64.</i> Creación del material de simulación.....	105
<i>Figura 65.</i> Aplicación de condiciones de contorno .....	106
<i>Figura 66.</i> Análisis de convergencia para la simulación estática.....	107
<i>Figura 67.</i> Materiales para la construcción de un molde de inyección prototipo .....	108
<i>Figura 68.</i> Piezas impresas en 3d.....	110
<i>Figura 69.</i> Ensamble de partes de la cavidad.....	111
<i>Figura 70.</i> Ensamble de partes del núcleo. ....	111
<i>Figura 71.</i> Ensamble del sistema de expulsión.....	112

<i>Figura 72.</i> Ensamble del lado expulsor. ....	112
<i>Figura 73.</i> Ensamble completo del lado expulsor e inyector.....	113
<i>Figura 74.</i> Herramientas y materiales para simular la inyección de plástico. ....	113
<i>Figura 75.</i> Preparación del molde de inyección prototipo.....	115
<i>Figura 76.</i> Proceso de mezcla de resina.....	115
<i>Figura 77.</i> Simulación del proceso de inyección.....	116
<i>Figura 78.</i> Tiempo de llenado del proceso .....	117
<i>Figura 79.</i> Presión al final del llenado .....	118
<i>Figura 80.</i> Temperatura durante el proceso de inyección.....	118
<i>Figura 81.</i> Rechupes en el proceso de inyección.....	119
<i>Figura 82.</i> Contribución de los puntos de inyección .....	119
<i>Figura 83.</i> Facilidad de llenado del proceso de inyección.....	120
<i>Figura 84.</i> Atrapamientos de aire durante el proceso de inyección.....	120
<i>Figura 85.</i> Región solidificada y puntos de soldadura.....	121
<i>Figura 86.</i> Distribución de esfuerzos combinados en el postizo lado inyección.....	121
<i>Figura 87.</i> Distribución de esfuerzos combinados en el postizo lado expulsión.....	122
<i>Figura 88.</i> Distribución del factor de seguridad en el postizo lado inyección.....	123
<i>Figura 89.</i> Distribución del factor de seguridad en el núcleo.....	123
<i>Figura 90.</i> Resultado del proceso de inyección. ....	124
<i>Figura 91.</i> Parte de resina resultante del experimento.....	124
<i>Figura 92.</i> Atrapamiento de aire en la parte de resina .....	125

## Índice de tablas

Tabla 1 <i>Forma de cabeza de referencia</i> .....	32
Tabla 2 <i>Requisitos relativos a la protección contra partículas a gran velocidad</i> .....	35
Tabla 3 <i>Clases de protección de filtros</i> .....	37
Tabla 4 <i>Clases de óptica</i> .....	38
Tabla 5 <i>Símbolos de identificación de la resistencia mecánica</i> .....	38
Tabla 6 <i>Símbolos de los campos de uso</i> .....	39
Tabla 7 <i>Características de varios modelos de protectores faciales</i> .....	40
Tabla 8 <i>Características para seleccionar el material del visor</i> .....	41
Tabla 9 <i>Temperaturas de fusión guía para algunos polímeros</i> .....	45
Tabla 10 <i>Temperatura de molde recomendada para algunos polímeros</i> .....	47
Tabla 11 <i>Parámetros para el moldeo por inyección</i> .....	48
Tabla 12 <i>Propiedades del ABS grado 633</i> .....	49
Tabla 13 <i>Datos de salida del módulo de simulación numérica del proceso de moldeo por inyección</i> .....	49
Tabla 14 <i>Propiedades termofísicas de los materiales de los moldes</i> .....	53
Tabla 15 <i>Longitud máxima de flujo de plásticos fundidos</i> .....	59
Tabla 16 <i>Diámetros de conductos recomendados para materiales plásticos</i> .....	61
Tabla 17 <i>Propiedades físicas de 19 pinos de Alepo</i> .....	65
Tabla 18 <i>Velocidades de avance y rotación para albura y duramen de aramo australiano</i> ...	66
Tabla 19 <i>Configuración experimental para el fresado del abeto Douglas</i> .....	67
Tabla 20 <i>Coeficiente de variación de las fuerzas de corte para 0,5 mm. (wg: con el grano, ag: contra el grano)</i> .....	68
Tabla 21 <i>Condiciones de ranurado utilizadas</i> .....	69
Tabla 22 <i>Diferentes velocidades de corte para materiales</i> .....	71

Tabla 23 <i>Parámetros de corte para varios materiales</i> .....	74
Tabla 24 <i>Algunas especies maderables del Ecuador</i> .....	75
Tabla 25 <i>Presentación de las maderas en los aserraderos locales.</i> .....	76
Tabla 26 <i>Tipos de madera disponible en los aserraderos locales</i> .....	76
Tabla 27 <i>Dureza de especies de Madera</i> .....	77
Tabla 28 <i>Propiedades Mecánicas de la madera de pino para simulación FEA</i> .....	78
Tabla 29 <i>Condiciones de diseño de un protector facial</i> .....	81
Tabla 30 <i>Dimensiones para el diseño</i> .....	82
Tabla 31 <i>Parámetros de impresión del prototipo 3d</i> .....	86
Tabla 32 <i>Descripción de pruebas a los usuarios</i> .....	91
Tabla 33 <i>Manufactura de partes del modelo</i> .....	99
Tabla 34 <i>Características para la selección de un polímero.</i> .....	99
Tabla 35 <i>Condiciones para el proceso de simulación del proceso de inyección.</i> .....	101
Tabla 36 <i>Resultados de varias iteraciones de simulación para el proceso de inyección.</i> .....	102
Tabla 37 <i>Condiciones para la simulación estática.</i> .....	106
Tabla 38 <i>Resultados de varias iteraciones de simulación para el análisis estático.</i> .....	107
Tabla 39 <i>Descripción de materiales para el prototipado de un molde</i> .....	109
Tabla 40 <i>Descripción de las partes impresas en 3d</i> .....	110
Tabla 41 <i>Herramientas y materiales para simular la inyección de plástico.</i> .....	114
Tabla 42 <i>Cantidades en gramos para la mezcla de resina</i> .....	114
Tabla 43 <i>Resumen de uso de procesos de mecanizado</i> .....	168
Tabla 44 <i>Resumen de plan de inversión para la producción de protectores faciales por impresión 3d</i> .....	169
Tabla 45 <i>Resumen de costos de producción por impresión 3d</i> .....	170
Tabla 46 <i>Resumen del rol de pagos y costo de mano de obra</i> .....	171

Tabla 47 <i>Resumen de hoja de costos para la producción por impresión 3d</i> .....	172
Tabla 48 <i>Resumen del análisis de costos en el proceso de impresión 3d</i> .....	172
Tabla 49 <i>Resumen de plan de inversión para la producción de protectores faciales por inyección de plástico</i> .....	173
Tabla 50 <i>Resumen de costos de producción por inyección de plástico</i> .....	174
Tabla 51 <i>Resumen del rol de pagos y costo de mano de obra</i> .....	176
Tabla 52 <i>Resumen de hoja de costos para la producción por inyección de plástico.</i> .....	176
Tabla 53 <i>Resumen del análisis de costos en el proceso de impresión 3d</i> .....	177

## Índice de ecuaciones

<i>Ecuación 1 Fuerza de sujeción .....</i>	<i>57</i>
<i>Ecuación 2 Velocidad máxima del tornillo .....</i>	<i>58</i>
<i>Ecuación 3 Tiempo de enfriamiento.....</i>	<i>58</i>
<i>Ecuación 4 Carrera del tornillo.....</i>	<i>58</i>
<i>Ecuación 5 Tiempo de residencia .....</i>	<i>58</i>
<i>Ecuación 6 Relación de dosis.....</i>	<i>58</i>
<i>Ecuación 7 Temperatura de enfriamiento.....</i>	<i>59</i>
<i>Ecuación 8 Fluidéz del polímero .....</i>	<i>59</i>
<i>Ecuación 9 Número de revoluciones en fresado .....</i>	<i>62</i>
<i>Ecuación 10 Velocidad de avance en fresado .....</i>	<i>62</i>

## Abreviaturas

CAM	Manufactura asistida por computadora (siglas en inglés)
CAD	Diseño asistido por computador (siglas en inglés)
CAE	Ingeniería asistida por computador (siglas en inglés)
FEM	Método de elementos finitos (siglas en inglés)
FDM	Modelado por deposición fundida (siglas en inglés)
3d	Objeto que tiene tres dimensiones alto, ancho y profundidad.
Face Shield	Protector facial (siglas en inglés)
Doe	Diseño de experimento

## Resumen

El presente documento demuestra que es posible fabricar un molde de inyección de plástico usando madera y que es un proceso más rentable y rápido en comparación con la impresión 3d con tecnología FDM para la producción en serie de visores de tipo protector facial.

Los resultados permiten concluir que un molde fabricado en madera de pino resiste la presión de 12.22 MPa generada durante el proceso de inyección de polietileno de alta densidad, que se ratifica en un factor de seguridad mínimo de 3.1 obtenido a partir de un análisis estático de un material ortotrópico. La producción de 180 visores por inyección de plástico implica una inversión de \$2.314,80 con un precio de venta de \$5,88 por visor, es una inversión 3,59 veces menor a implementar y 2 centavos menos de precio de venta en comparación con la producción por impresión 3d. Con 18 horas en el proceso de inyección de plástico se produce 2160 visores equivalentes a la producción de un año de una estación de 9 impresoras 3d trabajando 9 horas diarias durante 5 días por semana.

Se diseña un modelo de visor con herramientas CAD, se valida el modelo con simulaciones CAE y usuarios de diferentes edades y sexos, se diseña un molde de inyección de plástico con herramientas CAD, se valida a través de un DOE y simulaciones CAE, CAM para finalmente con un análisis de costos, obtener el precio de venta por visor y el costo de implementación del proceso.

### Palabras Clave:

CAD, CAE, CAM, DOE, impresión 3d, madera, molde de inyección de plástico, ortotrópico, pino, protector facial, visor.

## Abstract

The present document demonstrates that it is possible to manufacture a plastic injection mold using wood, since it is a more cost-effective and faster process, compared to 3D printing with FDM technology for mass production of face shield type visors.

The results allow to conclude that a mold made of pine wood resists the pressure of 12.22 MPa generated during the high-density polyethylene injection process, which is ratified by a minimum safety factor of 3.1 obtained from a static analysis of an orthotropic material. The production of 180 visors per plastic injection implies an investment of \$ 2,314.80 with a sale price of \$ 5.88 per visor. It is a 3.59 times less investment to implement and 2 cents less in the sale price compared to the production by 3d printing. With 18 hours in the plastic injection process, 2,160 visors are produced, it is equivalent to the production of a year of a station of 9 3d printers working 9 hours a day for 5 days a week.

A visor model is designed with CAD tools, the model is validated with CAE simulations and users of different ages and genders, a plastic injection mold is designed with CAD tools, it is validated through a DOE and CAE, CAM simulations, for finally making a cost analysis and obtain the sale price per viewer and the cost of implementation of the process.

### **Keywords:**

CAD, CAE, CAM, DOE, face shield, pine, plastic injection mold, orthotropic, visor, wood, 3d printing.

## Introducción

### Antecedentes

Plástico es el término común generalizado para describir una amplia gama de materiales sintéticos o semisintéticos que se utilizan en un enorme y creciente abanico de aplicaciones: desde el envasado a la construcción de edificios, desde vehículos a dispositivos médicos, juguetes, prendas de ropa, etc.(Schmid & Kalpakjian, 2008)

En el año 1872 John Hyatt registró la primera patente de una máquina de inyección usando un pistón y derivados celulósicos fundidos, mientras que la década de 1920 se produce el primer plástico moldeable y de color claro y finalmente en 1921 se crea la primera máquina para el moldeo por inyección y un año más tarde se fabrica la primera montura de gafas en acetato de celulosa. (Morier, 1907)

La inyección de plásticos es un proceso que se ha venido abriendo paso en la industria, debido a los beneficios técnicos y económicos obtenidos en referencia a otros procesos de transformación de materiales. Actualmente, piezas con requerimientos específicos han encontrado en este proceso la mejor solución, desplazando a materiales tradicionales (bronce, aluminio, fundición de hierro gris o de acero, etc.) en aplicaciones industriales(Prada-Ospina, Ricardo & Acosta-Prado, 2017).

La demanda de plásticos en 2018 alcanzó 359 millones de toneladas en comparación con el acero que alcanzó la producción de 1808 millones de toneladas, la demanda de plásticos representa un 20% aproximadamente en comparación con el acero.(Plastics Europe, 2019)

En el año 2019 los plásticos son usados 39.9% en envases plásticos, 19.8% en construcción y edificación, 16.7% en otros (aparatos electrodomésticos, ingeniería mecánica,

muebles y aplicaciones médicas.), el restante 23.6 % se usa en automoción, industria eléctrica y electrónica, agricultura y deportes. (Plastics Europe, 2019)

En la fabricación por inyección de plástico es importante la calidad de los moldes. Para esto, la clave está en la geometría de la pieza a fabricar, con una durabilidad que mantenga la calidad de fabricación en el tiempo. Usualmente los moldes de inyección se fabrican en acero pre-templado (acero P20) y aceros de temple, dependiendo de las exigencias a las que será sometido el molde (Prada-Ospina, Ricardo & Acosta-Prado, 2017).

El acero de temple se utiliza para largas series de producción, resiste la abrasión para algunos materiales de moldeo como plásticos reforzados o con aditivos y para contrarrestar las grandes presiones de cierre o inyección. Un ejemplo de este acero es el acero AISI H13.(Arizmendi et al., 2010)

El acero pre templado se utiliza para moldes grandes y con moderada serie de producción, moldes con poca exigencia al desgaste y como placas soporte de alta resistencia. Un ejemplo de este acero es el acero AISI P20.(Arizmendi et al., 2010)

Ante inminente riesgo de corrosión del molde se debe usar un acero inoxidable, siendo más conveniente trabajar con el mencionado material en lugar de realizar operaciones de repulido o recubrimientos sobre aceros convencionales.(Arizmendi et al., 2010)

La industria de inyecciones de plástico generalmente prueba con materiales que tengan una conductividad térmica como el Cobre al Berilio que está diseñado para aplicaciones de moldes de inyección específicamente ya que cuenta con una conductividad de 3 a 4 veces mayor que la del acero convencionalmente utilizado. (Instituto Asteco, 2020)

Es posible también encontrar moldes fabricados a partir de aleaciones de aluminio debido a sus propiedades mecánicas de resistencia al desgaste, junto con la elevada

conductividad térmica que presentan, permiten proponer el empleo de las aleaciones de aluminio reforzadas en el campo de la fabricación de moldes para la industria de inyección de plásticos.(Picas et al., 2006)

Existe la posibilidad de usar recubrimientos cerámicos PVD que mejoran la resistencia al desgaste, disminuyen los coeficientes de fricción, mejoran la resistencia a la corrosión y crean barreras químicas. Estos recubrimientos juegan un papel clave para facilitar el desmoldeo en moldes de inyección de plástico o deslizamiento en matrices de estampación.(Bueno et al., n.d.)

Dentro de un proceso de producción de un molde de inyección de forma convencional (Fresado y taladrado) intervienen 3 aspectos que son: los costos del proceso de diseño (38.2%), el costo del material (53.1%) y la energía utilizada (2.9%) en su producción. (Peças et al., 2009)

El costo del material (53.1%) incluye el costo de herramientas y el costo del material en bruto, se encuentra relacionado directamente al número de horas de mecanizado (Costos energéticos) y no varía significativamente en los materiales convencionalmente utilizados (Acero, aluminio y Cobre al Berilio) en la producción de un molde de inyección.

La falta de nuevos materiales alternativos de bajo costo y de baja dureza imposibilitan la fabricación moldes de inyección de bajo costo para un lote de producción pequeño.

Los protectores faciales (face shield) equipo indispensable de protección personal consisten en una lámina transparente de polímero sostenida en un marco de polímero fabricado generalmente por moldes de inyección.(Shokrani et al., 2020)

Stratasys como fabricante de impresoras 3d, diseña un prototipo de protector facial que puede ser impreso en PLA o ABS a través de la tecnología FDMA sin el uso de soportes y consta de 3 partes: 1 visor, 1 Soporte para visor y una banda elástica #33 como se muestra en la figura 1.(Stratasys, 2020)



*Figura 1. Modelo de protector facial de Strátasys.*

Fuente: (Stratasys, 2020)

El modelo ha sido diseñado para usar un material plástico transparente con 3 perforaciones, las perforaciones se pueden realizar con una perforadora de estadounidense estándar de 3 orificios con una separación de 10,795 cm entre orificios.(Stratasys, 2020)

Prusa siendo fabricante de impresoras 3d y proveedor de material de impresión 3d, desarrolla un modelo del protector visual denominado RC3 para ser impreso con PLA, contando una certificación CE y cumple con la normativa europea para equipos de protección personal, sin embargo, en el afán de optimizar su modelo se desarrolla una versión mejorada denominada RC4, tomando en cuenta los comentarios y recomendaciones de los usuarios se incluyen recortes en los hombros y protección completa de toda la cara. Luego de cumplir con la norma EN 166:2001 y recibir su certificación es renombrada como protector facial Prusa PRO que se muestra en la figura 2.(Prusa, 2020)



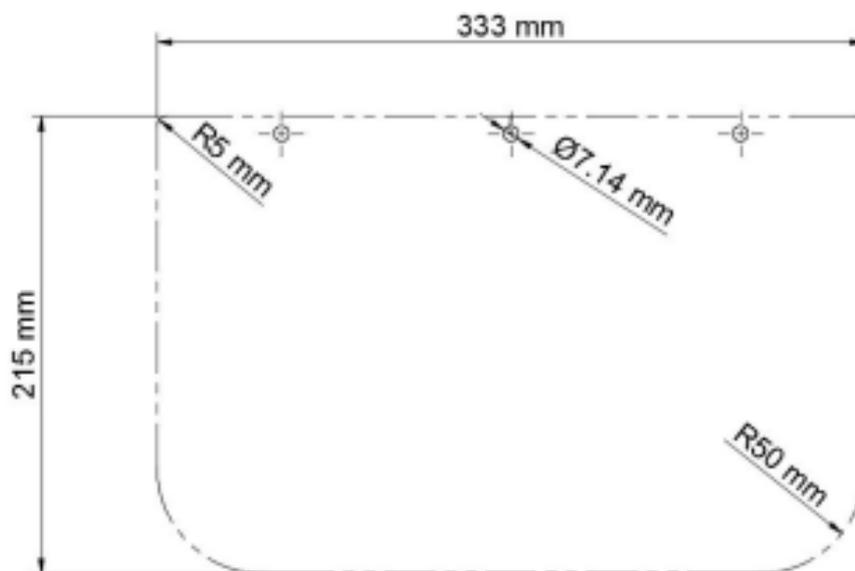
*Figura 2.* Protector facial Prusa PRO.  
Fuente: (Prusa, 2020)

3d Systems en calidad de fabricante de impresoras 3d, desarrolla su modelo de protector facial (ver figura 3) con la particularidad que debe ser impreso con sinterización de laser selectivo (SLS) o impresión de estereolitografía (SLA), y destaca su comodidad por tener gran flexibilidad, su proceso de desinfección que puede ser realizado en autoclave o químicos al estar elaborado en nylon de grado médico. (3d Systems, 2020)



*Figura 3.* Modelo de protector facial de 3d systems  
(3d Systems, 2020)

Se recomienda usar una lámina transparente de policarbonato transparente de 0.79 mm de espesor con agujeros realizados haciendo uso de una perforadora de 3 agujeros, además de tener las esquinas redondeadas para facilitar los movimientos laterales de la cabeza como se muestra en la figura 4. (3d Systems, 2020)



*Figura 4.* Modelo para corte de lámina transparente.  
(3d Systems, 2020)

Las comunidades conjuntamente con empresas colaboran con información, ideas y recursos disponibles en las que se puede desatacar que con el aporte de médicos, ingenieros, fabricantes y diseñadores de todo el mundo se desarrollan modelos de protectores faciales además de otros suministros y equipos médicos aún por certificar. (Autodesk Community, 2020)

La empresa PamFab, haciendo uso de impresión 3D y corte láser, desarrolla el protector facial BWH/PanFab Mk 1.0, el cual consta de un visor de 240 mm de ancho y 305 mm de largo con el objetivo de maximizar la protección facial de la persona. Este protector está hecho para ser reutilizado por un solo usuario aplicando el estándar CDC para la desinfección y limpieza de gafas protectoras en el cual se puede hacer uso de toallitas desinfectantes aprobadas en el mismo. (Mostaghimi et al., 2020)

Un grupo de médicos de Reino Unido diseñaron un protector facial de un solo uso (ver figura 5) que puede ser fabricado de una forma fácil y rápida haciendo uso de materiales sencillos, económicos y fáciles de adquirir. Uno de estos protectores puede llegar a costar aproximadamente 1,95 USD o menos. Los materiales de los cuales hacen uso son: una hoja genérica de acetato A4, una tira de espuma rígida autoadhesiva, una banda elástica de 32 x 2 cm, un trozo de espuma suave genérica de 30 x 30 x 20 mm y “superpegamento como se muestra en el figura 5.” (Skamnelos et al., 2020)



*Figura 5.* Fabricación de un protector facial de bajo costo

(a) Colocación de la espuma rígida autoadhesiva a la lámina de acetato A4; (b) Fijar los extremos de la banda elástica a la espuma y la lámina de acetato A4 con pegamento; (c) Pegar la pieza de espuma de embalaje a la tira rígida de espuma y la lámina d

Fuente: (Skamnelos et al., 2020)

El estudio realizado por Shokrani et al. (2020) propone un método de fabricación de protectores faciales similar al anteriormente mencionado, añadiendo que si este método fuese aplicada a gran escala en una línea de ensamblaje, la producción sería ~ 50% más eficiente y el costo se reduciría a alrededor de 0,50 USD por artículo. Además, indica que los productos terminados son almacenados durante 5 días puesto que los estudios han demostrado que el virus COVID-19 muere después de 4 días sobre las superficies plásticas.

## Planteamiento del problema

El tipo de acero empleado en la fabricación del molde lo determina el costo, y teniendo en cuenta detalles importantes como la geometría de la pieza a fabricar, el material plástico utilizado, las presiones de cierre del molde, el número de piezas a fabricar y el tiempo de ciclo. La elección del acero para la fabricación del molde de inyección se basará en sus propiedades mecánicas, ya que será sometido a esfuerzos durante el proceso de inyección. Las propiedades que se deben tener en cuenta son: resistencia a la compresión, resistencia a la corrosión, resistencia térmica, tenacidad, buena mecanibilidad, facilidad para electro-erosionado o fotograbado, resistencia al impacto y deformación, buena resiliencia, resistencia al desgaste (Prada-Ospina, Ricardo & Acosta-Prado, 2017).

Los materiales que se utilicen como material base para la construcción del molde de inyección determinarán y estará ligado al número de piezas producidas, para una producción baja no es factible fabricar un molde de inyección. Para definir un costo total de producción de una pieza hay que tener en cuenta: la complejidad de la pieza, el número de piezas a inyectar y el costo de manufactura del molde.

El molde de inyección consta de 3 principales sistemas de inyección, sistema de botación y sistema de expulsión y cada uno de ellos consta de un considerable de piezas que pueden ser mecanizadas o adquiridas a excepción de los postizos que deben ser fabricados por procesos mecanizado de control numérico en función del modelo a ser inyectado.

En las piezas obtenidas mediante operaciones de mecanizado se generan superficies que influyen en la vida, el rendimiento, la duración y la salida comercial que pueda tener dicha pieza. Por los motivos anteriormente expuestos resulta importante conocer como poder obtener acabados superficiales óptimos para su aplicación final y gran importancia de esto reside en los parámetros de corte que se empleen en su proceso de fabricación(Gonzalo & Lara, 2015).

A partir de la emergencia sanitaria presente a nivel mundial desde el mes de diciembre de 2019 ocasionada por la pandemia del virus COVID-19 y la cuarentena posterior ha contribuido a la creación de equipos de protección en impresoras 3d alrededor del mundo. Se han propuesto inclusive modelos de respiradores mecánicos para dotar a los hospitales. (Instituto Asteco, 2020)

Que tan conveniente referente a un costo de producción económico resulta mecanizar un molde de inyección de plásticos con el uso de materiales alternativos como la madera a fin de reducir los costos del molde en comparación con el uso de varias impresoras 3d en una cadena de producción en serie para un igual número de Piezas.

En la manufactura aditiva, el tiempo requerido para la producción depende de velocidad predeterminada de la impresora, tamaño de la boquilla, extruida altura de capa y tamaño del objeto que se imprime. Mantenimiento un buen equilibrio entre el tiempo de impresión y la calidad es importante.(Amin & Nguyen, 2020)

La manufactura aditiva es un proceso lento no apto para la producción en masa que requiere operadores calificados, materiales y equipos relativamente costosos.(Shokrani et al., 2020)

El tiempo de producción para los diseños de face shield mediante tecnología FDM pueden variar de 3.5 a 9.5 horas, dependiendo del tamaño del diseño original y/o modificaciones y su costo mínimo puede ser de \$7.30 cuando se ha producido más de 200 unidades.(Amin & Nguyen, 2020)

## Justificación

La pandemia COVID-19 ha resultado en una importante escasez de Equipos de protección personal (EPP) en todo el mundo. Profesionales y proveedores de fabricación aditiva, fabricantes y diseñadores en la comunidad de impresión tridimensional (3D) han publicado diseños gratuitos de impresoras 3D relacionadas con COVID-19 en sus sitios web. La mayoría oral y maxilofacial. (Amin & Nguyen, 2020)

La escases de equipos de protección personal a raíz de la baja en tasas de producción y cadenas de suministro por el estado de cuarentena mundial, ha sido particularmente visible en la obtención de protectores faciales y más frecuente en países occidentales que confiaban en las cadenas de suministro mundiales debido a su bajo costo.(Amin & Nguyen, 2020)

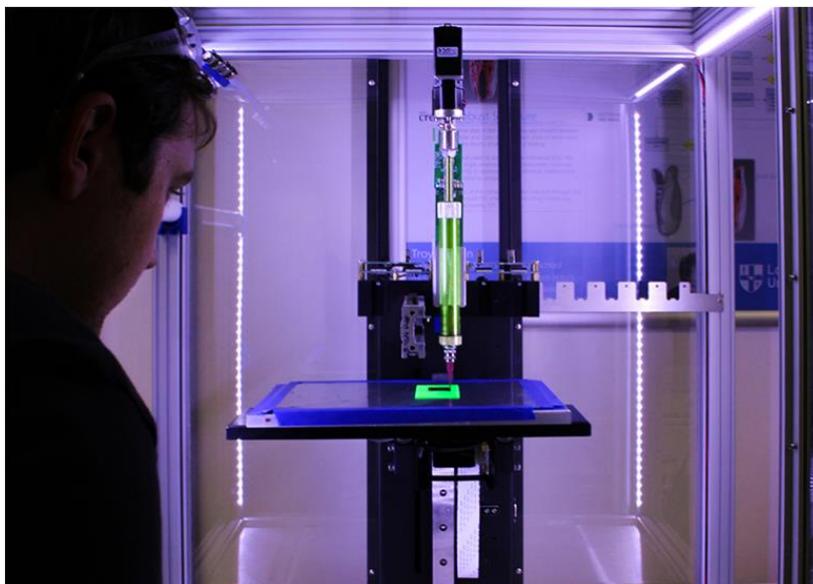
La iniciativa #HackingCovid19ec se implementó en Quito la capital del Ecuador y ahora se desarrolla en ciudades como Machala, Guayaquil, Ibarra entre otras con la finalidad de hacer uso de impresoras 3d de tecnología FDM o cortadores laser en la elaboración de artefactos de protección tipo barrera como son los protectores faciales para personal médico como se muestra en la figura 6. (José Luis Rosales)



*Figura 6.* Personal de salud usando un protector facial impreso en 3d

Fuente: (José Luis Rosales)

En el Ecuador un grupo de 20 jóvenes lojanos trabajan en un proyecto que tiene por objetivo la creación de implementos médicos como escudos faciales, haciendo uso de tecnología de impresión 3d como se muestra en la figura 7. (nmas1 ORG, 2020)



*Figura 7. Proceso de impresión 3d*

Fuente: (nmas1 ORG, 2020)

El uso de impresoras 3d se ha incrementado en el país y se ha replicado alrededor del Ecuador, sin embargo, la producción de equipos de protección personal resulta deficiente frente a la evidente demanda y sus costos de producción aún son elevados.

En vista de ello, el objetivo principal del presente estudio es: Diseñar un molde de inyección de plástico para ser manufacturado en madera mediante la simulación de Manufactura Asistido por Computadora en fresado para la fabricación de equipos de protección personal que evite la propagación de enfermedades infectocontagiosas.

Con la finalidad de alcanzar el objetivo principal, los objetivos específicos planteados son:

1. Determinar los parámetros de corte de una madera del Ecuador a través de la revisión de estudios previos para la fabricación de un molde de inyección de plástico.

2. Determinar un modelo de protector facial viable de protector mediante prototipado rápido para la producción en serie por procesos de inyección de plástico.
3. Establecer los puntos de inyección de plástico haciendo uso de un software de simulación para el diseño y fabricación de un molde en madera.
4. Generar el código G haciendo uso de un software CAD – CAM para la fabricación del núcleo y cavidad del molde de inyección de plástico.
5. Validar el correcto llenado del molde, con resina epóxica mediante el uso de un prototipo en impresión FDM, determinando las mejoras en el diseño del molde.
6. Comparar el costo y tiempo de producción de los protectores faciales frente a la producción con impresoras 3d, haciendo un análisis de costos para reemplazar el método actual de fabricación (manufactura aditiva).

## **Hipótesis**

A partir de un molde de inyección de plástico fabricado en madera y simulando su fabricación a través de herramientas de Manufactura Asistida por Computadora, es posible reducir el costo de producción e incrementar el número de protectores faciales producidos por hora, en comparación con la fabricación a través de Manufactura aditiva para ser usados en el Ecuador.

## **Estado del arte.**

### **Normativa para los protectores faciales.**

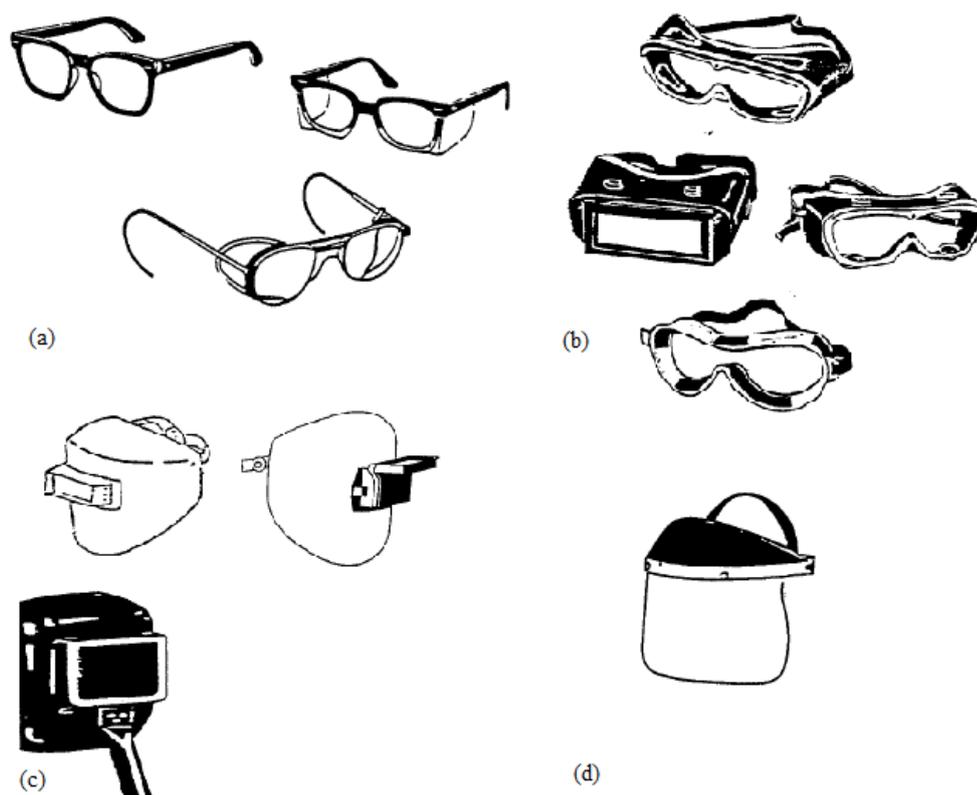
De acuerdo con la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad y su Reglamento General, y lo indicado en la Resolución No. 16 323, la norma técnica que indica los requisitos de desempeño para los protectores fáciles y de ojos es el REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 216 (1R) “PROTECTORES INDIVIDUALES DE CARA Y DE OJOS.” El mismo indica que todos los protectores faciales y de ojos deben cumplir, según sea el caso, lo indicado en los reglamentos ISO 4849 e ISO 4856 vigentes o en la norma EN 166, o EN 175, o EN 1731, o ANSI/ISEA Z87.1 vigentes, o sus equivalentes. (Resolución No. 16 323, 2016)

### **Normas para modelos de protectores faciales.**

#### *Norma ANSI/ISEA Z87.1*

Los protectores faciales son equipos de protección personal cuya función es cuidar al usuario frente a objetos voladores, líquidos peligrosos o radiación óptica que podría deteriorar negativamente los ojos o cara del usuario. (American Society of Safety Engineers, 2003)

De acuerdo con la norma ANSI/ISEA Z87.1 (2003), los protectores fáciles se clasifican en: gafas (ver figura 8a), gafas de protección, (ver figura 8b) cascos de soldadura (ver figura 8c), respiradores y protectores faciales (ver figura 8d) y deben cumplir con los siguientes indicadores:



*Figura 8. Diversos tipos de protectores oculares*  
 (a) Gafas (b) Gafas de protección (c) Cascos de soldadura (d) Protectores faciales.  
 Fuente: (American Society of Safety Engineers, 2003)

- Los protectores faciales no deberán contener estrías, burbujas, ondas y otros defectos visibles que podrían afectar su calidad óptica.
- Cuando se prueba de acuerdo con la Sección 9. 2, las secciones transparentes tendrán una transmisión luminosa de no menos del 85%.
- Los protectores deberán estar libres de proyecciones, bordes afilados u otros defectos que puedan causar molestias o lesiones durante el uso.
- Los marcos diseñados para cabezas pequeñas deben ser probado en la cabeza PD de 54 mm y se les permite tener un tamaño de ojo tan pequeño como 34 x 28 mm.
- Todas las partes que puedan ser reemplazables o removibles se suministrarán con especificaciones en el diseño del bisel del lente requerido, técnica de montaje y tamaño nominal de lente requerido para cumplir con ANSI / ISEA Z87.1-2001.

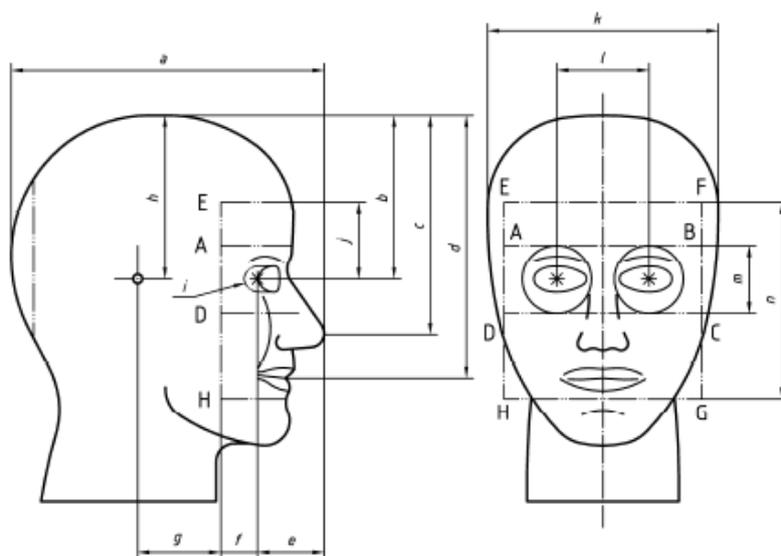
En las pruebas, los protectores deberán montarse una de las dos formas de cabeza del tipo definido por EN 168: 2001, Sección 17.

La forma de la cabeza mediana se aproxima a un 50° percentil hombre adulto. La forma de la cabeza pequeña se aproxima a un 60° percentil niño de 12 años. Las dimensiones nominales se muestran en la Figura 9.

Cuando se hace referencia en la norma a una forma de cabeza especificada, el tamaño de la forma de cabeza (mediana o pequeña) que se utilizará será el apropiado para el protector ocular que se evaluará. A menos que el fabricante del protector de ojos especifique lo contrario, la forma de la cabeza de tamaño mediano será usado.

Todas las pruebas en el protector ocular se realizarán utilizando solo el tamaño de la forma de cabeza seleccionada.

La cabeza es un núcleo interno cubierto por una capa de dureza de poliuretano de 12 mm de espesor nominal ( $50 \pm 5$ ) IRHD. Se pueden usar otras formas de cabeza si se sabe o se demuestra que dan resultados equivalentes.



*Figura 9.* Dimensiones antropométricas de un P50

Fuente: (AEN/CTN 81 Prevención y Medios de Protección Personal y Colectiva en el Trabajo, 2001)

Tabla 1  
*Forma de cabeza de referencia.*

Dimensión	Valor	
	Tamaño de cabeza media	Tamaño de cabeza pequeña
a	218 mm	205 mm
b	111 mm	110 mm
c	144 mm	131 mm
d	178 mm	166 mm
e	45 mm	42 mm
f	18 mm	18 mm
g	60 mm	53 mm
h	111 mm	110 mm
radius i	10 mm	10 mm
j	58 mm	48 mm
k	156 mm	146 mm
l	64 mm	54 mm
m	52 mm	48 mm
n	134 mm	118 mm

Fuente: (AEN/CTN 81 Prevención y Medios de Protección Personal y Colectiva en el Trabajo, 2001)

### *Norma EN 166*

Además de los ya mencionados parámetros de diseño de la norma ANSI/ISEA Z87.1 (2003), la norma EN 166 (2001) también hace referencia a los siguientes requisitos de diseño y fabricación para los protectores faciales:

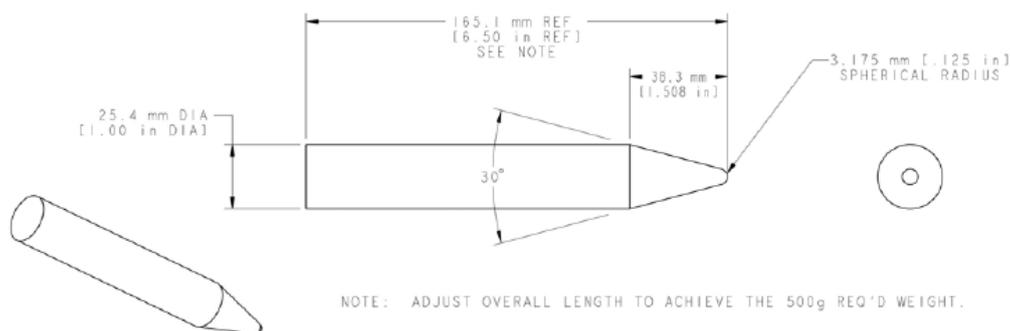
- El equipo debe estar exento de protuberancias, aristas vivas o cualquier defecto que pueda provocar incomodidad o heridas durante su uso.
- Ninguna parte de los protectores que esté en contacto directo con el usuario debe estar fabricada con materiales que pueda provocar irritaciones en la piel.
- Las bandas de cabeza, en el caso de que sirvan como principal elemento de sujeción, deben tener, como mínimo, 10 mm de ancho en cualquier parte que entre en contacto con la cabeza del usuario. Las bandas de cabeza deben ser ajustables o autoajustables.
- Para los sin acción filtrante destinados únicamente a la protección de los ojos ante riesgos mecánicos o químicos deben tener una transmisión luminosa superior al 74,4%, cuando se determina conforme a las indicaciones del capítulo 6 de la Norma EN 167: 2001.
- La difusión de la luz debe medirse siguiendo uno de los métodos de referencia especificados en el capítulo 4 de la Norma EN 167: 2001, donde la magnitud del máximo factor de luminancia reducido debe ser  $0,50(\text{cd})/(\text{m}^2 \cdot \text{Iz})$ .
- Salvo para una banda marginal de 5 mm de ancho, el equipo debe carecer de cualquier defecto significativo que pueda alterar la visión durante su uso, tal como burbujas, rayaduras, inclusiones, manchas, picaduras, marcas del molde, hebras, rugosidades, descascarillados, hendiduras y ondulaciones.
- El campo de visión de los oculares de las pantallas faciales una vez acoplados en el armazón tiene en la línea central una dimensión en sentido vertical de 150 mm como mínimo.
- Las pantallas faciales cubren el rectángulo de la región ocular de la cabeza artificial tal y como se indica en el apartado 10.2 de la Norma EN 168: 2001.

Otros autores, respecto a la conformación física del protector, sugieren:

- El protector facial debe cubrir la cabeza desde la corona hasta la barbilla y rodear la cara hasta el inicio de las orejas, impidiendo que salpicaduras o líquidos puedan rodear el borde del protector y llegar a los ojos. (U.S. Department of Health and Human Services (USDHHS) & Division of Healthcare Quality Promotion(DHQP), 2004)
- El número de piezas que conformen el protector debe ser el mínimo posible, intentando aplicar el diseño más simple admisible y empleando materiales de bajo costo y fáciles de conseguir. (Kalyaev et al., 2020)

**Otros requerimientos:**

- Los protectores faciales no deben someterse a pruebas de poder refractivo, astigmatismo y resolución.
- El visor debe soportar, para la solidez mínima, el impacto de una bola de acero de 22 mm a 25,4 mm de diámetro nominal al dejarla caer desde una altura de 127 cm sobre un punto colineal con uno de los ojos de la cara. Cuatro impactos deben ser probados en la parte frontal, dos en el ojo izquierdo y dos en el ojo derecho, y más impactos pueden realizarse en las protecciones laterales. Puede aplicarse el procedimiento del capítulo 4 de la normal EN 168:2001. Tras la prueba, el protector no debe presentar fracturas ni deformaciones.
- Para la prueba de impacto de alta masa, el misil de impacto (figura 10) debe ser de acero y tener un peso mínimo de 500 g. Este misil se deja caer a través de un tubo guía desde una altura de 1270 mm. El procedimiento se especifica en el capítulo 3.2 de la norma EN 168:2001.



*Figura 10.* Misil de impacto de alta masa.

Fuente: (American Society of Safety Engineers, 2003)

Los protectores han de soportar sin deformaciones los ensayos a altas temperaturas descritos en el capítulo 5 de la norma EN 168:2001. El procedimiento incluye presionar, con una fuerza de contacto igual al peso de la barra, una cara plana de una varilla de acero de  $300 \pm 3$  mm de longitud calentada a  $650 \pm 20$  °C durante un tiempo de 0,5 s.

Para la protección contra partículas que impactan a gran velocidad (ver tabla 2) contra el protector frontal y las protecciones laterales, se utiliza una bola de acero de 6 mm de diámetro de masa de 0,86 g. La distancia entre la bola de prueba y el protector facial debe ser de 25 cm. Las especificaciones se indican en el capítulo 9 de la norma EN 168:2001.

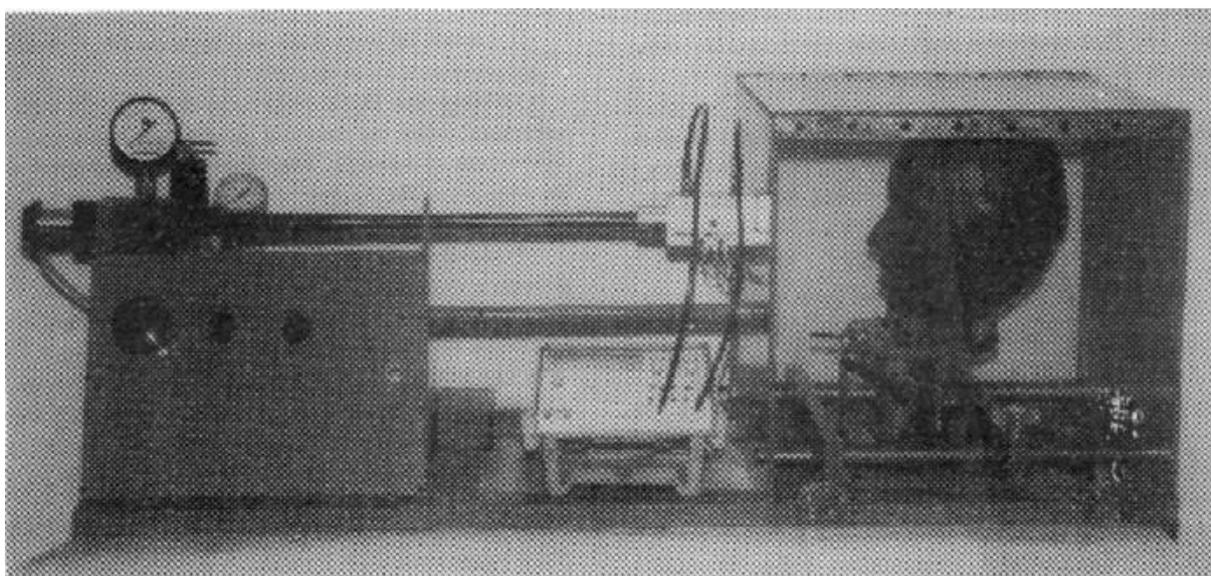
Tabla 2

*Requisitos relativos a la protección contra partículas a gran velocidad*

Tipo de protector	Velocidad de impacto de la bola		
	Impacto de baja energía	Impacto de media energía	Impacto de alta energía
ocular	$45_{-0}^{+1,5}$ m/s	$120_{-0}^{+3}$ m/s	$190_{-0}^{+5}$ m/s
Gafas de montura universal	+	No aplicables	No aplicable

Gafas de montura integral	+	+	No aplicable
Pantallas faciales	+	+	+

Fuente: (AEN/CTN 81 Prevención y Medios de Protección Personal y Colectiva en el Trabajo, 2001)



*Figura 11.* Aparato de prueba para impacto de prueba de alta velocidad.

Fuente: (American Society of Safety Engineers, 2003)

El equipo de protección diseñado para proteger contra salpicaduras de líquidos se pone a prueba conforme a lo establecido en el capítulo 12 de la norma EN 168:2001. Los resultados deben mostrar que no hay coloración rosa o roja en las zonas oculares de acuerdo con la línea central de 150 mm del campo de visión.

Para poder considerar a los protectores resistentes al empañamiento, no han de presentar este por un tiempo mínimo de 8 s al ponerlos a prueba de acuerdo con el capítulo 16 de la norma EN 168:2001.

En lo referente al marcado, este debe ser claro y permanente, visible cuando el protector esté completamente ensamblado y no debe evadir ni entorpecer el campo mínimo de visión definido anteriormente. El marcado debe realizarse por separado sobre la visera y el visor.

El marcado del visor debe incluir la información técnica más relevante sobre: clase de protección (ver tabla 3), identificación del fabricante, clase óptica (ver tabla 4), solidez mecánica (ver tabla 5), resistencia al empañamiento (marcado con la letra N) y resistencia al deterioro superficial (marcado con la letra K). Adicionalmente puede incluir indicaciones para el correcto ensamblaje con el visor.

Tabla 3  
*Clases de protección de filtros*

Código numérico	Leyenda de los códigos numéricos
2	Filtro ultravioleta, puede alterar el reconocimiento de los colores
3	Filtro ultravioleta que permite buen reconocimiento del color
4	Filtro infrarrojo
5	Filtro solar sin especificación para el infrarrojo
6	Filtro solar con especificación para el infrarrojo

Fuente: (AEN/CTN 81 Prevención y Medios de Protección Personal y Colectiva en el Trabajo, 2001)

Tabla 4  
*Clases de óptica*

Clase óptica	Potencia	Potencia	Diferencia de potencias refractiva		
	refractiva	refractiva	prismáticas		
	esférica	astigmática	cm/m		
	$m^{-1}$	$m^{-1}$	Horizontal		Vertical
			Base externa	Base interna	
1	0,06	0,06	0,75	0,25	0,25
2	0,12	0,12	1,00	0,25	0,25
3	+0,12	0,25	1,00	0,25	0,25
	-0,25				

Fuente: (AEN/CTN 81 Prevención y Medios de Protección Personal y Colectiva en el Trabajo, 2001)

Tabla 5  
*Símbolos de identificación de la resistencia mecánica*

Símbolo	Requisito relativo a la resistencia mecánica
Sin símbolo	Solidez mínima
S	Solidez incrementada
F	Impacto a baja energía
B	Impacto a media energía
A	Impacto a alta energía

Fuente: (AEN/CTN 81 Prevención y Medios de Protección Personal y Colectiva en el Trabajo, 2001)

Para el marcado de la visera se incluye información sobre: identificación del fabricante, número de la norma (al menos los dígitos 166), campos de aplicación (ver tabla 6), solidez

mecánica (ver tabla 5) e indicación si el tipo de cabeza prevista es pequeña (marcado con la letra H).

Tabla 6  
*Símbolos de los campos de uso*

Símbolo	Designación
Sin símbolo	Uso básico
3	Líquidos
4	Partículas de polvo gruesas
5	Gas y partículas de polvo finas
8	Arco eléctrico de cortocircuito
9	Metal fundido y solidos candentes

Fuente: (AEN/CTN 81 Prevención y Medios de Protección Personal y Colectiva en el Trabajo, 2001)

El fabricante de los protectores faciales debe proveer al menos la siguiente información: nombre y dirección del fabricante, número de la norma, identificación del modelo del protector, instrucción para el uso, mantenimiento y almacenamiento, instrucciones para la limpieza y desinfección, campos de uso, nivel de protección y prestaciones, detalles sobre los accesorios, piezas de recambio y montaje, tiempo de uso límite (si procede), significado sobre el marcado de la visera y el visor, advertencia sobre posibles casos de alergias en usuarios sensibles al contacto con la piel, advertencias sobre el uso de visores rayados o en mal estado.

### **Diseños de protectores faciales impresos en 3d**

Stratasys, Prusa y 3d Systems coinciden en que los modelos de protectores faciales deben estar realizados con materiales accesibles, deben cumplir los requerimientos mínimos de la normativo EN 166. El visor debe adherirse a la visera fácilmente y para ello se debe poder

fabricar a partir de una lámina de plástico transparente y una perforadora estándar de 3 agujeros.

Las características principales de sus diseños se resumen en la tabla 7.

Tabla 7  
*Características de varios modelos de protectores faciales*

Modelo	Visor	Visera	Sujeción del visor	Sujeción a la cabeza
Stratasys	Lámina transparente	Impreso en PLA	Agujeros con perforadora de 3 orificios estándar	banda elástica #33
Prusa	Lámina transparente	Impreso en PLA	Agujeros con perforadora de 6 orificios estándar	Elástico
3d system	Lámina de policarbonato	Impresión SLS o SLA	Agujeros con perforadora de 3 orificios estándar	Banda elástica

Debido a la necesidad de los centros médicos de usar los protectores faciales de forma permanente, los investigadores desarrollan un diseño para bajar el peso, mejorar la comodidad de uso y aumentar la eficacia de producción de los equipos. De esta forma, el diseño final llega a tener un peso total de  $36 \pm 3$  g con un grosor de 0,3 mm para condiciones generales y 56,3 g con un grosor de 0,5 mm para condiciones que requieren mayor protección. (Kalyaev et al., 2020)

Los materiales para el visor comúnmente empleados, dependiendo de las necesidades, son: acetato para obtener claridad, PETG para aplicaciones económicas y policarbonato siendo el más común de todos. (Roberge, 2016)

Al utilizar el software CES Edu Pack 2019 y, establecer las condiciones de diseño, seleccionar los atributos del material, clasificar los materiales por índices de rendimiento y finalmente, elegir un material de acuerdo con la experiencia y pruebas, se encuentra que: (Kalyaev et al., 2020)

Condiciones de diseño: un panel que resiste la flexión con leves distorsiones, que no se altere por su propio peso, transparente, que no sea frágil ni tóxico para el contacto humano y minimice la masa y el costo, los atributos del material son que se pueda adaptar a un proceso de conformación, las características se resumen en la tabla 8.

Tabla 8  
*Características para seleccionar el material del visor.*

Condición de diseño	Detalle
Resistente a la flexión	Leves distorsiones
Transparencia	Óptica de alta calidad
Mecánica	No sea frágil.
Contacto con el cuerpo humano	No tóxico
Costo	Mínimo
Masa	Mínimo

Fuente: (Kalyaev et al., 2020)

Experiencia y prueba: los materiales que llegan hasta este punto bajo las características de diseño son SMMA, PET, SAN y PS, por lo que la elección final se realiza de acuerdo con la disponibilidad de los materiales en los proveedores locales y la facilidad con la que estos materiales pueden ser trabajados con las herramientas y equipo a disposición. (Kalyaev et al., 2020)

Finalmente, el material seleccionado por los investigadores es el PET, ya que además de cumplir con los criterios expuestos (ver tabla 8), presenta el beneficio adicional de calidad óptica para espesores de 0,3 a 0,5 mm. (Kalyaev et al., 2020)

## Implementación de un molde de inyección.

Los plásticos son materiales de procedencia sintética basados químicamente en el carbono, con propiedades físicas y químicas que les permiten cambiar de forma a través de la presión o el calor (figura 12). (P. M. Hernández et al., 2015)

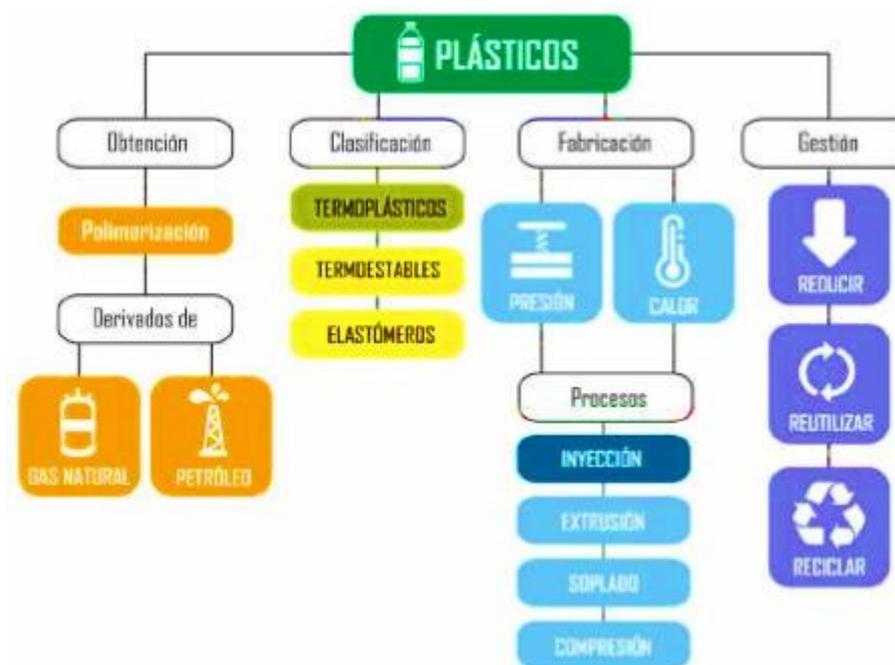


Figura 12. Características principales de los plásticos.

Fuente: (P. M. Hernández et al., 2015)

### *Materiales de inyección plástica*

En amplios rasgos, los plásticos se pueden clasificar en: elastómeros, termoplásticos y termoestables (figura 12). (Ysacura et al., 2009)

**Termoplásticos:** a nivel industrial son los más utilizados gracias a sus propiedades de fundición ante el calor y endurecimiento cuando se enfrían, permitiéndoles ser reutilizables y fáciles de transformar. (Fombuena Borrás et al., 2016)

**Termoestables:** son resistentes, rígidos y frágiles, preservan buenas propiedades a medianas y altas temperaturas, no se funden con el calor por lo que no son reciclables. (Fombuena Borrás et al., 2016)

Elastómeros: presentan buenas características elásticas, buena resistencia al desgaste y desgarro, estabilidad térmica, aunque no son reciclables. (Fombuena Borrás et al., 2016)

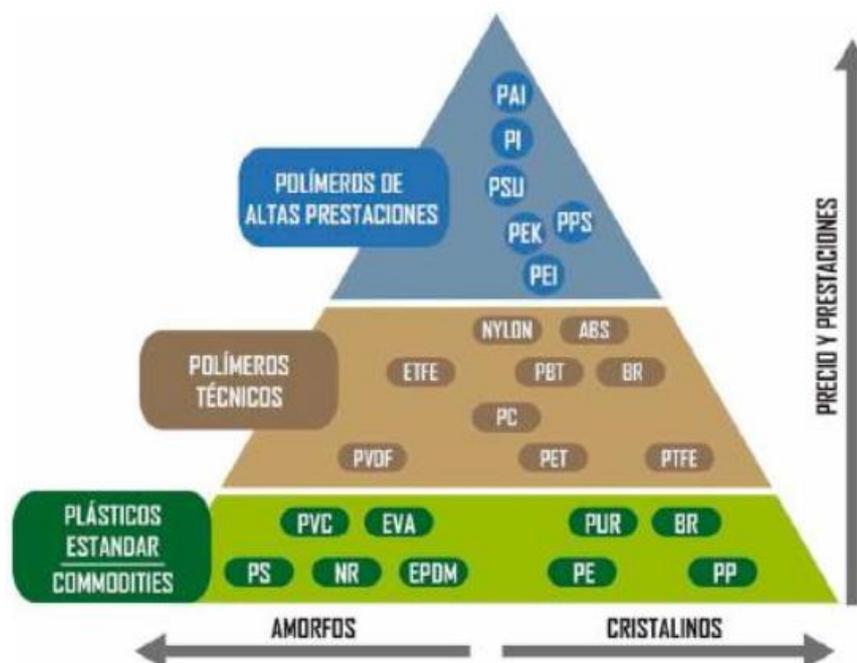


Figura 13. Clasificación de los polímeros

Fuente: (P. M. Hernández et al., 2015)

### *Proceso de inyección*

Entre los métodos para el procesamiento de los plásticos encontramos: moldeo por prensa, moldeo por prensado en inyección, inyección, soplado de cuerpos huecos, termo formado, calandrado, extrusión y fundición. (Montalvo Soberón, 2007)

En el moldeo por inyección de plásticos, el material en polvo o granulado se coloca en la tolva que provee a un cilindro de caldeo donde el polímero se funde hasta el estado líquido (ver figura 14). Un tornillo sin fin actúa como émbolo con la finalidad de proveer la presión para el llenado del molde. Una vez llenado el molde, este es enfriado haciendo uso de algún refrigerante como aire o agua. Finalmente, la pieza es extraída del molde por una unidad de expulsión (ver figura 15). (Montalvo Soberón, 2007)

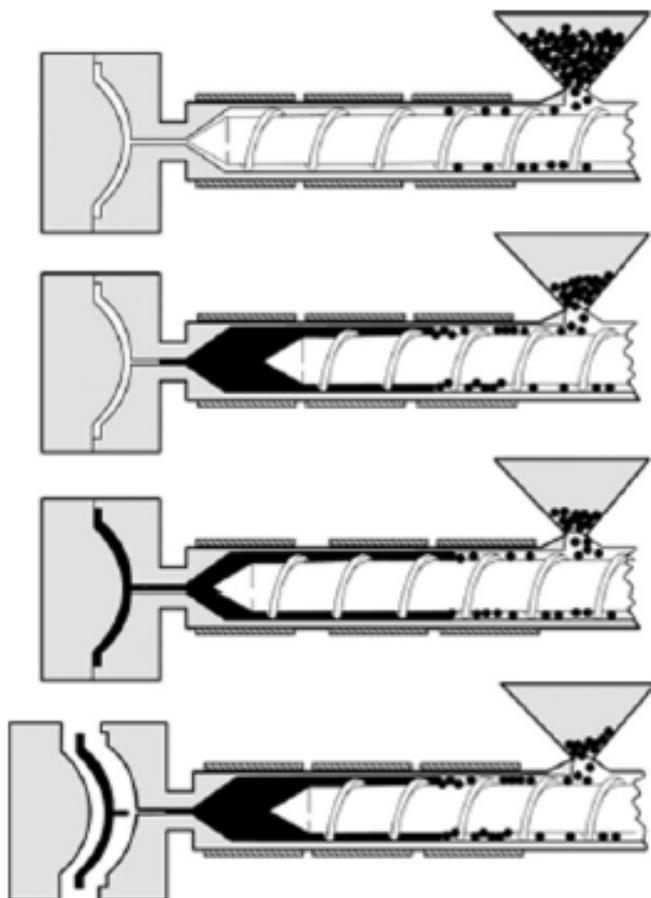


Figura 14. Principales etapas del moldeo por inyección

Fuente: (Elsheikhi & Benyounis, 2017)



Figura 15. Unidades de una máquina de inyección por moldeo.

Fuente: (P. M. Hernández et al., 2015)

### *Parámetros clave para el proceso de inyección*

De acuerdo con lo que nos indica Lerma Valero (2020), algunos parámetros clave son:

**Velocidad de inyección:** es la velocidad más importante durante el proceso de inyección, debe ser lo más rápida y estable posible de forma que la presión de inyección también se mantenga constante.

**Velocidad de llenado:** debe ser lo más rápido posible, evitando velocidades muy altas que causen sobrecalentamientos, pérdida de propiedades y deformaciones y, velocidades muy pequeñas que provoquen que el material se enfríe demasiado pronto. Esta velocidad está condicionada por el material, el diseño de la pieza y el diseño del molde.

**Temperatura de fusión:** debe ser un valor dentro del rango establecido por el fabricante del polímero en uso (ver tabla 9). Principalmente depende de la velocidad de giro del tornillo sin fin, contrapresión y de la temperatura de la unidad inyectora.

Tabla 9  
*Temperaturas de fusión guía para algunos polímeros*

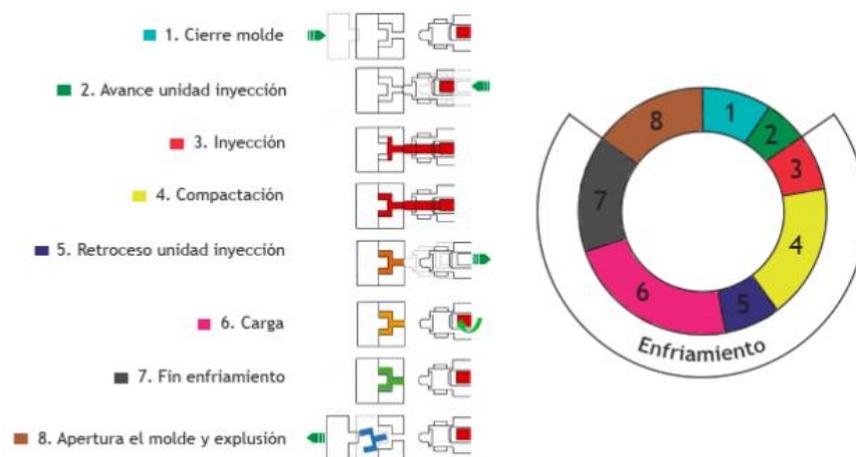
Material	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de eyección de parte (°C)	Material	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de eyección de parte (°C)
Amorfos			Semi-cristalinos		
PS	170-200	60	LDPE	190-200	80
SB	180-280	90	HDPE	210-300	110
SAN	200-260	110	PP	200-290	110
ABS	200-270	100	PA66	270-320	230
PPO	250-290	200	PA6	230-280	200

PVC	170-210	50	PA6 10	230-280	200
rígido					
PVC	140-200	60	PA 11	200-250	170
flexible					
PMMA	180-260	140	PA 12	200-260	160
PC	280-320	140	POM	190-220	150
			PET	260-280	210
			PBT	240-260	200

Fuente: (Lerma Valero, 2020a)

Presión de inyección: debe ser la suficiente como para lograr alcanzar la velocidad de inyección y tiempo de llenado necesario. Se ve influenciada por la resistencia a la fluencia del polímero, velocidad de llenado, temperatura del material y del molde.

Temperatura del molde: determina el tiempo del ciclo de inyección (figura 16) y la calidad de la estructura de la pieza resultante, de forma que incrementando la temperatura del molde (ver tabla 11) podemos lograr que el acabado del producto sea brillante, resistente y con un mejor acabado. Dependiendo del material con el que se trabaja se puede enfriar con agua, controlar temperaturas entre 140 a 150 °C con agua a presión, utilizar aceite para temperaturas mayores a 150°C o emplear calefactores para temperatura muy altas.



*Figura 16.* Ciclo de inyección.  
Fuente: (P. M. Hernández et al., 2015)

Tabla 10  
*Temperatura de molde recomendada para algunos polímeros*

Amorfos	Temperatura de molde (°C)	Semi-cristalinos	Temperatura de molde (°C)
PS	20-80	LDPE	20-60
SB	10-60	HDPE	20-60
SAN	40-80	PA6	80-90
ABS	60-80	PA66	80-90
PVC	80-90	PA610	40-90
CA	50-80	PA 12	40-80
CAB	50-80	POM	40-120
PMMA	40-80	PAT	90-160
PC	80-120	PBT	40-100
PPO	80-120	PPS	130-150
PA	70-100		

Fuente: (Lerma Valero, 2020a)

Volumen de inyección: de forma experimental se ha encontrado que la cantidad óptima está entre 1 a 3 veces el diámetro del tornillo. El volumen para un proceso de inyección debe estar alrededor del 70 % al 80 % del máximo de la capacidad y no menos del 10 % al 20 %

### *Casos de estudio*

Se hace uso de tecnologías CAD, CAM y CAE con el objetivo de aumentar la calidad del proceso de moldeo por inyección de una manija de asiento para autos. Los parámetros para el proceso de inyección (ver tabla 11) para el material ABS grado 633 (ver tabla 12) se obtienen mediante el software Moldex 3D. Los resultados de las simulaciones muestran que, tras varias pruebas con diferentes parámetros, los datos proporcionados por el software permiten disminuir el número de imperfecciones en la pieza final al mínimo. (Jayswal et al., 2019)

Tabla 11  
*Parámetros para el moldeo por inyección*

Parámetros	Descripción
Polímero	ABS grado 633
Grado de flujo	Flujo alto
Temperatura de fusión (mínima)	220 °C
Temperatura de fusión (normal)	240 °C
Temperatura de fusión (máxima)	260 °C
Temperatura del molde (mínima)	40 °C
Temperatura del molde (normal)	60 °C
Temperatura del molde (máxima)	80 °C
Temperatura de expulsión	85 °C
Temperatura de enfriamiento	115 °C
Tolerancia de contracción	1,006 %

Fuente: (Jayswal et al., 2019)

Tabla 12  
*Propiedades del ABS grado 633*

Propiedad	Descripción
Densidad	1,05 gm/cc
Contracción lineal de molde	0,004-0,006 cm/cm
Contracción de molde de fusión	4,5 gm/ 10 min
Relación de Poisson	0,39
Conductividad térmica	0,2 W/°C
Mantener la presión	50-75 % de la presión de inyección
Velocidad de inyección	Alta

Fuente: (Jayswal et al., 2019)

Se usa el sistema Pro/ENGINEER, y en concreto los módulos de diseño de moldes de inyección mediante modelado CAD / CAE y un módulo de simulación numérica los cuales, basados en las dimensiones, forma, material, entre otros datos de entrada, permite determinar los parámetros necesarios para el diseño del molde (ver tabla 14), inyección y desmoldeo para el caso de estudio (figura 17), minimizando los errores gracias al uso de inteligencia artificial. (Matin et al., 2012)

Tabla 13  
*Datos de salida del módulo de simulación numérica del proceso de moldeo por inyección*

	ABS 780
Grado y proveedor del material	Kumbo Chemicals INC.
Presión de inyección máxima	100 MPa
Temperatura del molde	60 °C ili 40
Temperatura de fusión	230 °C
Tiempo de inyección	0,39 s 0,2 s
Presión de inyección	27,93 MPa

---

Temperatura de expulsión recomendada	79 °C
Módulo de elasticidad, dirección de flujo para ABS 780	2.600 MPa
Módulo de elasticidad, dirección transversal para ABS 780	2.600 MPa
Relación de veneno en todas las direcciones para ABS 780	0,38
Módulo de corte para ABS 780	942 MPa
Densidad en estado líquido	0,94032 g/cm <sup>3</sup>
Densidad en estado sólido	1,047 g/cm <sup>3</sup>

---

Fuente: (Matin et al., 2012)

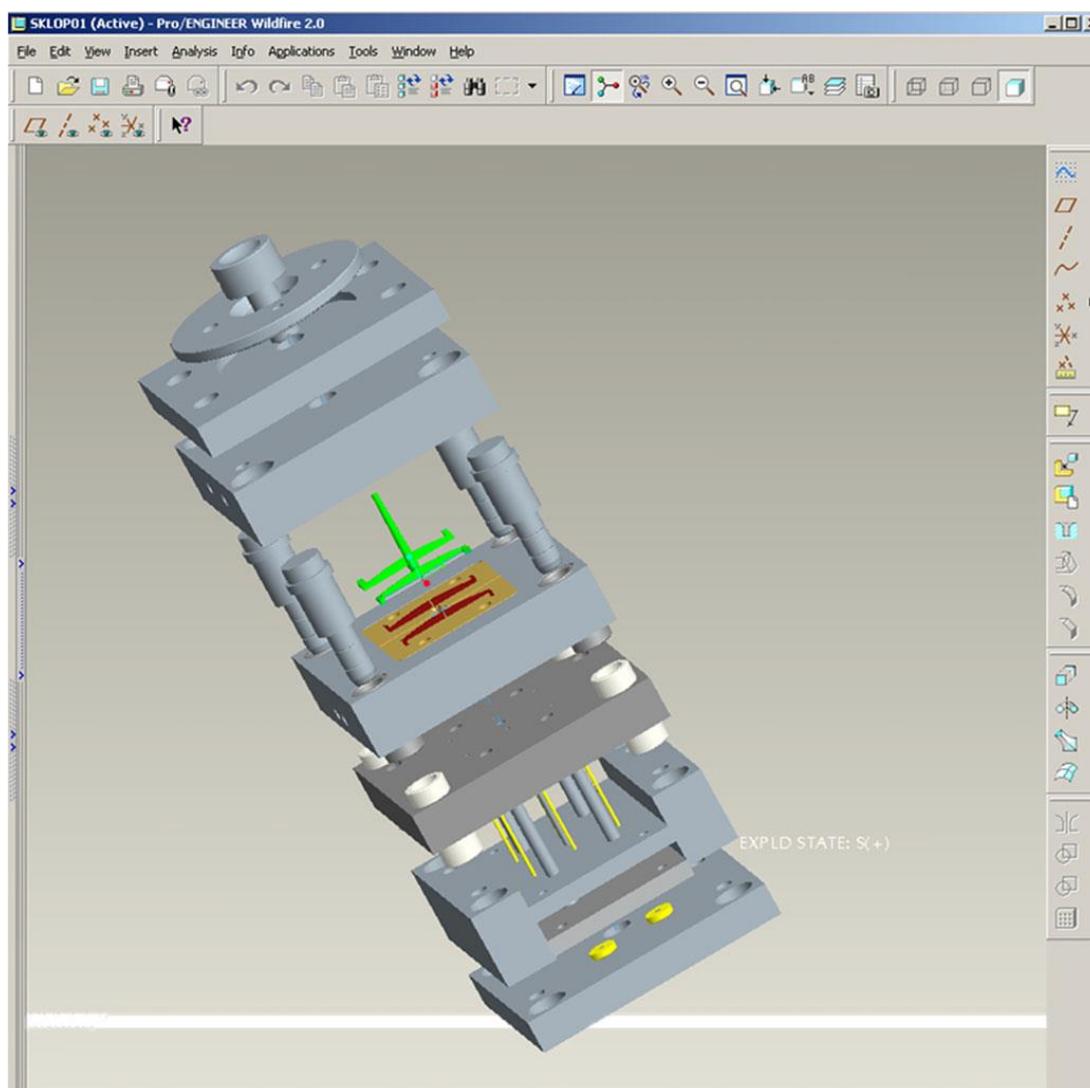


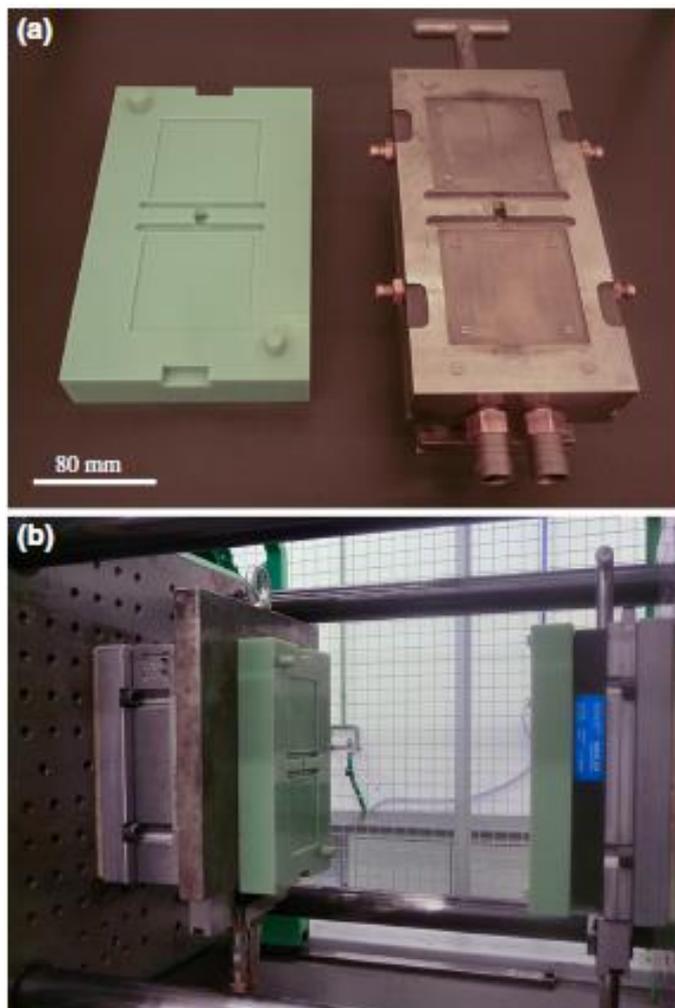
Figura 17. Modelo del ensamble del molde con modelo de simulación probado.

Fuente: (Matin et al., 2012)

El poliparafenileno había sido considerado un polímero difícil de usar para el proceso de moldeo de inyección, sin embargo, se demuestra que, al calentar el molde a una temperatura de 350 °C en 5 s, este termoplástico puede llenar una cavidad de 4 mm de espesor y 50 mm de largo demostrando que este material puede ser moldeado por inyección con altas velocidades de inyección en un molde que se caliente más allá de la temperatura de transición cristalina del plástico. El sistema de moldeo está hecho de cobre, aluminio y ciertos insertos de acero inoxidable 420. La tasa de inyección máxima es de 154 cm<sup>3</sup>/s con un tornillo de 28 mm de diámetro a una velocidad de inyección de 25 cm/s, la temperatura de inyección es de 370 °C. (Kimerling et al., 2009)

*Materiales alternativos para la fabricación de moldes de inyección de plástico.*

Se expone que haciendo uso de la tecnología de Prototipado Rápido PolyJet se crea un molde rápido a base de epoxi para inyección plástica de PLA tipo 3052D en pequeñas cantidades. Tras la impresión de 10 h, el molde se calienta hasta los 100 °C y se mantiene así durante 1 h. Se compara el desempeño del molde rápido con un molde de acero convencional (figura 18) y se estudian las características mecánicas y termo mecánicas de las piezas resultantes, encontrando que, a pesar de los resultados satisfactorios, el proceso de enfriado del PLA afecta la estructura cristalina. (Tábi et al., 2015)



*Figura 18.* Moldes de inyección de plástico  
 (a) Molde rápido y molde de acero (b) molde rápido montado en la máquina de inyección listo para producción.  
 Fuente: (Tábi et al., 2015)

Una placa de policarbonato es producida en moldes de aluminio QC-10 y acero NAK 80 (ver tabla 14) con la finalidad de comparar sus resultados tras 8 pruebas de cada molde (figura 19). Para los dos moldes, el ciclo de moldeo se da cada 30 s, la temperatura del refrigerante es de 100 °C y la temperatura de fusión del policarbonato es de alrededor de 290 °C. Se encuentra que el molde de aluminio tiene un tiempo de ciclo menor que el de acero y ofrece un resultado con menos imperfecciones. (Kim et al., 2012)

Tabla 14  
 Propiedades termofísicas de los materiales de los moldes

Material del molde	$C_p$ (J/KgK)	$k$ (W/mK)	( $\text{kg/m}^3$ )	Fabricante del molde
QC-10	884	160	2850	Alcoa (EE. UU.)
NAK 80	481	39,3	7800	Daido (Japón)

Fuente: (Kim et al., 2012; Matin et al., 2012)

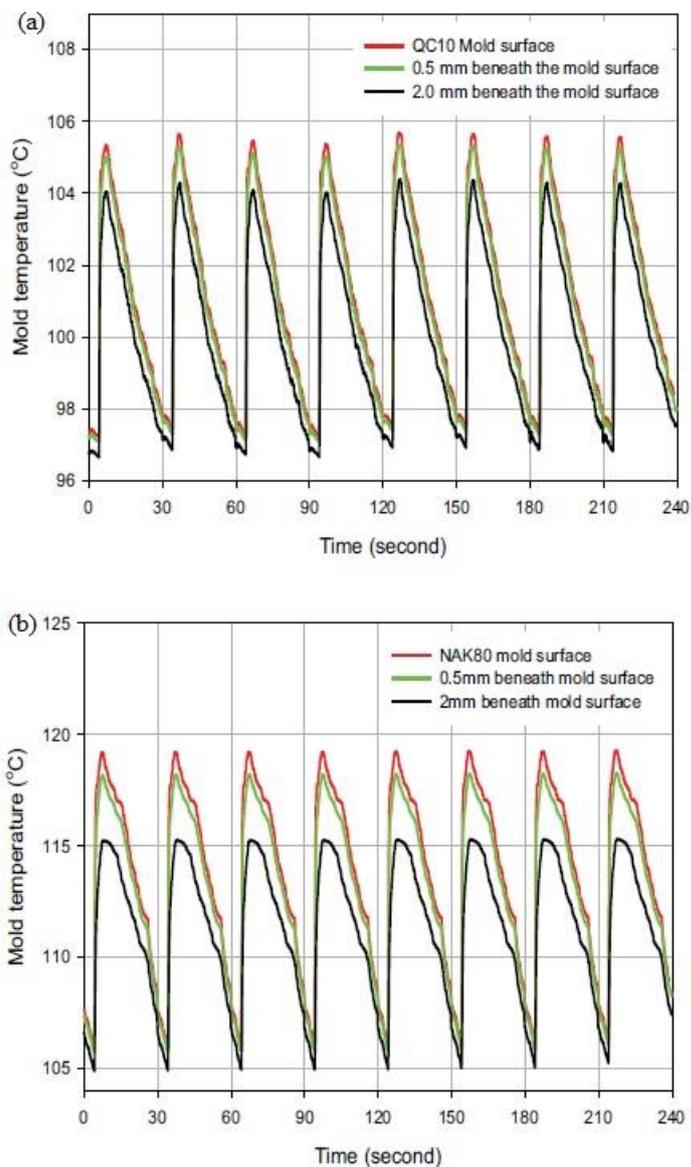


Figura 19. Resultados de temperatura en procesos de moldeo por inyección  
 (a) Resultados de las medidas de temperatura de QC-10 (b) resultados de las medidas de temperatura de NAK 80.

Fuente: (Kim et al., 2012)

## **Diseño de un molde de inyección de plástico**

### *Consideraciones iniciales*

Para un correcto diseño de un proceso de inyección es necesario contar con una mínima cantidad de información sobre (Lerma Valero, 2020b):

- **Material:** las recomendaciones para el proceso de inyección que brinda el proveedor de la materia prima y los datos técnicos del material (hoja de datos).
- **Pieza:** las tolerancias del diseño, una muestra que sirva como referencia, el peso, volumen y espesor que tendrá la pieza.
- **Molde:** un dibujo del molde (CAD), el sistema de refrigeración y todas las simulaciones posibles.
- **Máquina:** los datos técnicos de la máquina, el diámetro y tipo del tornillo, la relación de compresión de este, la fuerza de sujeción, el máximo volumen de inyección, la presión máxima de inyección y los equipos u otros accesorios con lo que cuenta la máquina.

“Se ha demostrado que el análisis CAE es la mejor forma de para analizar el comportamiento de los elementos finitos para el producto con poco tiempo y bajo costo”.(Saedon et al., 2020)

“El software de ingeniería asistida por computadora (CAE) se ha utilizado para la industria del plástico, la identificación de la geometría y densidad de malla sigue siendo un desafío, afectando a la precisión, el tiempo y costo de simulación”. (Marin et al., 2019)

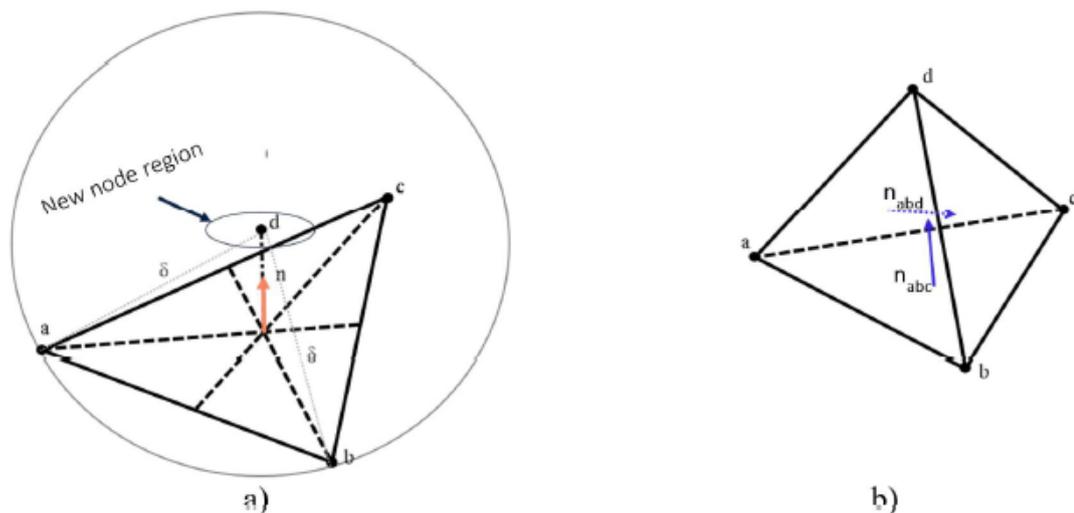


Figura 20. Tipos de elementos para simulación de elementos finitos.

(a) Representación del elemento equilátero y posibles ubicaciones para un nuevo nodo (b) elemento tetraédrico y vectores normales

Fuente: (Marin et al., 2019)

“El uso de una malla 2d de menor densidad puede conducir a una simulación de precisión más rápida dentro del molde mientras que una malla 3d de menor densidad proporcionar una simulación más rápida y precisa de la temperatura”. (Marin et al., 2019)

“Una malla con elementos 3d requiere de un tiempo más largo de simulación y podría presentar resultados más precisos, siendo preferible para piezas con variación de espesor o acumulación de masa”. (Marin et al., 2019)

“Los pasos involucrados en la solución FEM de cualquier problema son: finito discretización de elementos, ecuaciones de elementos, ensamblaje de ecuaciones de elementos, solución y convergencia con estimación de error”. (Morales et al., 2005)

“La simulación del proceso de moldeo por inyección requiere la verificación de viabilidad del diseño del molde y luego selección de las regiones efectivas en este diseño para estimar los resultados óptimos”. (Magid et al., 2018)

“El tipo de malla y la precisión de la malla es el factor principal que puede eliminar el desplazamiento de los nodos y la deformación conduciendo a resultados más fiables”.(Magid et al., 2018)

Para la malla tetraédrica 3d se observa una divergencia menor al 2% respecto a los resultados reales de temperatura obtenidos a través de sensores colocados en un molde de inyección, en tal caso se recomienda para un análisis CAE en inyección de plástico, se debe tomar en cuenta que la malla 3d tomará un tiempo de solución de hasta 6 veces en relación a una malla 2d. (Marin et al., 2019)

“La precisión y convergencia de la solución de FEM depende sobre las ecuaciones diferenciales, su forma integral y el elemento utilizado. La convergencia se refiere a la precisión obtenida como el número de elementos se incrementan en una malla.(Morales et al., 2005)

### *Los cálculos previos*

Algunos cálculos previos al diseño del molde, de acuerdo con Lerma (2020), son la presión de inyección puede estimarse según el material, el espesor y la ruta del flujo, además, de acuerdo con la literatura, se recomienda aumentar un 10% el resultado obtenido.

### THEORETICAL IN MOLD INJECTION PRESSURE GRAPH

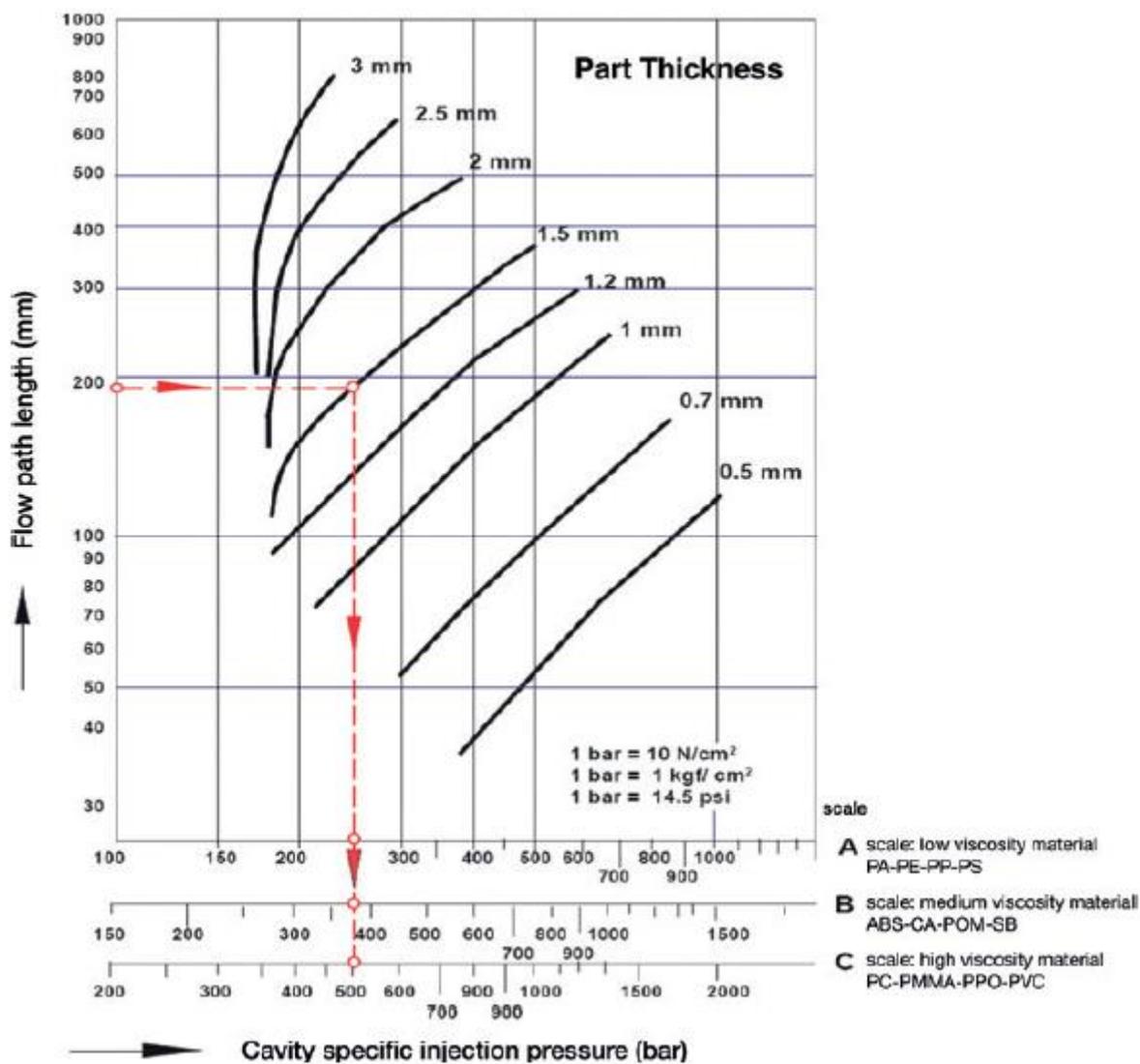


Figura 21. Presión de inyección teórica.  
(A: alta fluidez; B: fluidez media; C: baja fluidez.)  
Fuente: (Lerma Valero, 2020b)

La fuerza de sujeción necesaria ( $T_n$ ) depende de la presión de inyección medida en  $\text{kg/cm}^2$  y el área de inyección en  $\text{cm}^2$ .

$$T_n = \frac{\text{PRESIÓN DE INYECCIÓN} \cdot \text{ÁREA}}{1000} \quad (1)$$

La velocidad periférica máxima del torinillo está dada por el material y el diámetro del tornillo, de forma que:

$$MÁX \text{ rpm} = \frac{VELOCIDAD MÁXIMA(m/s) \cdot 60000}{2\pi r} \quad (2)$$

El tiempo de enfriamiento se relaciona con el material, el espesor de la pieza y si el molde estará caliente o frío.

$$T = E_2 \times K \quad (3)$$

Si la temperatura del molde está por encima de los 60 °C se le adiciona un 30% al tiempo de enfriamiento. La constante K depende del material, así por ejemplo para materiales semicristalinos (POM, PA, PBT), K tiene un valor de 0.4 a 0.6 ; para materiales amorfos (ABS, ASA, SAN), K tiene un valor de 1.2; para otros materiales amorfos y TPU K=2.5.

La dosis estimada de carrera (D) depende del diámetro del tornillo, el peso estimado de la pieza y la densidad del material en fusión. Adicional al cálculo, la literatura nos indica que la dosis ideal está entre 1 a 3 veces el diámetro del tornillo y el cojín entre el 5 y 10 % de la dosis.

$$D = \frac{\text{peso} \cdot 1273.2}{\text{dia. del torinillo}^2 \cdot \text{dens. de fusión}} + (\text{diá. del tornillo} \cdot 0.3) \quad (4)$$

El tiempo de residencia que se obtenga en el cálculo debe compararse con la tabla de tiempo de residencia máxima.

$$T. \text{ de residencia} = \frac{8 \cdot \text{diá. del tornillo}}{\text{Dosif. máx del tornillo}} \times (t. \text{ de ciclo}/60) \quad (5)$$

La relación entre la dosis y el diámetro depende de la carrera de dosificación y el diámetro del tornillo, de forma que la relación ideal está dada de 1 a 3 veces el diámetro del tornillo.

$$R = \frac{\text{tiempo de dosis}}{\text{diámetro del tornillo}} \quad (6)$$

El tiempo de enfriamiento  $t_c$ , que indica el tiempo que le toma a la pieza enfriarse desde la temperatura de fundición  $T_{melt}$ , está dado por (M.-L. Wang et al., 2018):

$$t_c = \frac{t^2}{\pi^2 \alpha} \ln \left( \frac{8}{\pi^2} \frac{T_{melt} - T_{mold}}{T_E - T_{mold}} \right) \quad (7)$$

Donde,  $T_{mold}$  es la temperatura del molde,  $t$  es el espesor de la pieza,  $T_E$  es la temperatura de expulsión y  $\alpha$  hace referencia a la difusividad del plástico.

Otro factor que se debe considerar es la relación entre la longitud de fluidez del polimero y el espesor de la pieza. De esta manera, una forma sencilla de comprobar si el diseño es correcto es empleando la siguiente ecuación:

$$\frac{L}{t} = \frac{\text{Longitud de llenado}}{\text{Espesor promedio de la pieza}} \quad (8)$$

Así si el resultado es menor que 100, la pieza puede ser sencilla de llenar; si la proporción está entre 100 y 200, la pieza puede ser relativamente fácil de moldear; si se supera el resultado de 200, las partes delgadas de la pieza serían difíciles de moldear y se debería reconsiderar el diseño de la misma; para resultados mayores a 300 se requiere de maquinaria y materiales especiales. En la tabla 15 se muestran los intervalos recomendados de la relación entre longitud de flujo y el espesor de la pieza para diferentes plásticos.

Tabla 15  
*Longitud máxima de flujo de plásticos fundidos*

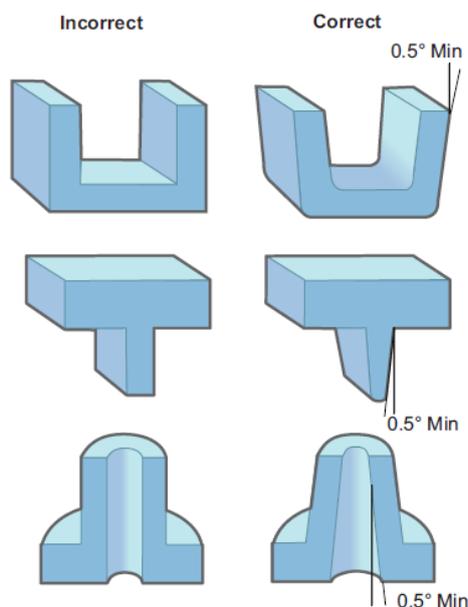
Material:	Radio de longitud de flujo a espesor de pared
ABS	100-200
ASA	180-230
HDPE	200-270
LDPE	200-300
PET	200-350
PP	230-340
PSU	60-120

Fuente: (M.-L. Wang et al., 2018)

“Un desafío actual en los materiales de moldes de inyección es la necesidad de resistir altas presiones de inyección ( $> 100$  bar) y temperaturas ( $150^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$ ) de los polímeros y aditivos”. (Zabala et al., 2019).

### *Consideraciones geométricas del modelo y molde.*

Los ángulos de salida reducen la fricción entre las piezas y los moldes en la apertura del molde. Cuanto mayor sea el ángulo menor es la resistencia encontrada durante el desmoldeo es así que las piezas deben tener un ángulo de  $0,5^{\circ}$  como mínimo como se muestra en la figura 22 . (M.-L. Wang et al., 2018)



*Figura 22. Ángulos de salida en las piezas.*  
Fuente: (M.-L. Wang et al., 2018)

Para el diseño u forma del conducto que alimenta al modelo en el molde se puede hacer uso de 3 diseños que son: circular, trapezoidal y parabólico (ver figura 23). En dinámica de fluidos la forma circular es mejor debido a su eficiencia de flujo óptimo y baja pérdida de presión, las dimensiones recomendadas se muestran en la tabla XXX para algunos materiales. (M.-L. Wang et al., 2018)

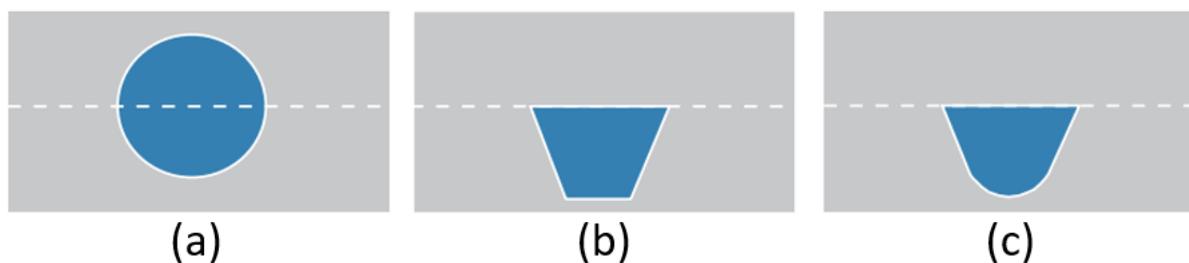


Figura 23. Formas del conducto de alimentación.

Fuente: (M.-L. Wang et al., 2018)

Tabla 16

*Diámetros de conductos recomendados para materiales plásticos.*

Material plástico	Diámetro del conducto recomendado
ABS	4.7 – 9.5 mm
PE	1.5 – 9.5 mm
PP	4.7 – 9.5 mm
PC	4.7 – 9.5 mm
PA	1.5 – 9.5 mm
Acrylic	7.5 – 9.5 mm

Fuente: (M.-L. Wang et al., 2018)

### **Procesos de fabricación de un molde de inyección.**

“El proceso de fabricación por moldes de inyección requiere de dimensiones y geometrías muy precisas además de una baja rugosidad ( $Ra\ 0.2 - 0.025\ \mu m$ ), siendo alto el costo de producción bordeando los 100 000 dólares estadounidenses”.(Zabala et al., 2019)

Un molde de inyección de plástico puede llegar a tener cientos de piezas y de estas aproximadamente el 30% están diseñadas para ser manufacturadas por uno o varios procesos de mecanizado, si no es posible mecanizar las piezas, se usa una cortadora de electrohilo o bien se puede manufacturar haciendo uso de un electrodo. Fuente: (M.-L. Wang et al., 2018)

### *Procesos de Fresado.*

“En su nivel más básico, una operación de fresado implica un movimiento de alimentación coordinado lineal o de múltiples ejes del cortador de varios filos mientras gira a través y en la pieza de trabajo”. (G. T. Smith & Smith, 1993)

“La velocidad de corte se determina con el diámetro exterior de la fresa. Ésta se puede convertir a la velocidad de rotación del husillo usando una fórmula” (Groover, 2007), que se muestra a continuación:

$$N = \frac{Vc \times 1000}{\pi \times D} \quad (9)$$

En donde Vc es la velocidad de corte expresada en m/min, N el número de revoluciones y D el diámetro expresado en milímetros.

“El avance f en fresado se determina por lo general como el avance por diente cortante. Esto se puede convertir a velocidad de avance, tomando en cuenta la velocidad del husillo y el número de dientes en la fresa”. (Groover, 2007)

$$F = N \times n \times f \quad (10)$$

En donde F corresponde al avance en mm/min, N corresponde al número de revoluciones (rev/min), n al número de dientes de la fresa y f al avance por diente (mm/diente).

### *Parámetros de corte en el fresado de madera.*

Las fuerzas de corte ocurren en la interacción de la madera con la herramienta de corte, estas fuerzas necesitan poseer una magnitud adecuada para ejecutar el corte de manera exitosa, en el corte de Madera contrachapada y tableros de fibra de mediana densidad (MDF) se ha utilizado ecuaciones de regresión para poder estimar la fuerza de corte adecuada teniendo como datos de entrada el ancho de corte, la profundidad de corte y parámetros de entrada como son

número de revoluciones y velocidad de avance además de las características de la herramienta de corte.(Atanasov & Kovatchev, 2019)

En el fresado frontal de Madera de abedul se aplica una variación 3 velocidades de avance y 3 profundidades de corte a fin de analizar cómo afecta a la rugosidad media obtenida y capacidad de humectación, cuando se aplique posterior al fresado un recubrimiento a la madera para conservarla. La variación de los parámetros antes mencionados no tuvo un impacto significativo sobre la rugosidad, sin embargo, la capacidad de humectación se observa severamente afectada y consecuentemente afecta a la aplicación del recubrimiento.(R. E. Hernández & Cool, 2008)

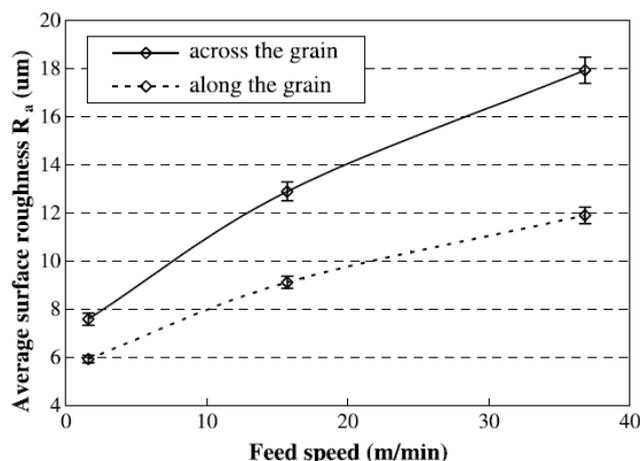


Figura 24. Resultados de rugosidad media al aplicar diferentes velocidades de avance en el corte de madera de abedul.

Fuente: (R. E. Hernández & Cool, 2008)

En el corte de abeto negro, se evalúa la calidad superficial obtenida a través de la variación de los parámetros de corte: dirección del ángulo de ataque, dirección de corte y profundidad de corte. Observando que al aumentar el ángulo de inclinación las fuerzas de corte, el desgarro de las fibras, la ondulación y aspereza disminuyeron. La influencia en la dirección de corte disminuye cuando se disminuye la profundidad de corte esto a su vez incrementa la calidad superficial y disminuir las fuerzas de corte requerida. (R. E. Hernández et al., 2014)

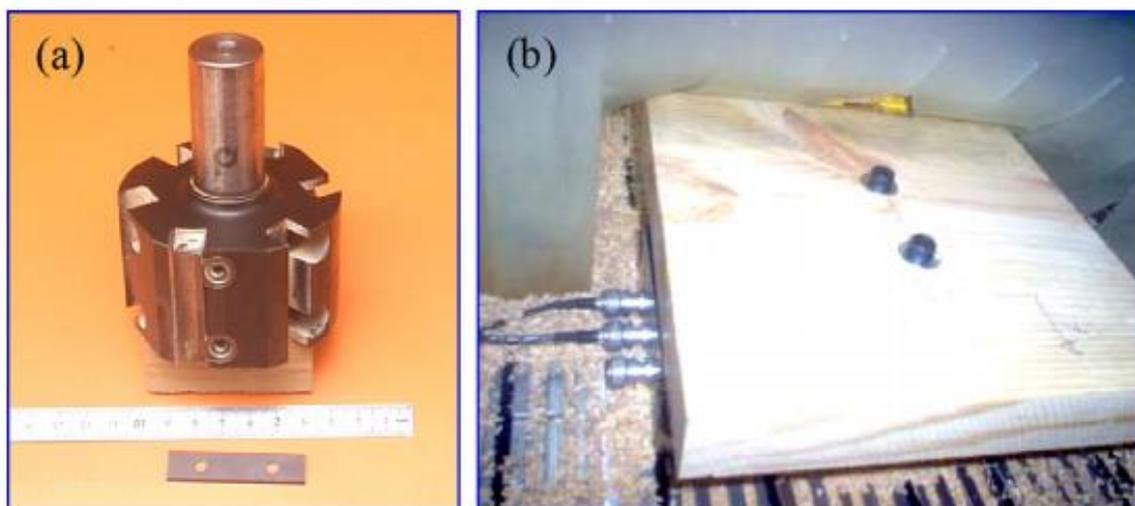
Los parámetros de corte influyen directamente sobre la fuerza de corte y el éxito del corte en los tallos de cítricos, para el análisis de la fuerza de corte se toman en consideración los datos de entrada: diámetro y humedad de los tallos, la velocidad de corte y el espacio entre dos cuchillas. Los resultados muestran que la fuerza máxima de corte se reduce cuando se aplica la velocidad adecuada al diámetro de los tallos. La fuerza mínima se presenta y está relacionada directamente a la humedad encontrada en los tallos. (Y. Wang et al., 2020)

### *Desgaste en las herramientas de corte.*

Las características de los materiales constitutivos de las herramientas de corte influyen directamente en el desgaste de las mismas, es así entonces que en el análisis de cuatro tipos de herramientas de corte que son: Herramientas de acero, Herramientas de acero rápido, Herramientas de alta aleación 8X6HAT y herramientas de acero CT01M, se concluye que las herramientas de acero rápido presentan menor desgaste debido a su dureza elevada, mientras que las herramientas hechas de alta aleación 8X6HAT no presentan desgaste, las herramientas de acero CT01M presentan desgaste mayor en el filo de corte en comparación con las antes mencionadas. (Bendikiene & Keturakis, 2017)

### *Métodos de obtención para parámetros de corte.*

Se utiliza un dinamómetro kistler de 3 ejes para medir las fuerzas de corte de madera Pinos de alepo en las dos principales direcciones: Tangencial y Normal, adicionalmente se aplica un filtro para eliminar ruidos producidos por las vibraciones del mecanizado de 436 kHz. (Aknouche et al., 2009)



*Figura 25. Materiales para el ensayo de fresado.*

(a) Herramienta de corte de 80 mm de diámetro; (b) Fijación de la muestra de madera y dinamómetro kistler en el router CNC.

(Aknouche et al., 2009)

Para la ejecución del experimento se utiliza una herramienta de corte de carburo de tungsteno de LEITZ (Figura 25a) que posee un filo de corte y se utiliza para desbastar 2mm de profundidad con un ángulo de 90 grados del eje de anisotropía de la pieza para la dirección de corte, los parámetros de corte son constantes y se determinaron como 6000 rpm para la rotación del husillo y 5m/min para la velocidad de avance. (Aknouche et al., 2009)

Las probetas (Figura 25b) son de 19 pinos de Aleppo de al azar con 60 años y sus dimensiones son de 24 cm x 24 cm x 3.5 cm, las condiciones de temperatura y humedad de la madera se controlan a 12% y 20 grados centígrados respectivamente para el experimento. Las propiedades de pino se muestran en la tabla 17

Tabla 17

*Propiedades físicas de 19 pinos de Aleppo*

Designación	Valor	Intervalos de variación
Diametro promedio.	36 cm	Desde 32 a 41 cm
Densidad promedio	0,55 g/cm <sup>3</sup> a 12%	Desde 0.53 hasta 0.58 g/cm <sup>3</sup>
Dureza media de monin	28	Desde 2.4 hasta 3.1

Promedio de módulo de Young	11 200 MPa	Desde 8300 hasta 13500 MPa
Estrés de fractura por flexión	82 MPa	Desde 63 hasta 98 MPa

Fuente: (Aknouche et al., 2009)

Se emplea un transductor piezo-eléctrico junto a una tarjeta SEK 3243 con la finalidad de analizar los niveles de emisión acústica producidos a lo largo del mecanizado de aramo australiano (albura y duramen), a la par que se relacionan los datos obtenidos con la rugosidad superficial resultante medida con un rugosímetro de contacto Mitutoyo Sj-201. (Aguilera & Zamora, 2007)

Se emplea una herramienta de corte de diámetro de corte de 162 mm, con 6 insertos de acero rápido (HSS) y con un ángulo de ataque de 25° sobre 9 probetas de albura y 9 probetas de duramen con las dimensiones 200 mm x 30 mm y 50 mm, utilizando variaciones de las velocidades de rotación y de avance (ver Tabla 18) manteniendo una profundidad de corte constante de 2 mm. Bajo estas condiciones, se concluye que la madera de duramen es la que necesita más energía de corte, a la par que el aumentar la velocidad de corte resulta en la obtención de superficies con mejor rugosidad, incrementando el resultado con maderas más suaves. (Aguilera & Zamora, 2007)

Tabla 18

*Velocidades de avance y rotación para albura y duramen de aramo australiano*

Velocidad de avance Vf (m/min)	Velocidad de rotación N (1/min)	Espesor de viruta em (mm)
4	3 200	0,02
8	3 200	0,05
11	3 200	0,07

4	4 200	0,02
8	4 200	0,04
11	4 200	0,05
4	6 000	0,01
8	6 000	0,03
11	6 000	0,04

Fuente :(Aguilera & Zamora, 2007)

Durante el fresado del abeto Douglas, las muestras fueron mecanizadas a lo largo y a lo ancho, y con y contra la orientación del grano de la madera, variando su orientación en rangos de 10°, manteniendo una misma configuración experimental (ver Tabla 19). Las medidas de las fuerzas de corte se realizaron con una plataforma dinamométrica piezoeléctrica triaxial atornillada a una placa de acero sujeta a la mesa de la máquina (Figura 23a). (Goli et al., 2010)

Tabla 19  
*Configuración experimental para el fresado del abeto Douglas*

Tipo de máquina Fresadora	3 Axes CNC
Modelo de máquina fresadora	SC Record 1
Ángulo de ataque	20 grados
Insertos en la herramienta	2
Material del inserto	Insertos de carburo de tungsteno
Velocidad de Avance	5 m/min
Revoluciones de la herramienta	13 867 rev/min
Diámetro de la herramienta	40 mm

Fuente: (Goli et al., 2010)

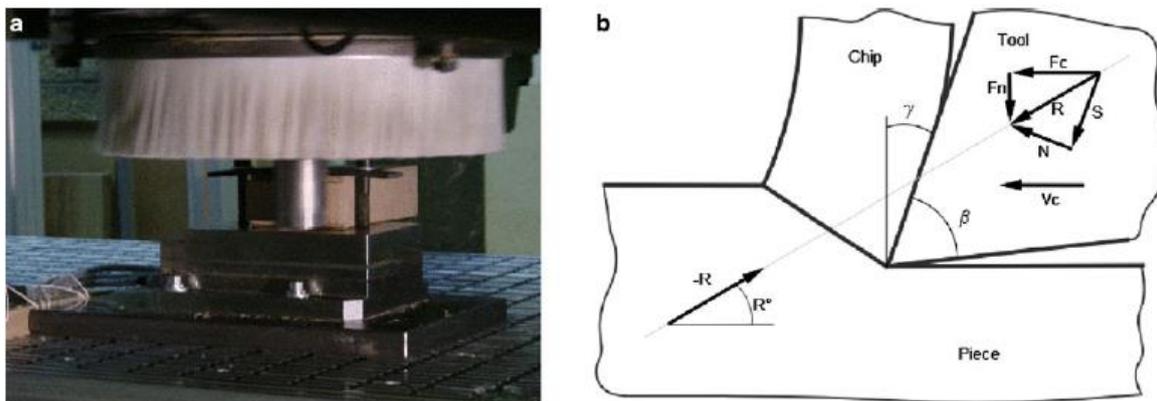


Figura 26. Ensayo de fresado de abeto.

(a) Muestra colocada en la plataforma dinamométrica durante un corte y (b) orientación de las fuerzas de corte (Goli et al., 2010)

Con la finalidad de encontrar el valor promedio de las fuerzas de corte, 15 medidas fueron promediadas y el coeficiente de variación de los datos tomados se muestra en la Tabla 20. Se encuentra que la medida de la fuerza resultante depende esencialmente de la profundidad de pasada y la orientación relativa del grano de la madera. (Goli et al., 2010)

Tabla 20

Coeficiente de variación de las fuerzas de corte para 0,5 mm. (wg: con el grano, ag: contra el grano)

Orientación del grano	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Fn UM wg	0,07	0,06	0,05	0,13	0,06	0,11	0,05	0,03	0,06	0,09
Fc UM ag	0,04	0,05	0,07	0,05	0,04	0,04	0,03	0,05	0,03	0,04
Fn DM wg	0,04	0,08	0,03	0,10	0,04	0,07	0,11	0,01	0,02	0,04
Fc DM ag	0,04	0,04	0,07	0,04	0,04	0,03	0,04	0,07	0,08	0,02

Fuente: (Goli et al., 2010)

Se emplea una CNC de tres ejes con una velocidad de husillo máxima de 400 rps, velocidad de avance máxima de 0,12 m/s y una precisión de 0,001 mm, a la cual se le coloca un instrumento de medición láser y un sistema de medición automático, a la par que se

desarrolla un sistema de control adaptativo, el cual es puesto a prueba comparando los resultados obtenidos al mecanizar ranuras en muestras de MDF tanto con el sistema de control adaptativo como de forma convencional, las condiciones de corte se muestran en la tabla 21. (Ohuchi & Murase, 2006)

Tabla 21  
*Condiciones de ranurado utilizadas.*

Número de revoluciones (rps)	Avance por diente (mm)	Profundidad (mm)
250	0.1	5

Fuente: (Ohuchi & Murase, 2006)

Se prueba que el ranurado que emplea el sistema de control adaptativo mejora la precisión del mecanizado en función del desgaste de la herramienta al mismo tiempo que disminuye la formación de rebabas en comparación con el mecanizado de forma convencional (ver Figura 27). (Ohuchi & Murase, 2006)

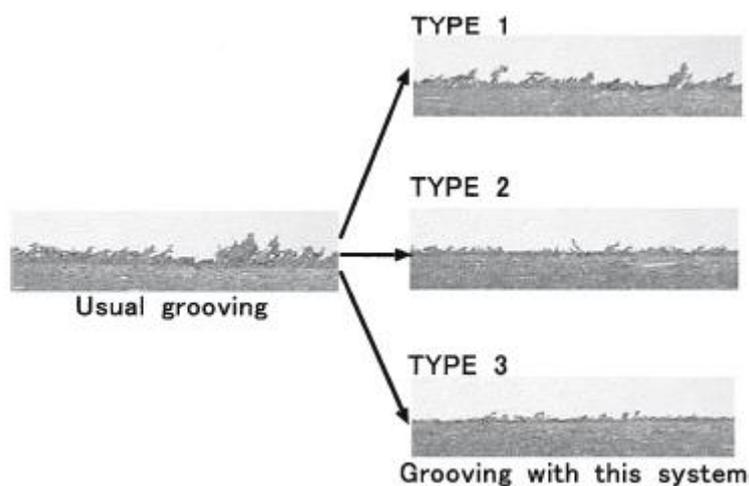


Figura 27. Fotografías de rebabas formadas usando ranurado normal (izquierda) y utilizando el nuevo sistema propuesto (tipo 1, 2 y 3).

Fuente: (Ohuchi & Murase, 2006)

Indicar parámetros de mecanizado para madera, que garanticen un acabado superficial específico, es muy complicado debido a la propia naturaleza desigual de la madera. Por este motivo, varios autores realizan estudios con la finalidad de obtener modelos de mecanizado

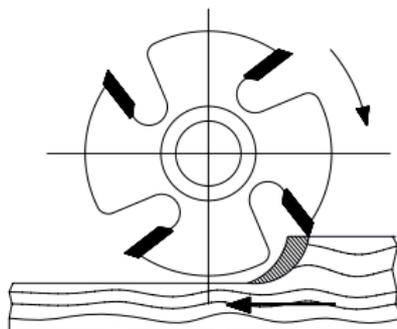
que, bajo ciertas condiciones, predigan la calidad superficial del acabado para ciertos tipos de madera. Una de estas predicciones sugiere que para un motor de 24 KW, una velocidad de corte de 45 m/min es adecuada para cualquier tipo de madera. (Krimpenis et al., 2016)

El proceso de corte de madera en sí es bastante desafiante ya que las velocidades de corte son normalmente ~5 veces más rápidas en comparación con corte de metal convencional.(Aknouche et al., 2009)

En amplios rasgos, la madera sólida puede ser trabajada tanto en bajas velocidades (500 rpm) como en altas velocidades (24,000 rpm), siendo preferible hacerlo a altas velocidades de husillo con la finalidad de obtener un acabado superficial óptimo. (Krimpenis et al., 2016)

#### *Recomendaciones de fabricantes de herramientas.*

(Zubiola, 2020) establece que lo más conveniente para obtener un acabado superficial fino y sin astillas en el fresado de madera, es el giro a favor del avance (figura 28). Para esto se emplea el avance mecánico de la máquina. De esta manera, la máquina realiza menor esfuerzo, aunque la herramienta puede llegar a desgastarse con rapidez. De la misma forma, con la finalidad de obtener un buen acabado superficial y un mecanizado favorable, el corte se realiza longitudinalmente a favor de las fibras de la madera.



*Figura 28.* Fresado a favor en madera  
Fuente: (Zubiola, 2020)

(Zubiola, 2020) recomienda rangos de velocidades de corte para diferentes materiales incluidos la madera y se muestran en la tabla 22.

Tabla 22  
*Diferentes velocidades de corte para materiales*

Material	Fresa HSS (Vc [m/s])	Fresa HW (Vc [m/min])
Maderas blandas	50-80	60-90
Maderas duras	40-60	50-80
Tablero aglomerado	-	60-80
MDF	-	60-80
Melaminas	-	40-60
Paneles duroplásticos	-	20-40
Aluminio puro	-	40-60

Fuente: (Zubiola, 2020)

(Zubiola, 2020) recomienda interpolar el número de revoluciones en función del diámetro de la herramienta de corte (ver figura 29), de igual forma se debe verificar que los parámetros seleccionados se encuentren en los rangos de velocidades adecuado.

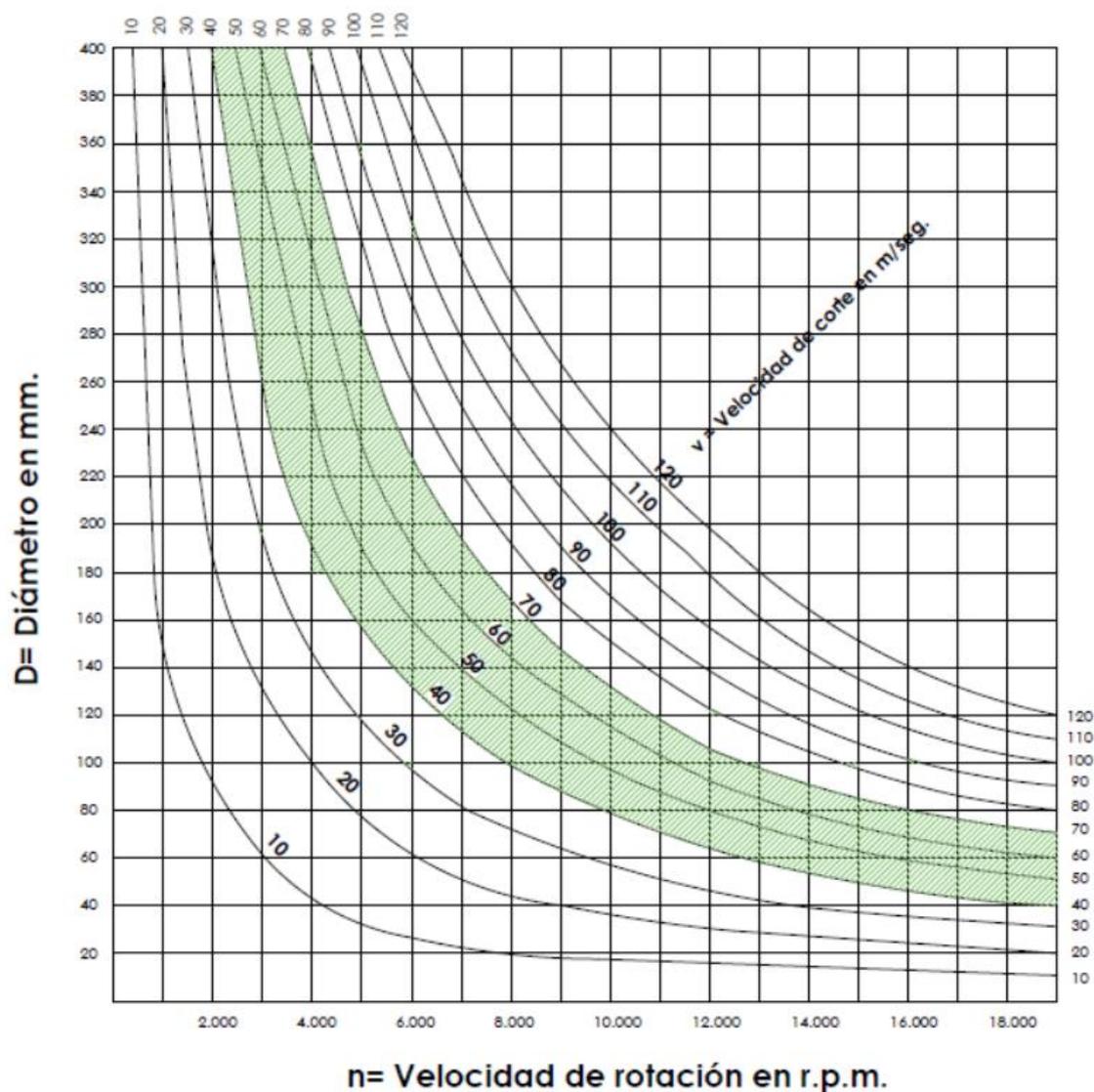


Figura 29. Datos para interpolación del número de revoluciones  
Fuente: (Zubiola, 2020)

Para la selección de la velocidad de avance, (Zubiola, 2020) recomienda usar la figura 30 e interpolar los datos de avance en función del número de revoluciones previamente determinado, las velocidades recomendadas son para obtener un acabado fino: 0.3 - 0.08, para acabado normal: 0.8 - 2.5 y para un acabado de desbaste: 2.5 - 5 mm

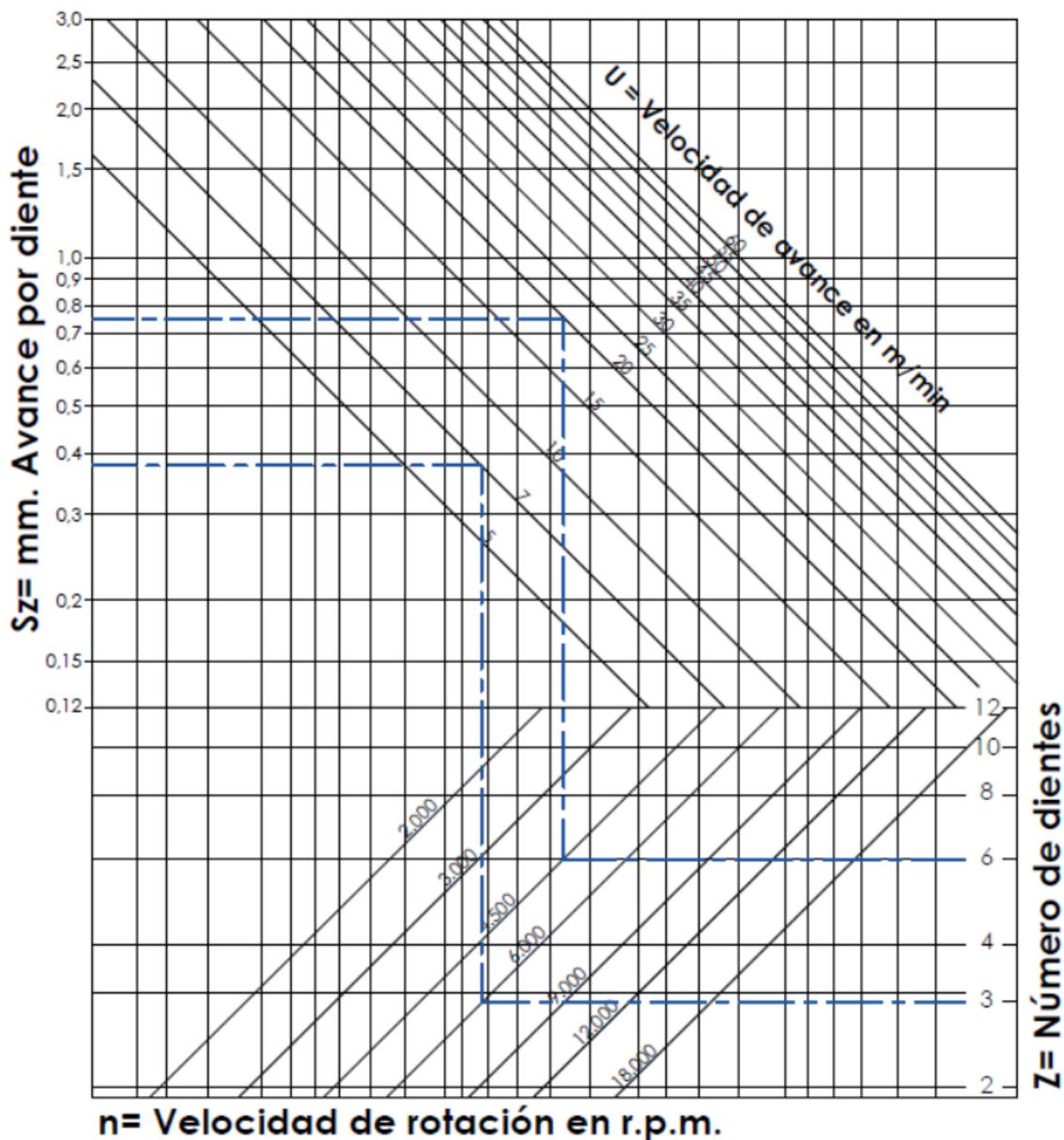


Figura 30. Datos para interpolar la velocidad de avance  
Fuente: (Zubiola, 2020)

(Tecnocorte, 2020) fabricante de herramientas recomienda las velocidades de avance para maderas que se muestran en la figura 31.

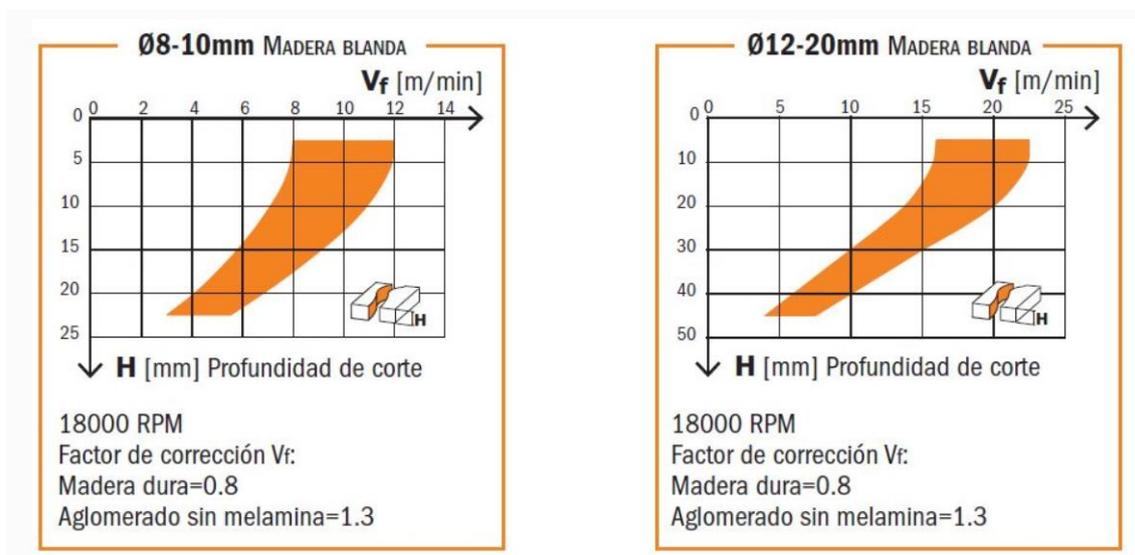


Figura 31. Parámetros de avance para fresado de madera.  
Fuente: (Tecnocorte, 2020)

(Vinyl Shop, 2020) recomienda los parámetros de corte para varios materiales incluidos la madera como se muestra en la tabla.

Tabla 23  
*Parámetros de corte para varios materiales*

Materiales	Velocidad (m/min)	Velocidad avance	Observaciones
		(mm/diente)	
Aluminio	200-400	0.03/0.1	Usar refrigerante
Latones	150-300	0.02/0.1	Usar refrigerante
Madera	60-100	0.02/0.12	Usar aire para refrigerar

Fuente: (Vinyl Shop, 2020)

## Maderas en el ecuador

Las maderas disponibles en el mercado nacional se muestran en la tabla 21.

Tabla 24  
*Algunas especies maderables del Ecuador*

Nombre común	Nombre científico
Caimitillo	<i>Chrysophyllum cainito</i>
Chanul	<i>Humiriastrum procerum</i>
Chimi	<i>Pseudolmedia laevigata</i>
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>
Fernán Sanchez, Muchín	<i>Triplaris guayaquilensis</i> , <i>Triplaris</i> sp
Guayacán pechiche	<i>Minuartia guianensis</i>
Jíbaro	<i>Pithecellobium latifolium</i>
Laguno	<i>Vochysia macrophylla</i>
Mascarey, Laguna	<i>Hieronyma chocoensis</i>
Moral fino	<i>Chlorophora tinctoria</i>
Pacora	<i>Cespedezia spathulata</i>
Piaste	<i>Guarea</i> sp.
Pino insigne	<i>Pinus radiata</i>
Pituca	<i>Clarisia resemosa</i>
Romerillo azuceno	<i>Podocarpus oleigolius</i>
Romerillo fino	<i>Podocarpus rospiglosii</i>
Sande	<i>Brosimum utile</i>
Seique	<i>Cedrelinga catenaeformis</i>
Tangama	<i>Parkia</i> sp.
Yumbingue	<i>Terminalia amazonia</i>

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014)

*Maderas en el medio local.*

La madera en los aserraderos se puede encontrar de 3 formas diferentes: en forma de tabla, tablón y bloque. Las dimensiones se encuentran en la tabla 25 y su costo unitario se muestra en la tabla 26:

Tabla 25

*Presentación de las maderas en los aserraderos locales.*

Presentación	Longitud	Ancho	Espesor
Tabla	2.4 m	220 mm	20 mm
Tablón	2.4 m	220 mm	40 mm
Bloque	2.4 m	220 mm	80 mm

Tabla 26

*Tipos de madera disponible en los aserraderos locales*

Madera	Tabla	Costo	Tablón	Costo	Bloque	Costo
Encofrado	X	2.50	-	-	-	-
Copal	X	6.00	X	9.00	-	-
Cucharilla	X	2.50	X	12	-	-
Pino	X	5.00	X	9	X	18.00
Laurel	X	6.00	X	9	X	18.00

(Vignote, 2005) establece que la dureza las maderas está relacionado directamente a su densidad y resistencia mecánica, en la tabla 27.

Tabla 27  
Dureza de especies de Madera

Especie	Dureza Brinell
Abeto	3.2
Balsa	0.55
Caoba	3.7
Pino	4
Haya	7.1
Cerezo	5.4

Fuente: (Vignote, 2005)

La madera es un material ortotrópico y presenta propiedades mecánicas y térmicas en distintas direcciones, referentes al módulo de elasticidad y coeficiente de poisson según la dirección de sus fibras principalmente. Siendo así de mayor complejidad la Mecánica de estos materiales. (Jacinto et al., 2009)

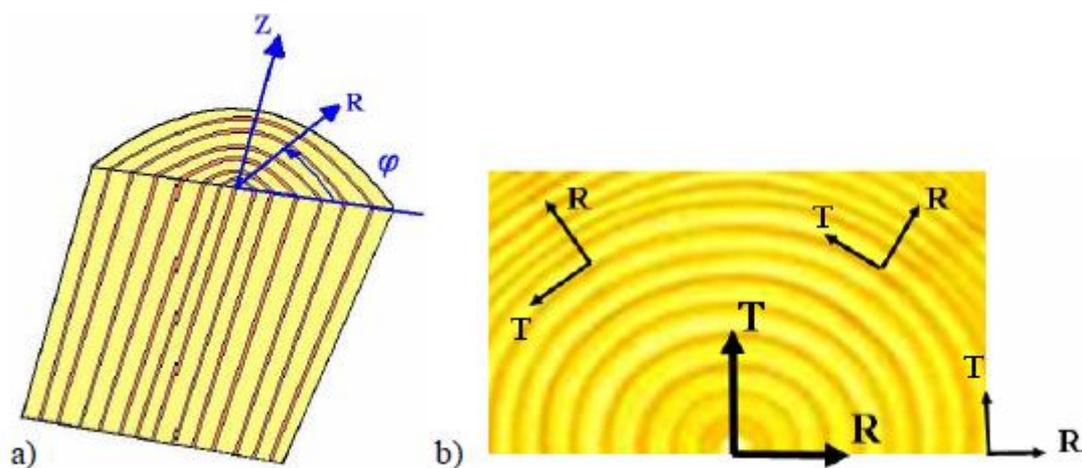


Figura 32. Sistema de coordenadas para la Madera  
(a) Sistema de coordenadas en un tronco (b) Sistema de coordenadas local para una simulación de elementos finitos  
Fuente: (Mirianon et al., 2008)

Los valores de parámetros mecánicos enfocados a la simulación de elementos finitos se muestran en la tabla 28.

Tabla 28

*Propiedades Mecánicas de la madera de pino para simulación FEA*

Número de propiedad	Notación	Detalle	Valor para madera de pino	Unidad
1	$E_{r,ref}$	Módulo de	900	MPa
2	$E_{t,ref}$	elasticidad	500	MPa
3	$E_{z,ref}$		12000	MPa
4	$V_{rt}$	Coefficiente de	0.558	-
5	$V_{rz}$	poison	0.038	-
6	$V_{tz}$		0.015	-
7	$G_{rt}$	Módulo cortante	40	MPa
8	$G_{rz}$		700	MPa
9	$G_{tz}$		700	MPa
10		Límite elástico	225	MPa

Fuente: (Mirianon et al., 2008)

## Metodología

### Tipo de método

El método que se utiliza es el descriptivo debido a que se relaciona la descripción e identificación de los fenómenos que se producen en los procesos de corte sobre un nuevo material y cómo se comporta la inyección del fluido a través del mencionado nuevo material.

Las variables de control no cambian, pueden adaptarse al nuevo proceso de mecanizado o inyección de plástico para obtener un resultado óptimo de simulación y aplicación, si el tema se aborda más enfocado a descubrir nuevas variables o fenómenos que se producen se convierte en un estudio exploratorio.

### Modalidad de investigación

El método que se utiliza es el razonamiento técnico ya que se puede utilizar teorías ya establecidas con procesos ya existentes para la manufactura de un molde de inyección, o bien controlar los parámetros de inyección de plástico en un molde para un nuevo material. El proceso de desarrollo se muestra en la figura 33.

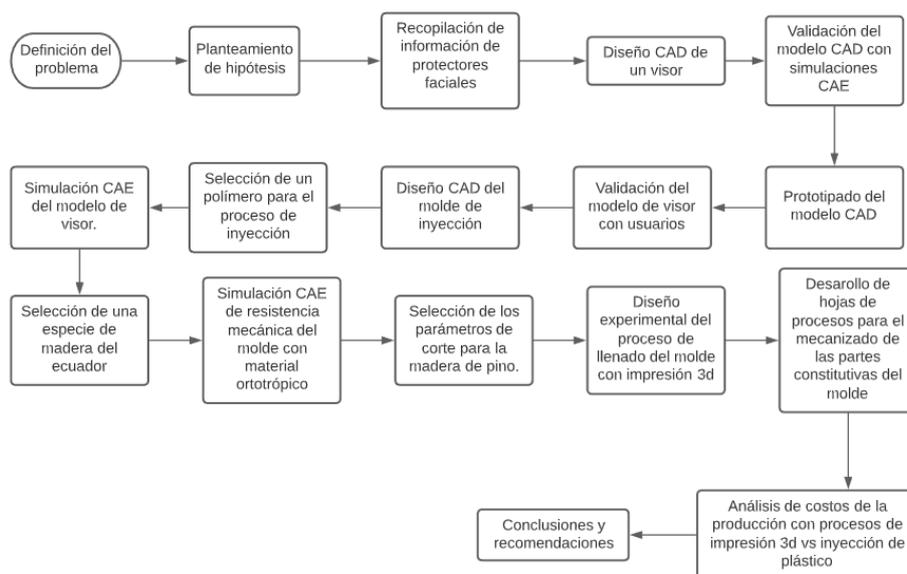


Figura 33. Desarrollo Metodológico

## **Diseño del protector facial.**

### **Parámetros físicos para diseño del protector facial.**

Las condiciones de diseño se determinan a partir de la norma ANSI/ISEA Z87.1 (ver sección Normativa para los protectores faciales), en las que destaca que el protector facial no debe tener estrías, burbujas, ondas y otros defectos que afecten la calidad óptica, así también no deben poseer defectos o filos cortantes que causen lesiones o molestias al usuario. Adicionalmente especifica que el tamaño de la cabeza mediana se aproxima para un percentil 50 de un hombre adulto, que en el caso de diseño será la población muestra comprendida entre 18-65 años.

En concordancia con la norma ANSI/ISEA Z87.1, la norma En 166, establece que el protector facial no debe contener aristas vivas o protuberancias que causen molestias o heridas en su uso, adicionalmente establece que los materiales constitutivos no deben causar irritación en la piel, la banda que se sujeta a la cabeza debe ser de 10 mm de ancho como mínimo de tipo ajustable o autoajustable, el campo de visión mínimo debe ser de 150 mm en sentido vertical.

De acuerdo con el departamento de salud y servicios humanos de Estados Unidos, el protector facial debe cubrir la cabeza desde la corona hasta la barbilla y rodear la cara hasta el inicio de las orejas y Kalyaev recomienda que el número de piezas en el protector deben ser mínimas, con materiales de bajo coste y fáciles de conseguir. Las condiciones de diseño se resumen en la tabla 29.

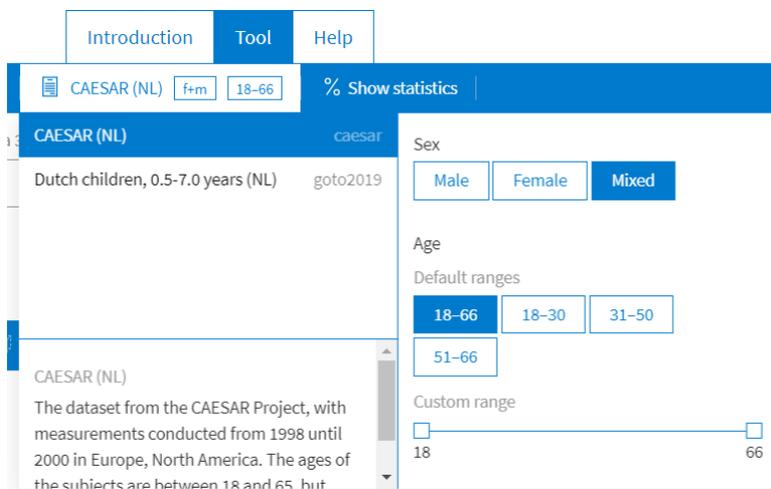
Tabla 29  
*Condiciones de diseño de un protector facial*

Características	Descripción
Física	No debe poseer aristas vivas o filos cortantes
Física	No debe poseer burbujas, estrías u ondas que afecten el campo de visión.
Dimensiones	Considerar un percentil 50 de un hombre adulto.
Materiales	Los materiales no deben causar irritación en la piel del usuario.
Modo de sujeción a la cabeza	Utilizar una banda mínima de 10 mm y debe ser ajustable o autoajustable.
Cobertura mínima frontal	150 mm
Cobertura de la cabeza	Desde la corona hasta la barbilla y rodeando la cara hasta el inicio de las orejas.
Número de piezas	Mínima con materiales de bajo coste y accesibles en el medio

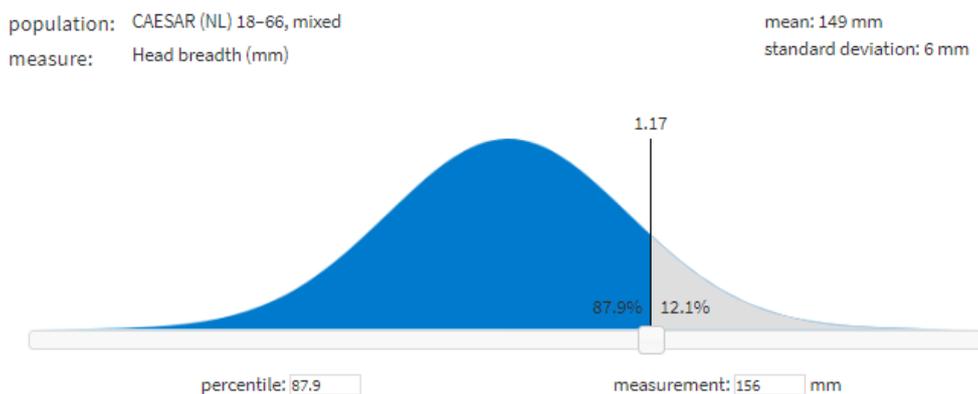
### **Forma del protector visual.**

Para el diseño del protector facial se establece como base una cabeza de tamaño medio, y basado en la norma ANSI/ISEA Z87.1, el ancho de la cabeza debe ser 156 mm (ver tabla 1) para un visor de tamaño mediano, a fin de determinar la forma del protector que se adapte a la anatomía humana se hace uso de la herramienta Mannequin perteneciente a DINED anthropometric Database con el dato antropométrico mencionado en una población mixta de hombres y mujeres comprendidos entre 18 y 66 años (ver figura 34). A fin de realizar un diseño que se adapte a la mayor cantidad de personas se establece el rango de diseño desde el percentil

5 al 95, los datos correspondientes se extraen de DINED como se muestra en la figura 35 y se resumen las medidas en la tabla 30.



**Figura 34.** Selección de la población  
Fuente: (DINED, 2020)

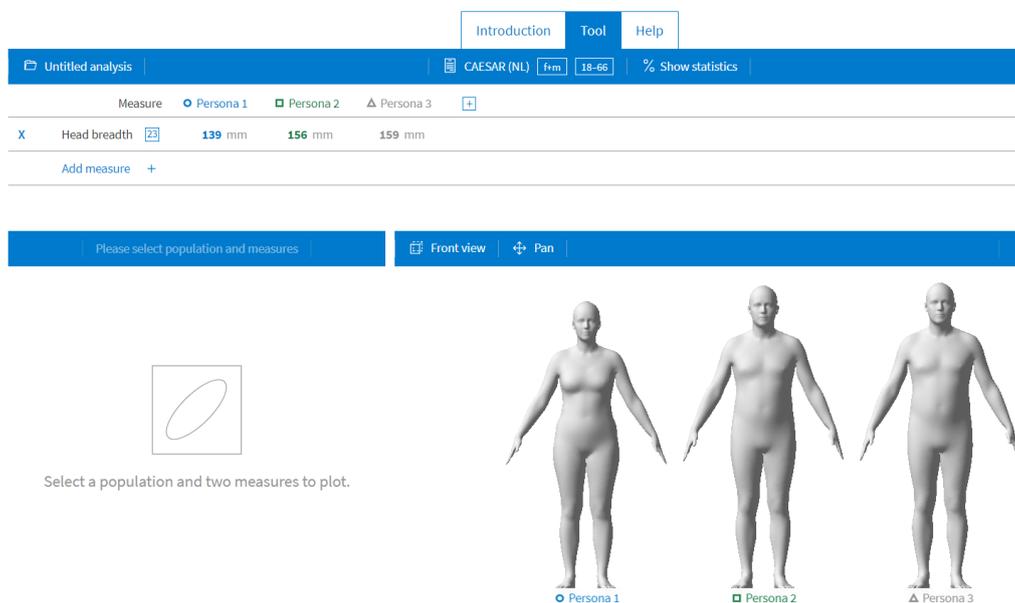


**Figura 35.** Selección del percentil  
Fuente: (DINED, 2020)

**Tabla 30**  
*Dimensiones para el diseño*

Percentil	Valor (mm)
5	139
88	156
95	159

Una vez determinados los valores del ancho de la cabeza (ver tabla 1), se crea tres modelos 3D como se muestra en la figura 36, que sirven como modelo base para determinar la forma del protector facial.



*Figura 36.* Modelos 3d en base a datos antropométricos  
Fuente: (DINED, 2020)

## Material y dimensiones del visor.

En concordancia con la recomendación de Kalyaev, se decide usar láminas de PET en tamaño A4 (210 mm de ancho x 297 mm de alto) con un espesor de 0.45 mm, ya que presenta las cualidades de ser resistente a la flexión con leves distorsiones, es transparente, no es frágil y no es tóxico para el ser humano. Además de ser fácil de adquirir y trabajar con herramientas o equipos de corte.

Para el modo de fijación del visor a la visera, se considera la recomendación de los modelos de protectores faciales de stratays y 3d system en el cual hacen uso de una perforadora estadounidense estándar de 3 orificios, las perforaciones tienen un diámetro de 7.14 mm y una separación de 10,795 cm entre perforaciones (ver figura 4). Adicionalmente con la recomendación del modelo de protector facial de prusa que está certificado con la norma EN

166:2001 se decide redondear todos los vértices con radios de 5 mm en la parte superior y 50 mm en la parte inferior como se muestra en la figura 37.

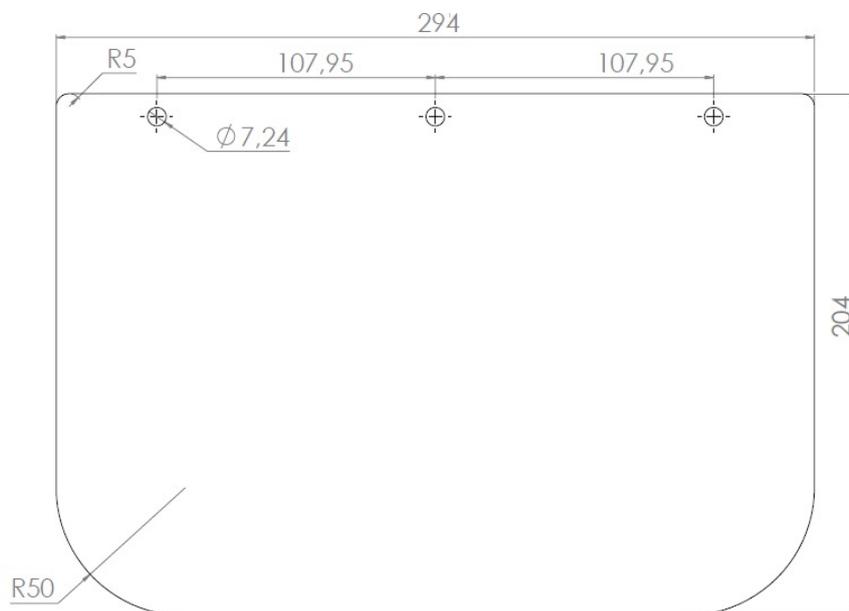


Figura 37. Dimensiones del visor

### Modelo CAD y prototipado.

Con el uso de un software CAD, se plasma un diseño prototipo, el modelo 3d de una persona (ver figura 39) es tomado como referencia para dibujar la visera, teniendo en cuenta las condiciones de diseño (ver tabla 30). El modelo final se muestra en la figura 38.

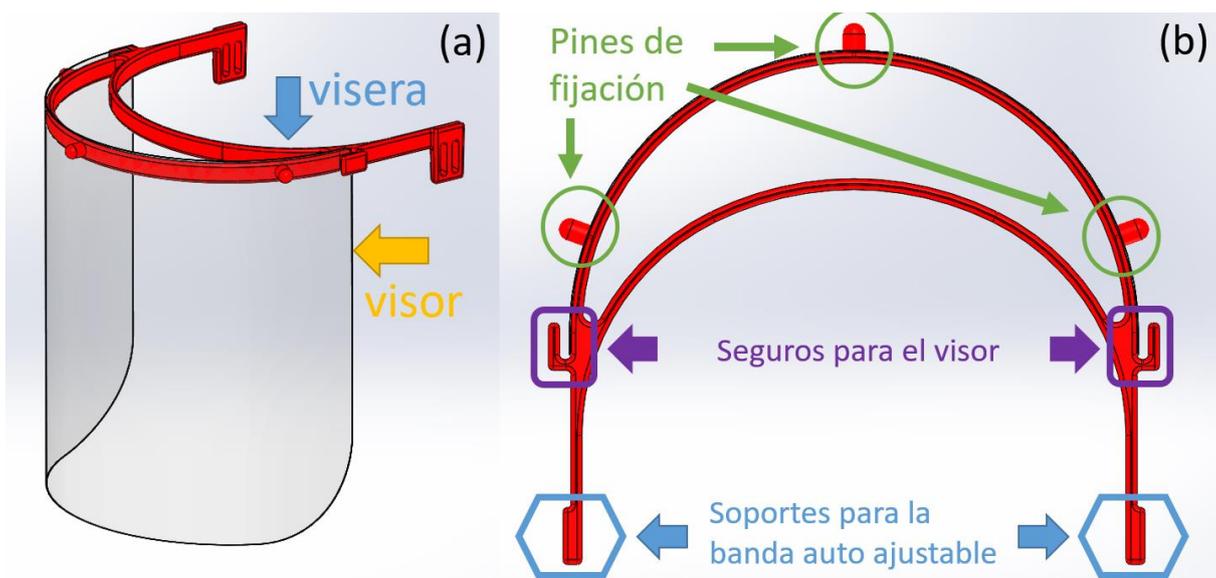


Figura 38. Partes del protector visual

(a) descripción del modelo de protector facial vista isométrica (b) partes del modelo

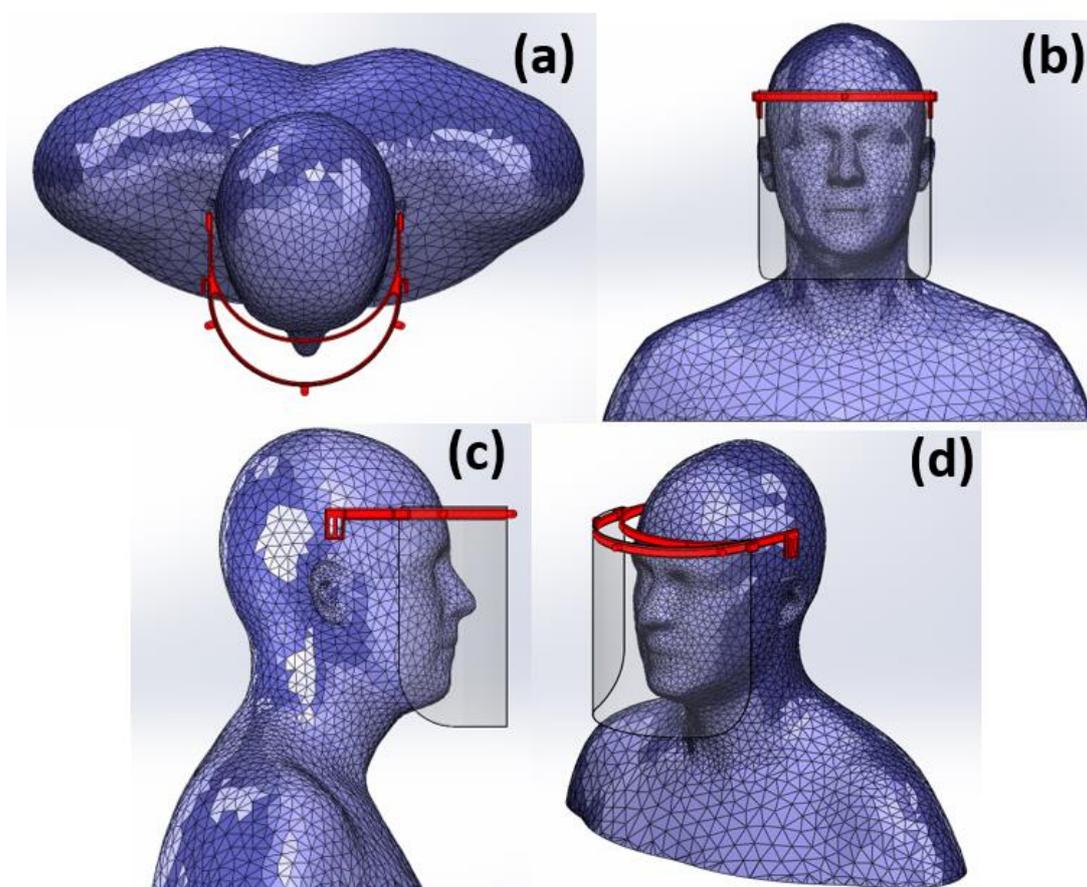


Figura 39. Vistas del modelo con el visor

(a) Vista superior (b) vista frontal (c) vista lateral (d) Vista isométrica

En el proceso de prototipado de la visera se hace uso de una impresora 3d con tecnología FDM y como material se utiliza PLA, el proceso de impresión se muestra en la figura 40, para el prototipado del visor se hace uso de una cortadora laser como se muestra en la figura 41.

Para el proceso de impresión se utiliza una calidad alta de impresión con un tiempo estimado de 8 horas 40 min y sus principales parámetros de impresión se muestran en la tabla 31.

Tabla 31  
*Parámetros de impresión del prototipo 3d*

Parámetro	Detalle
Altura de capa	0.2 mm
Paredes de capa lateral	4
Tamaño de la boquilla	0.4 mm
Capas de la superficie inferior y superior	4
Densidad	50 %
Relleno	Triángulos
Velocidad de impresión	50 mm/s



Figura 40. Proceso de impresión de la visera



*Figura 41.* Proceso de corte laser para el visor

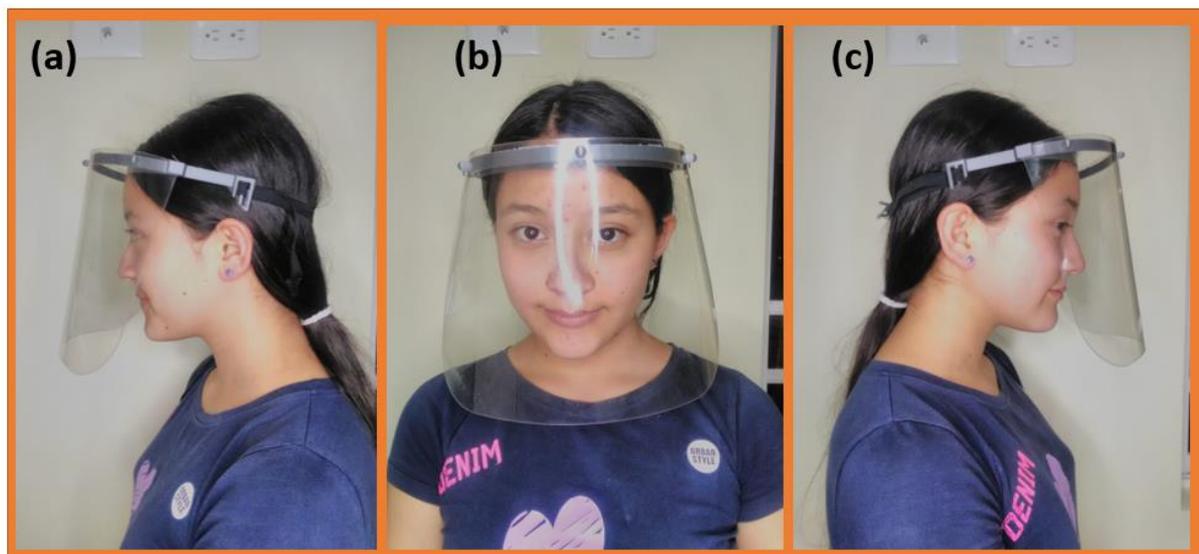
En el sistema de ajuste a la cabeza se usa una banda elástica de 50 cm de longitud y 10 cm de ancho de acuerdo a la norma. El prototipo ensamblado se muestra en la figura 42.



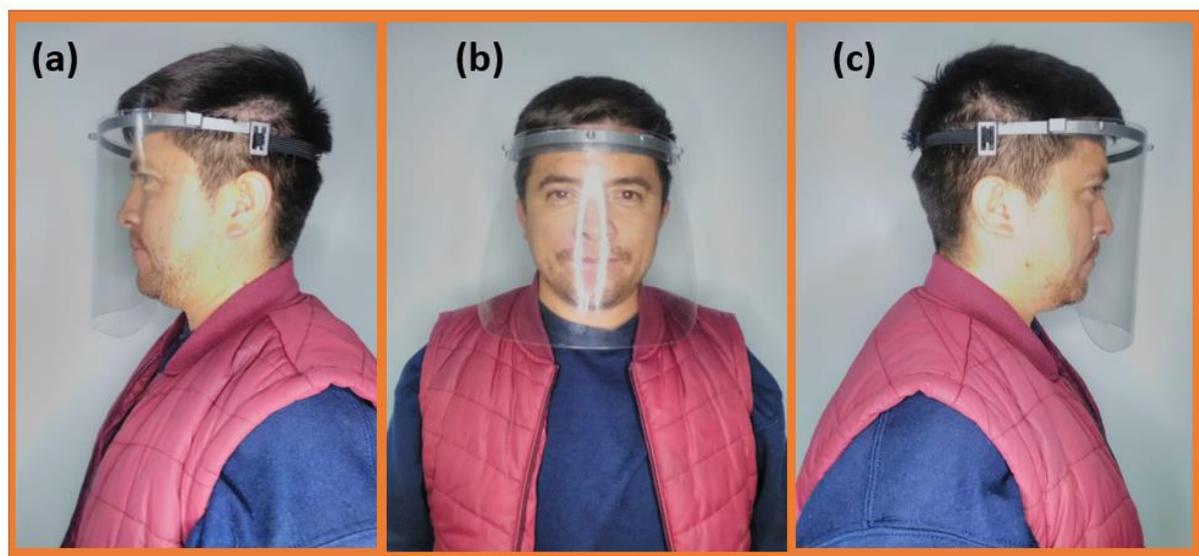
*Figura 42.* Prototipo ensamblado

### **Pruebas con el usuario.**

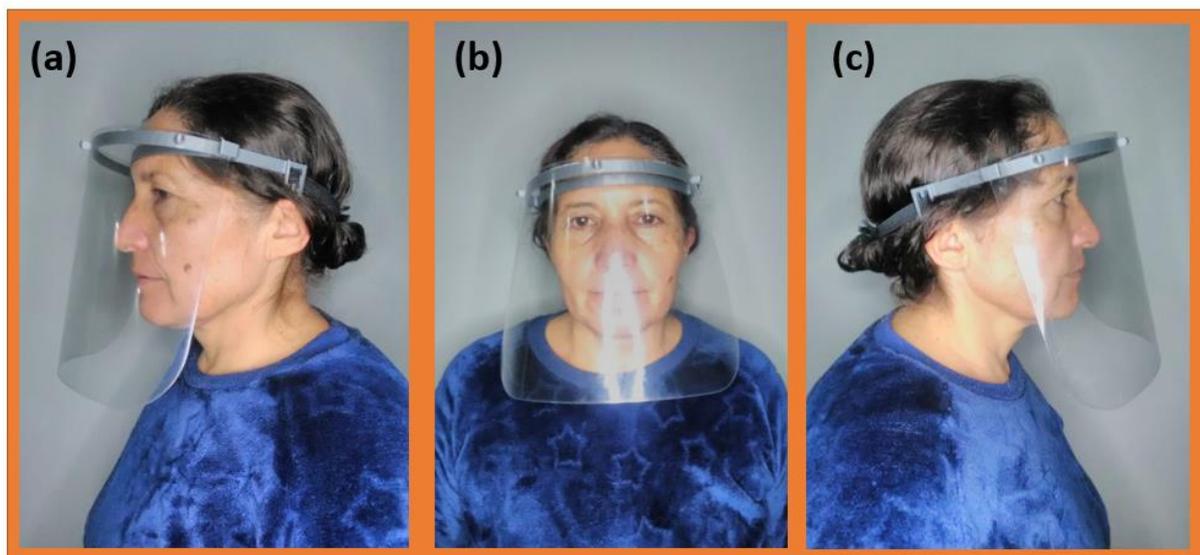
Con la finalidad de validar el modelo de protector facial se realizan pruebas con 6 personas de género masculino y femenino de diferentes edades y percentiles, como se muestran en las figuras 43 – 48.



*Figura 43.* Prueba de usuario femenino 1  
(a) vista frontal (b) vista lateral derecha (c) vista lateral izquierda



*Figura 44.* Prueba de usuario masculino 1  
(a) vista frontal (b) vista lateral derecha (c) vista lateral izquierda



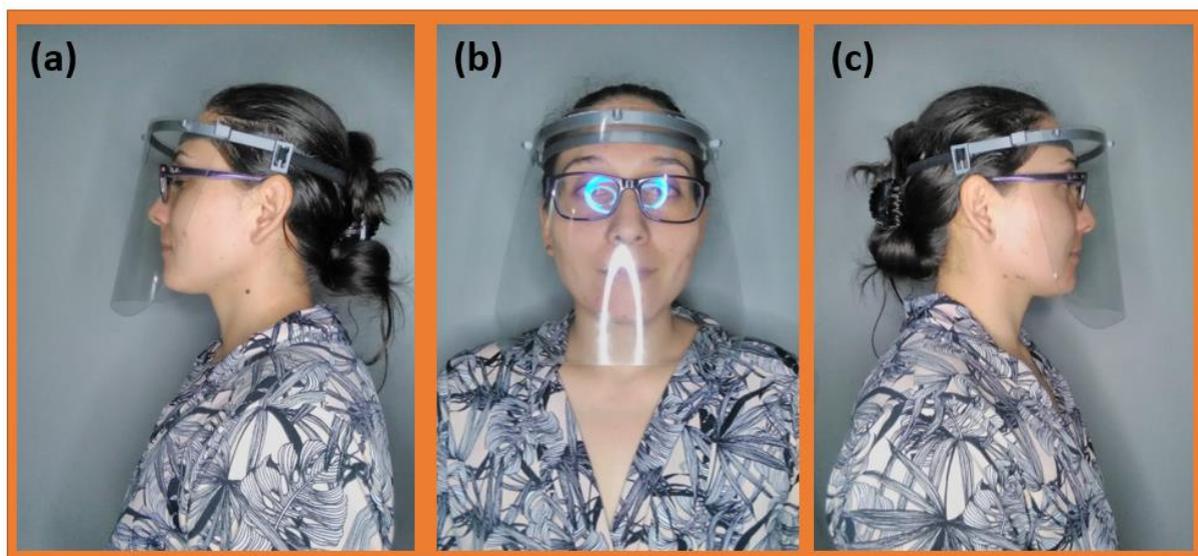
*Figura 45.* Prueba de usuario femenino 2

(a) vista frontal (b) vista lateral derecha (c) vista lateral izquierda

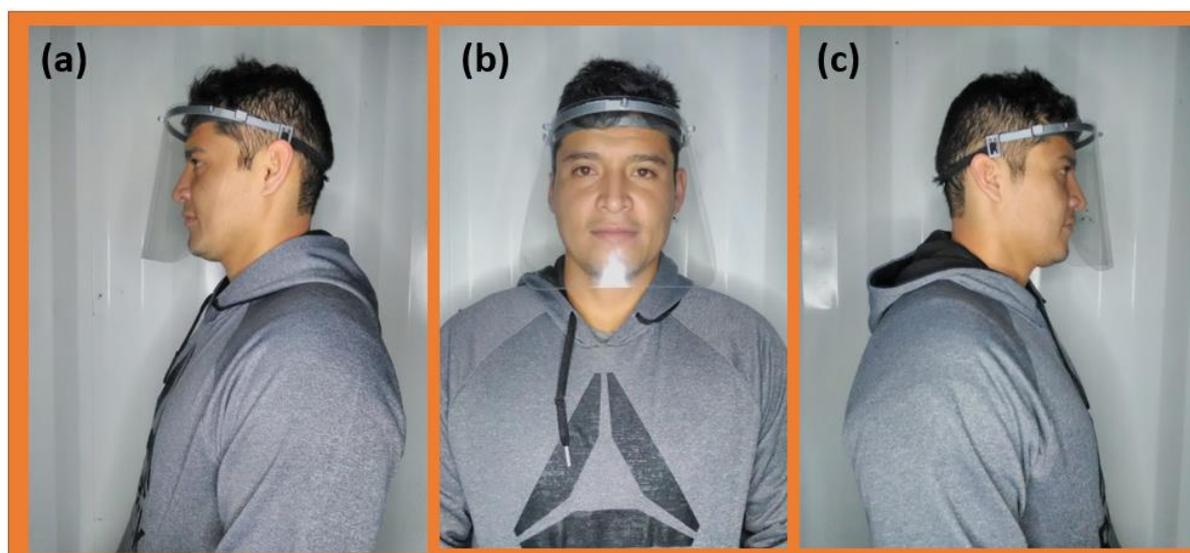


*Figura 46.* Prueba de usuario masculino 2

(a) vista frontal (b) vista lateral derecha (c) vista lateral izquierda



*Figura 47.* Prueba de usuario femenino 3  
(a) vista frontal (b) vista lateral derecha (c) vista lateral izquierda



*Figura 48.* Prueba de usuario masculino 3  
(a) vista frontal (b) vista lateral derecha (c) vista lateral izquierda

Los datos de las pruebas se resumen en la tabla 32, donde se especifica el género, la edad y el percentil al que pertenecen los usuarios.

Tabla 32  
*Descripción de pruebas a los usuarios*

Usuario	Edad	Género	Ancho de cabeza (mm)	Percentil
1	19	Femenino	143	P16
2	29	Masculino	150	P57
3	54	Femenino	147	P37
4	32	Masculino	144	P20
5	28	Femenino	151	P63
6	33	Masculino	157	P91

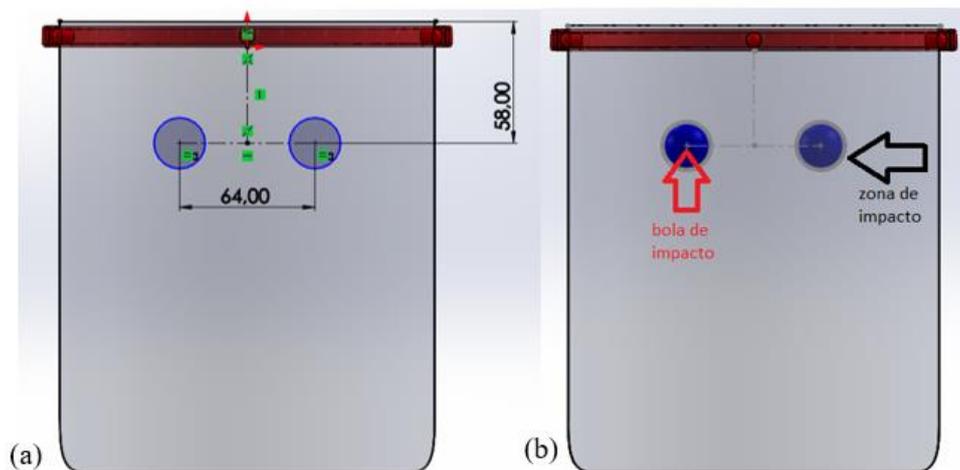
### **Pruebas para la certificación con la norma EN 166:2001.**

#### *Pruebas oculares.*

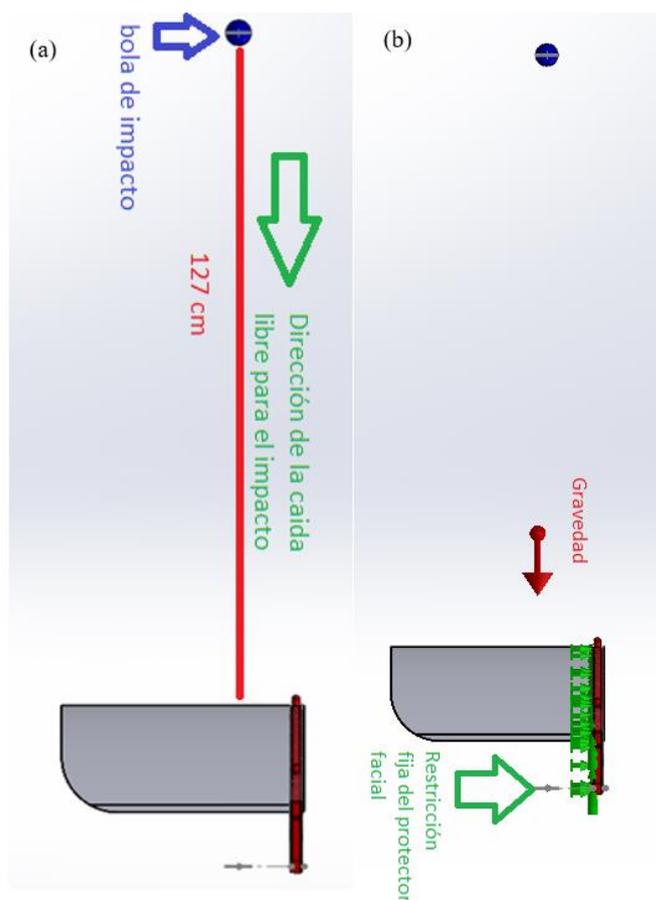
De acuerdo con la norma, los protectores faciales no deben someterse a pruebas de astigmatismo o poder refractivo.

#### *Prueba de impacto de una bola de acero*

Para la prueba se toma en consideración la ubicación de los ojos en el protector facial como se muestra en la normativa, las medidas de distancia entre ojos y hacia la frente se extraen de la tabla 1. Las bolas de impacto se ensamblan sobre las zonas de impacto ocular como se muestra en la figura 49b.



*Figura 49.* Detalle de la prueba de impacto simulada  
 (a) Zona ocular para la prueba de impacto, (b) Ubicación de bolas de impacto en el ensamble para simulación.



*Figura 50.* Condiciones para la simulación de la prueba  
 Prueba de impacto (a) descripción de la simulación (b) Condiciones de contorno para la simulación

Los resultados de la simulación de impacto se muestran en la figura 51 en la que se puede apreciar que el impacto es absorbido por la forma curva del visor y se concentra en un costado del visor fuera de su área de visión, garantizando que los ojos no serán afectados directamente con un impacto directo.

El visor no se fractura debido a que el esfuerzo promedio a la compresión que resiste el PET es de 45.2 MPa, mientras que el esfuerzo compresivo que produce el impacto es 7.96 MPa.

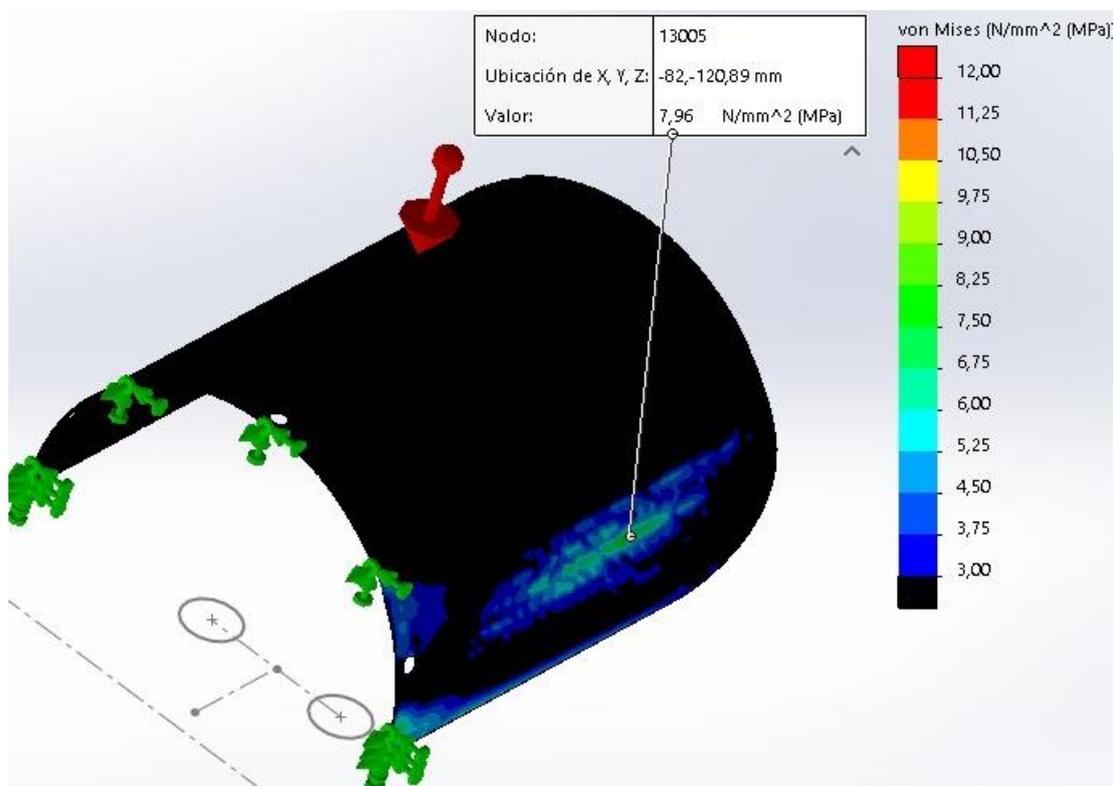
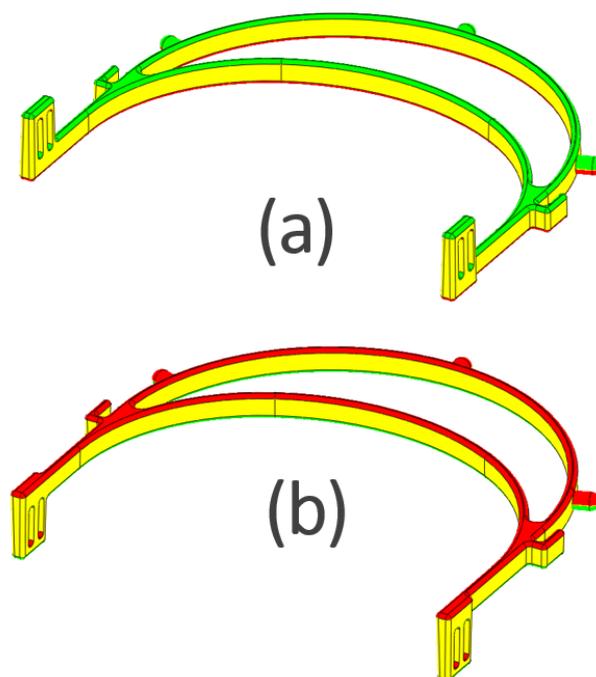


Figura 51. Distribución de esfuerzos de von Mises para una prueba de impacto

### Parámetros de diseño del molde de inyección.

Una vez que se valida el modelo del visor, se selecciona un ángulo de salida superior a 0,5 grados para facilitar el desmolde en el proceso de inyección, haciendo uso de una línea de partición y la herramienta de ángulos de salida se puede visualizar en la imagen 52 en donde el color amarillo indica un ángulo de salida positivo, color verde un ángulo de salida neutro y un color rojo un ángulo de salida negativo.

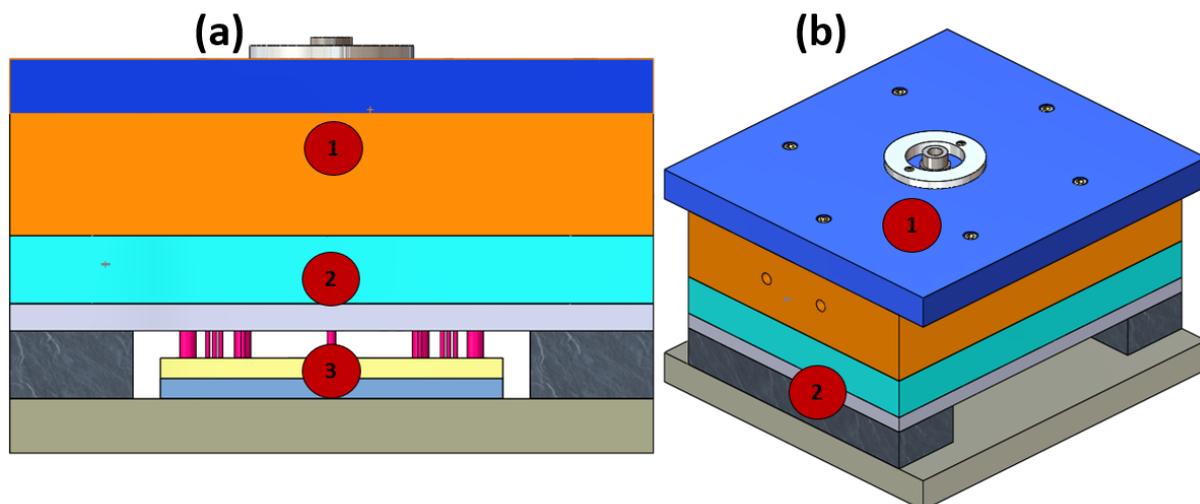


*Figura 52. Análisis del ángulo de salida  
(a) vista frontal (b) vista inferior*

### **Diseño del molde de inyección.**

El molde de inyección se crea a partir de un porta moldes existente y se muestra en la figura 53, los principales sistemas que componen al molde son:

- 1.- Sistemas de inyección.
- 2.- Sistema de botación.
- 3.- Sistema de expulsión.

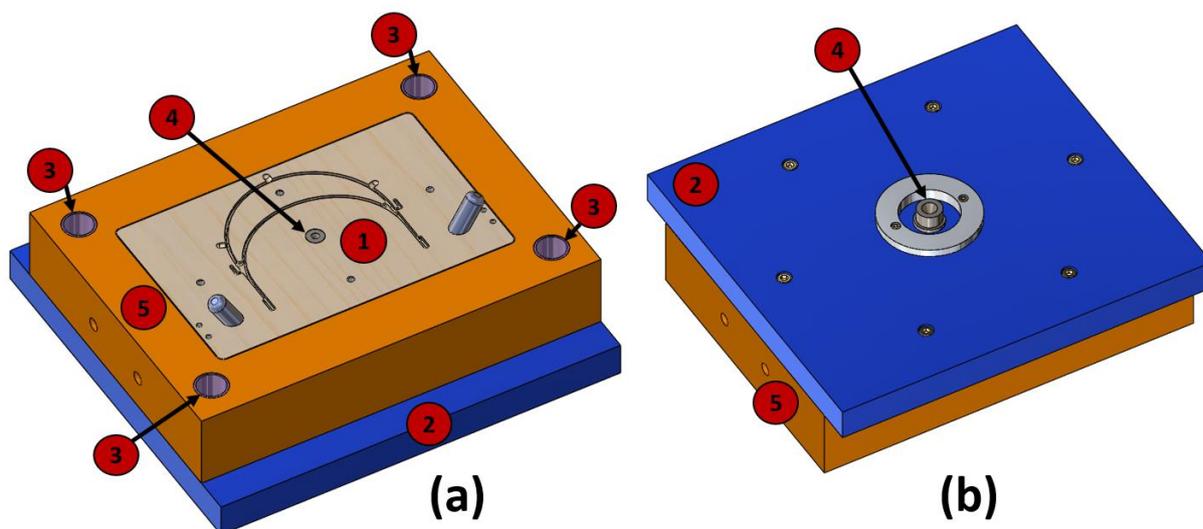


*Figura 53.* Molde de inyección de plástico.

(a) Vista frontal (b) vista isométrica

El sistema de inyección del molde se muestra en la figura 54 y consta de las siguientes partes:

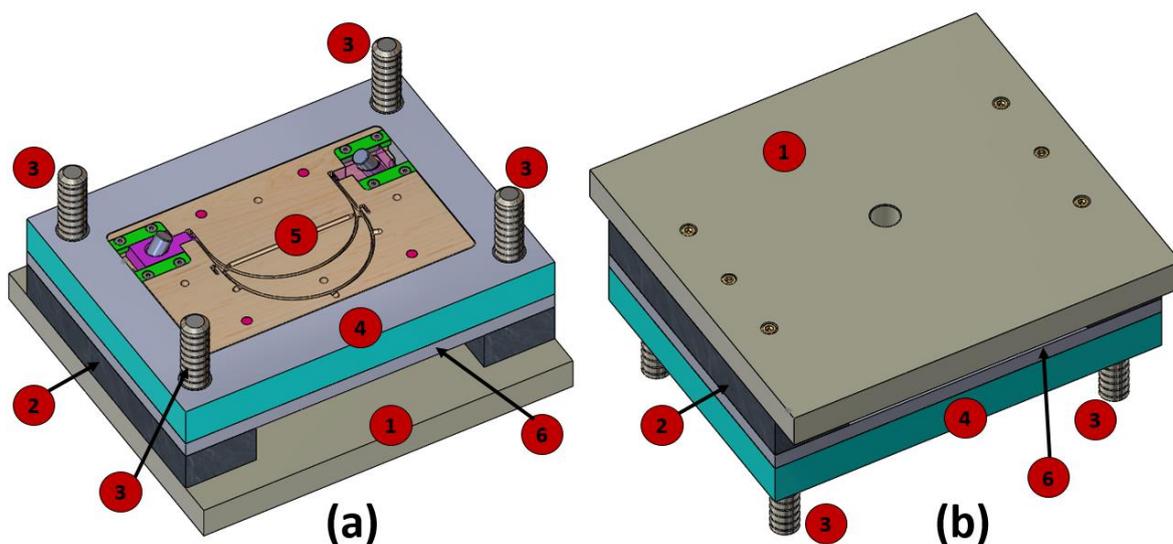
- 1.- Postizo lado inyección.
- 2.- Placa de respaldo de inyección.
- 3.- Bujes
- 4.- Placa de inyección de postizo.
- 5.- Placa de inyección postizo.



*Figura 54.* Sistema de inyección  
(a) Vista inferior (b) Vista superior

El sistema de botación se muestra en la figura 55 y consta de las siguientes partes:

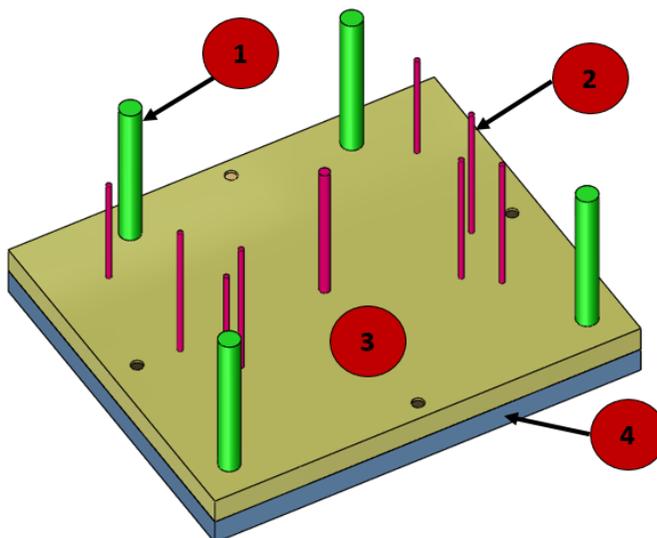
- 1.- Placa de respaldo de cavidades.
- 2.- Espaciadores.
- 3.- Guías.
- 4.- Placas de inyección postizos.
- 5.- Postizo lado expulsión.
- 6.- Placa expulsión porta cavidad.



*Figura 55. Sistema de botación.*  
(a) Vista inferior (b) Vista superior

El sistema de expulsión se muestra en la figura 56 y consta de las siguientes partes:

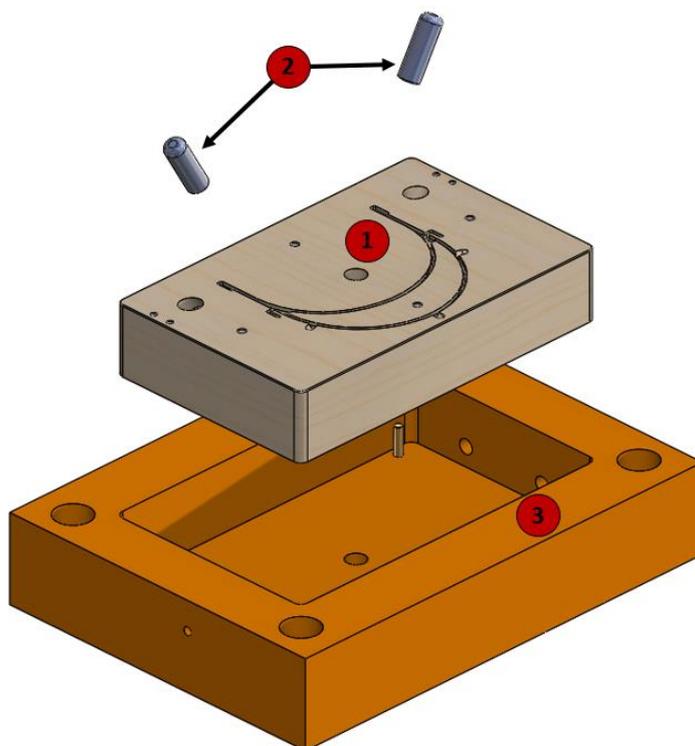
- 1.- Contra botación.
- 2.- Expulsores.
- 3.- Placa porta expulsores.
- 4.- Placa de respaldo porta expulsores.



*Figura 56. Sistema de expulsión*

El sistema de inyección se muestra en la figura 57 y consta de las siguientes partes:

- 1.- Postizo lado inyección.
- 2.- Columnas.
- 3.- Placa de inyección postizo.



*Figura 57. Sistema de inyección.*

El sistema de botación, se muestra en la figura 58 y consta de las siguientes partes:

- 1.- Postizo lado expulsión.
- 2.- Inserto.
- 3.- Patín.
- 4.- Placas de inyección postizos.
- 5.- Placa expulsión porta cavidad.
- 6.- Pernos de sujeción.

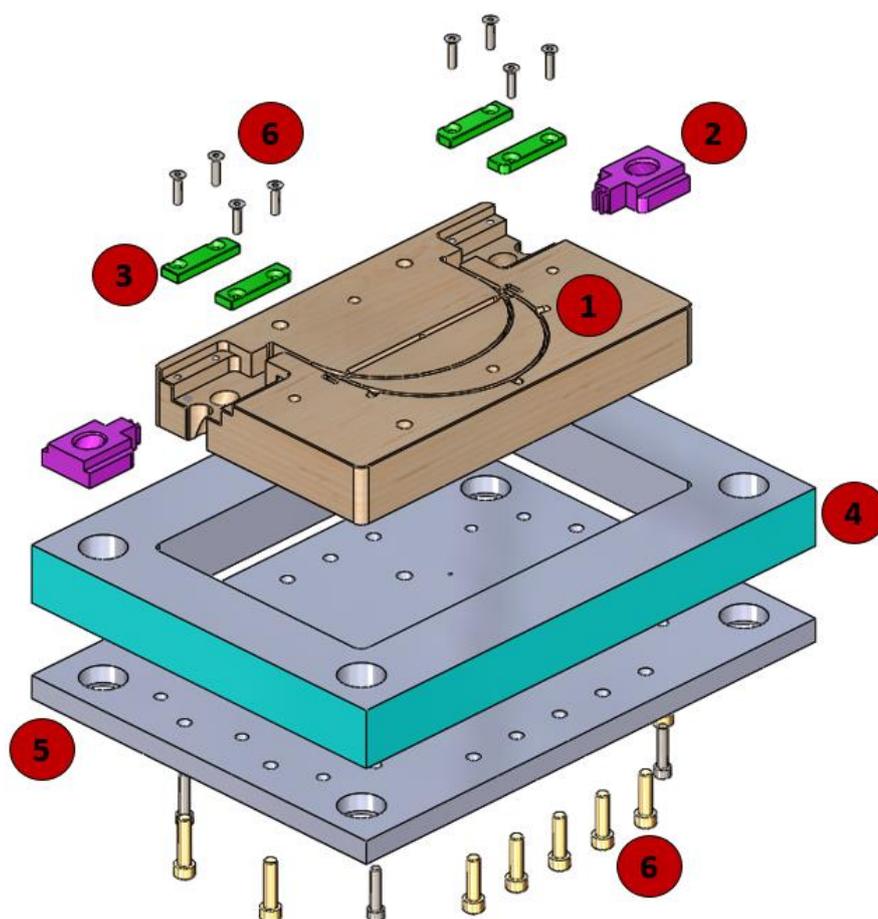


Figura 58. Sistema de botación.

Del conjunto de partes que constituyen el molde de inyección plástico se resumen en la tabla 33 las partes que se manufacturan.

Tabla 33  
*Manufactura de partes del modelo*

Parte	Proceso	Máquina / Herramienta / herramienta
Postizo lado expulsión	Mecanizado	Fresadora CNC
Postizo lado inyección	Mecanizado	Fresadora CNC
Columnas	Torneado	Centro de Torneado de 2 ejes.
Insertos (2)	Mecanizado	Fresadora CNC
Patines (2)	Mecanizado	Fresadora CNC
Topes (2)	Mecanizado	Fresadora CNC

### **Selección de un polímero.**

Las características principales para la selección del polímero se muestran en la tabla 34.

Tabla 34  
*Características para la selección de un polímero.*

Propiedad	Detalle
Hipo alergénico	Que no cause irritación al contacto con la piel.
Fácil desinfección	Se pueda esterilizar con productos como alcohol antiséptico
Aplicación	Inyección de plástico.
Rigidez	Alta
Precio	Bajo

Del universo de los polímeros, se enfoca en los termoplásticos que consta de 565 materiales disponibles, se realiza un filtro maximizando los materiales excelentes para moldeo por inyección y resistentes a la exposición de agua, discriminando materiales y reduciendo el

universo de termoplásticos a 140 materiales que se muestran en la figura 59 entre los que se destacan el ABS, PP y SAN entre otros.

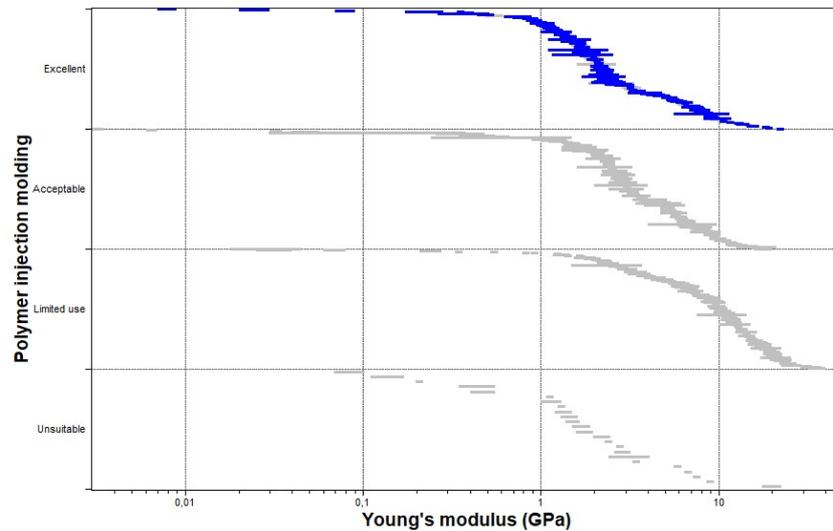


Figura 59. Selección de un polímero del universo de los termoplásticos

Con la finalidad de elegir el polímero más adecuado al proceso minimizando el precio del visor, se filtra el material para un precio máximo de 2 dólares por kilogramo resultando en 29 materiales seleccionables de los que destacan el polietileno de alta y baja densidad y el polipropileno como se muestra en la figura 60.

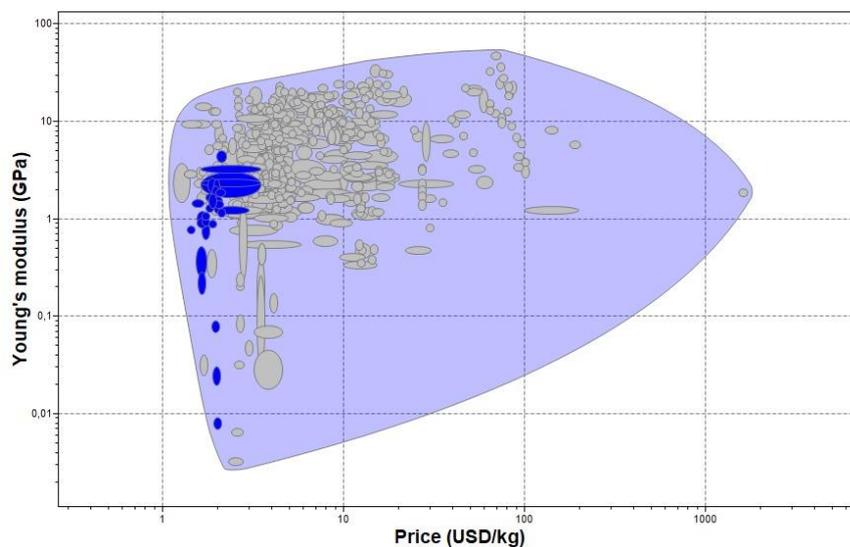


Figura 60. Selección de un polímero en función del precio y módulo de elasticidad

Teniendo en cuenta las aplicaciones del polietileno de alta densidad, usado en la fabricación de piezas inyectadas de espesor delgado y en el área de seguridad industrial como es la fabricación de cascos anti-impacto se selecciona como el material más idóneo para la fabricación de los visores.

### Simulación del proceso de inyección.

Una vez que se diseña el molde se, simula el proceso de inyección haciendo uso del análisis por elementos finitos, se determina una densidad y tamaño de elementos óptima. Las condiciones de contorno se resumen en la tabla 35 y se muestran en la figura 61.

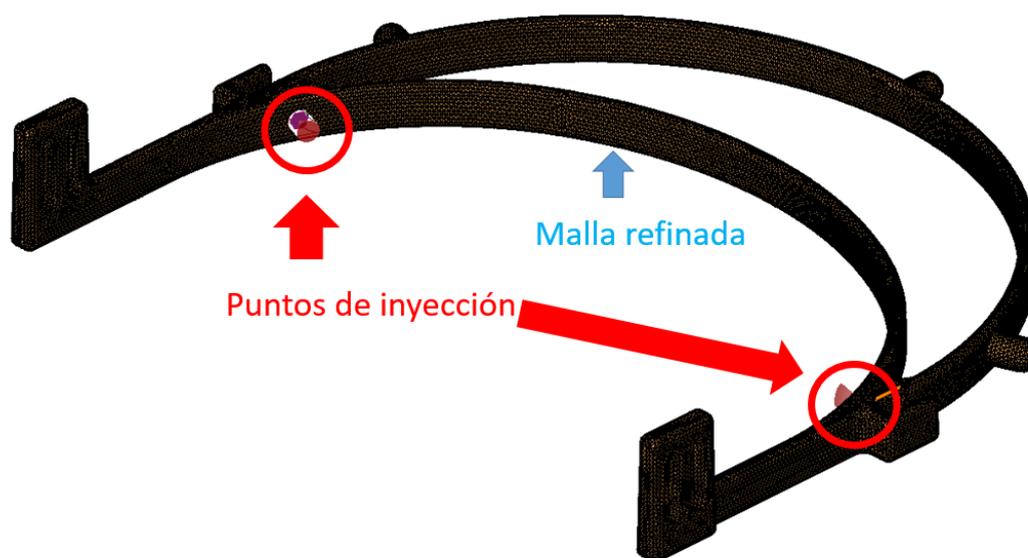


Figura 61. Condiciones de contorno para la simulación del proceso de inyección

Tabla 35

Condiciones para el proceso de simulación del proceso de inyección.

Características	Detalle
Material:	Polietileno de alta densidad.
Tipo de elementos:	Triangulares.
Tipo de malla:	Tridimensional.

En la búsqueda del tamaño de elemento y densidad de malla adecuada se realiza un análisis de convergencia haciendo uso de 9 mallas con distintos números de elementos en las que se mantiene un porcentaje de error inferior al 5%, los resultados se muestran en la tabla 36 y el análisis de convergencia en la figura 62.

Tabla 36

*Resultados de varias iteraciones de simulación para el proceso de inyección.*

Malla	Tamaño elemento (mm)	Nro. elementos	Dif. elementos	Tiempo de llenado (s)	Presión (MPa)	Error % Presión
1	1	230879		3,16	12,03	
2	1,005	229886	993	3,16	12,06	0,25
3	1,006	228741	1145	3,15	12,22	1,33
4	1,01	227894	847	3,15	12,5	2,29
5	1,013	226714	1180	3,2	12,1	3,20
6	1,016	225632	1082	3,15	12,05	0,41
7	1,017	224725	907	3,15	12,21	1,33
8	1,0179	223471	1254	3,14	12,06	1,23
9	1,0235	222546	925	3,12	12,3	1,99

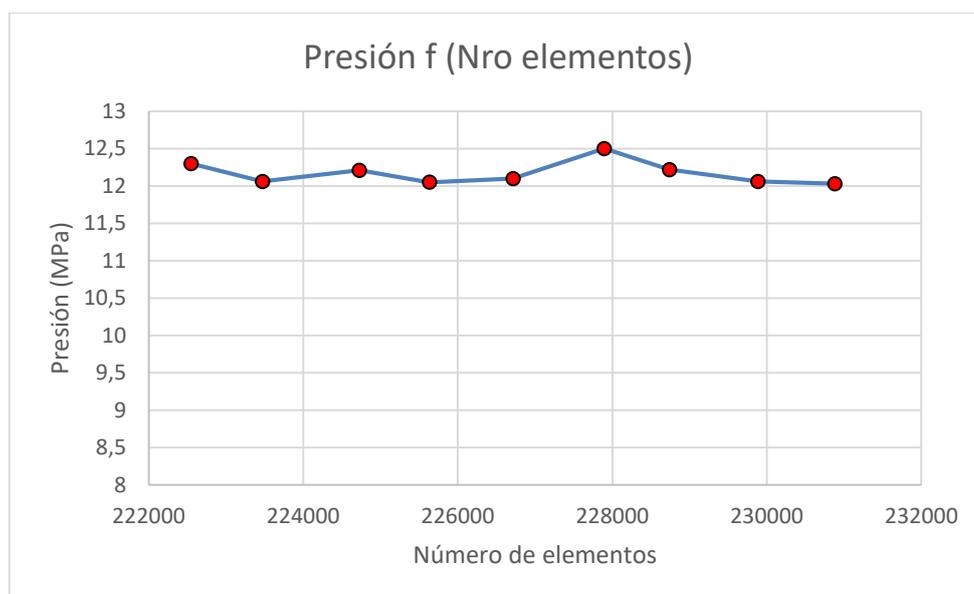


Figura 62. Análisis de convergencia para la simulación del proceso de inyección.

### **Selección de una especie de madera.**

De acuerdo con la tabla 25 las especies de madera se pueden encontrar en 3 presentaciones, tabla, tablón y bloque, siendo conveniente para la fabricación del molde únicamente una especie de madera en bloque debido a sus dimensiones de espesor de 80 mm, ancho 220 mm y largo 2.4 m.

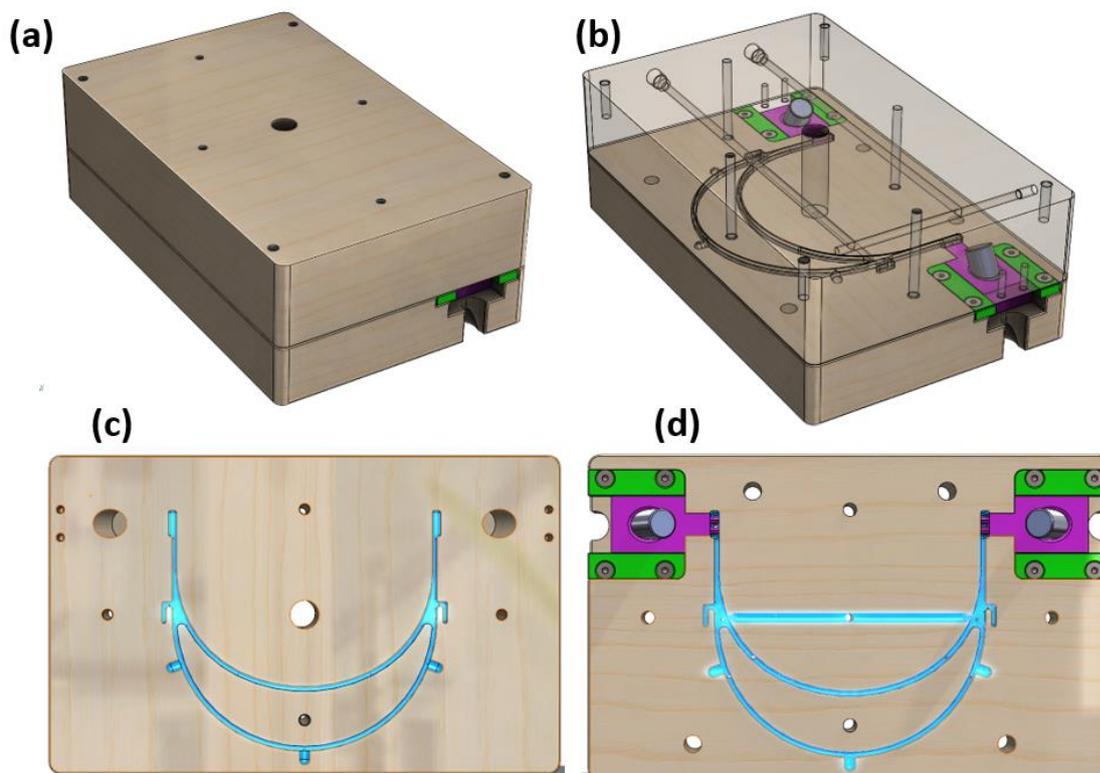
Las dos únicas especies de madera que se puede utilizar son madera de pino y laurel en presentaciones de bloque, debido a que sus dimensiones permiten la manufactura de un molde de inyección de plástico, sin embargo, no existe información fiable acerca de las características mecánicas de la madera de laurel y si información suficiente para realizar simulaciones de elementos finitos con madera de pino, es por ello que se decide usar bloques de madera de pino como material constitutivo a fin de garantizar la fiabilidad de los resultados.

### **Simulación de resistencia mecánica del molde de madera.**

Para garantizar la resistencia del material del molde se realiza una simulación de elementos finitos para un análisis estático del postizo lado inyector y postizo lado expulsor, se

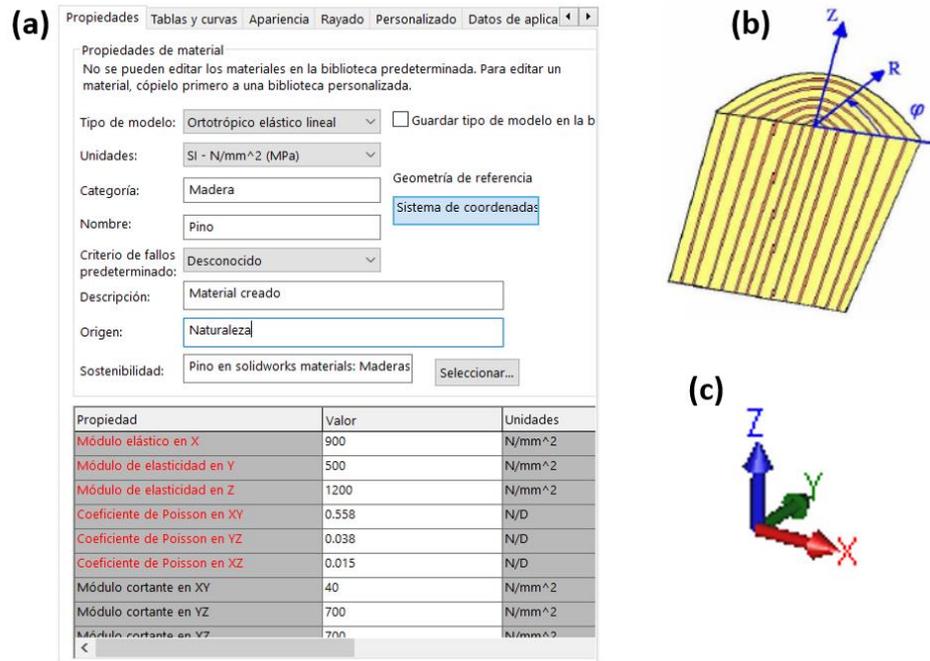
simplifica el modelo únicamente a los dos componentes como se muestra en la figura 63a, la aplicación de las condiciones de contorno se resume en la tabla 37.

Para la garantizar los resultados de la simulación se crea un material ortotrópico y se establecen las características mecánicas de acuerdo con la tabla 28, emulando la madera de pino. La creación de un nuevo material se muestra en la figura 64.



*Figura 63.* Núcleo y cavidad para la simulación estática.

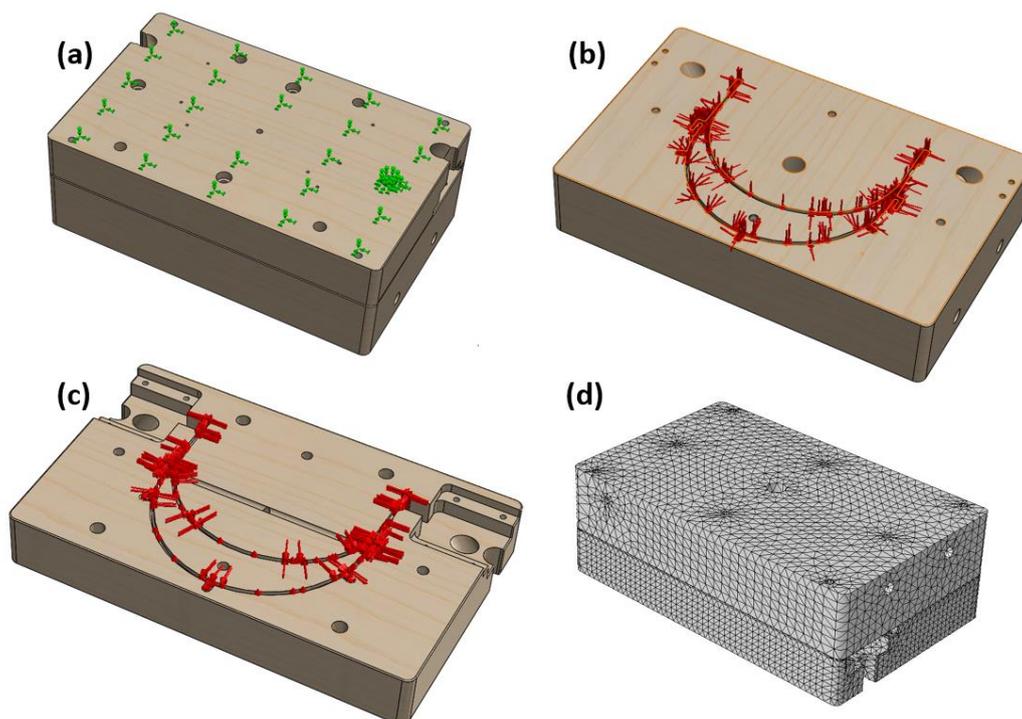
(a) Molde ensamblado (b) Vista interior del molde (c) Superficie para aplicar condiciones de contorno en el núcleo (d) Superficie para aplicar condiciones de contorno en la cavidad.



*Figura 64. Creación del material de simulación.*

(a) Ingreso de propiedades mecánicas (b) Direcciones del comportamiento del material ortotrópico (c) Sistema de coordenadas de referencia para la simulación.

Para la ejecución del análisis estático, se establece una geometría fija (ver figura 64a), se aplica una fuerza de presión (ver figura 65b y 65c) equivalente a la producida en el proceso de inyección y obtenida en el proceso de simulación de inyección, finalmente se determina un tamaño de elemento y densidad de malla adecuado (ver figura 65d).



*Figura 65. Aplicación de condiciones de contorno*

(a) Sujeción de geometría fija (b) Aplicación de una fuerza de presión en el núcleo (c) Aplicación de una fuerza de presión en la cavidad (d) Generación de una malla de elementos 3d.

Tabla 37

*Condiciones para la simulación estática.*

Características	Detalle
Tipo de elementos	tetraedro
Tipo de malla	Tridimensional
Material:	Madera de pino – ortotrópico
Fuerza de presión.	12.22 MPa

En el análisis de convergencia se hace uso de 9 simulaciones con diferente tamaño de elemento y densidad de malla, mostrando un error porcentual inferior al 5 %, los resultados se muestran en la tabla 38 y el gráfico de convergencia en la figura 66.

Tabla 38

*Resultados de varias iteraciones de simulación para el análisis estático.*

Malla	Tamaño del elemento (mm)	Nro de elementos	diferencia de elementos	Esfuerzos Combinados (MPa)	Error %
1	10,34	208925		73,1	
2	10,1	210043	1118	71,9	1,64
3	10,05	211156	1113	71,9	0,00
4	9,965	211996	840	72	0,14
5	9,961	213300	1304	71,8	0,28
6	9,96	214802	1502	71,9	0,14
7	9,94	215903	1101	73,3	1,95
8	9,938	216997	1094	73,4	0,14
9	9,92	218201	1204	73,2	0,27

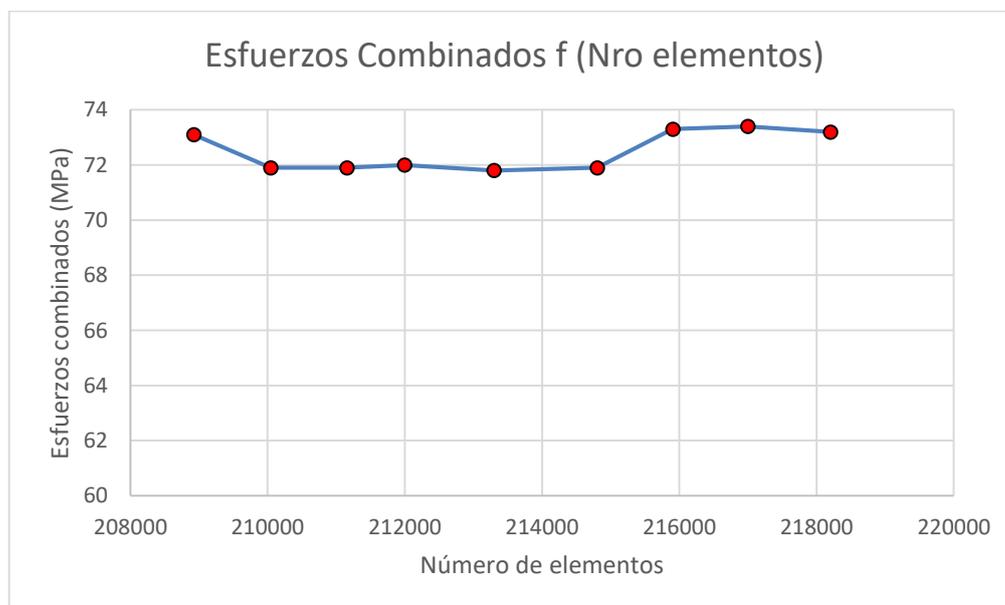


Figura 66. Análisis de convergencia para la simulación estática

## Selección de los parámetros de corte de las maderas.

Los parámetros de corte seleccionados para la madera son  $V_c$  de 100 m/min y un avance de 0.02 mm por diente para cada herramienta de fresado de acuerdo con los fabricantes Zabiola, Tecnocorte y Vinyl Shop fabricantes de herramientas. los resultados del proceso de mecanizado se muestran en la sección de resultados.

## Proceso experimental de inyección de plástico.

Para garantizar la simulación del proceso de inyección, el fácil desmoldeo y correcto llenado en el proceso de inyección se construye un molde prototipo haciendo uso de varias herramientas, instrumentos y equipos que se resumen en la tabla 39 y se muestran en la figura 67.



Figura 67. Materiales para la construcción de un molde de inyección prototipo

Tabla 39  
*Descripción de materiales para el prototipado de un molde*

Denominación	Descripción	Detalle
1	Material de impresión 3d	2 kg PLA x 1.75 mm
2	Herramientas manuales	Motor tool
3	Impresora 3d	Tecnología FDM
4	Instrumento de metrología	Calibrador pie de rey
	Pernos y arandelas.	4 pernos M8x80
		6 pernos M8x70
		2 pernos M8x60
5		2 pernos M8x20
		8 pernos M6x20
		6 arandelas planas 8 mm
6	Herramientas de ensamble	Hexágonos en mm
	Ejes	8 ejes de 3 mm
7		1 eje de 6 mm
		4 ejes de 12 mm
	Herramientas para roscado	Bandeador.
8		Machuelos M6x1.0
		Machuelos M8x1.25

Las partes del modelo del postizo lado inyector y postizo lado expulsión han sido modificadas para imprimirse en 3 partes a fin de mantener un prototipo a escala real, las partes impresas para el experimento se muestran en la figura 68 y su descripción en la tabla 40.



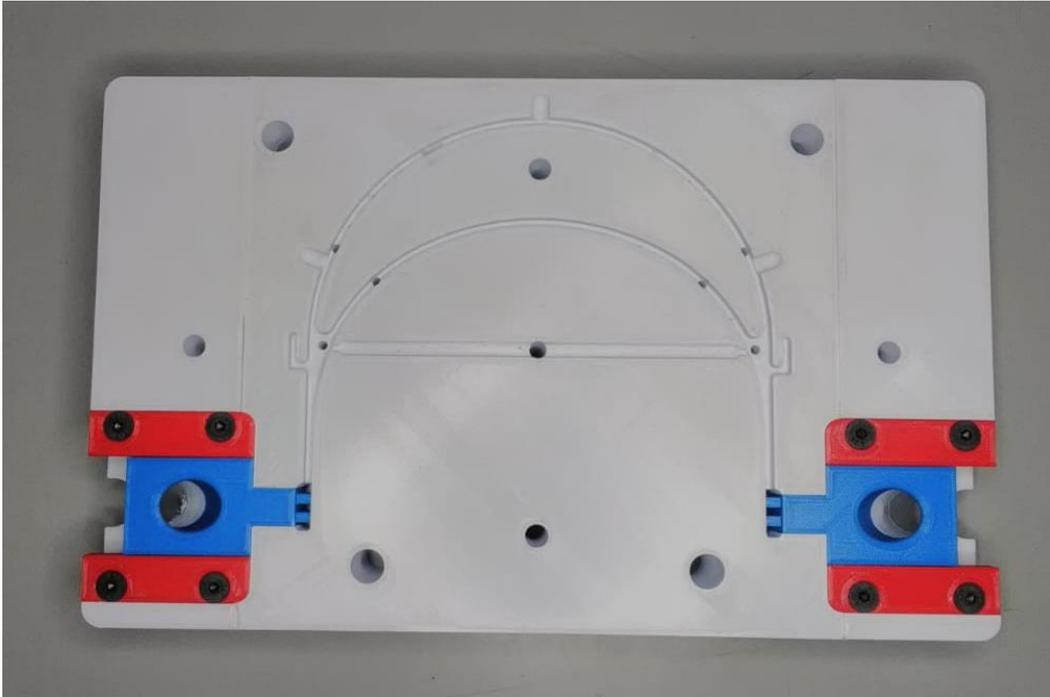
Figura 68. Piezas impresas en 3d

Tabla 40

*Descripción de las partes impresas en 3d*

Denominación	Descripción	Indicaciones
1	Cavidad	Ensamblar las 3 partes
2	Núcleo	Ensamblar las 3 partes
3	Placa de respaldo - expulsión	Sujetar a placa expulsora
4	Placa expulsora	Insertar expulsores
5	Insertos del molde	Ensamblar en la cavidad
6	Patines	Ensamblar en la cavidad
7	Columnas	Ensamblar en el núcleo
8	Acople para simular inyección de plástico	Acoplar el bote con resina.

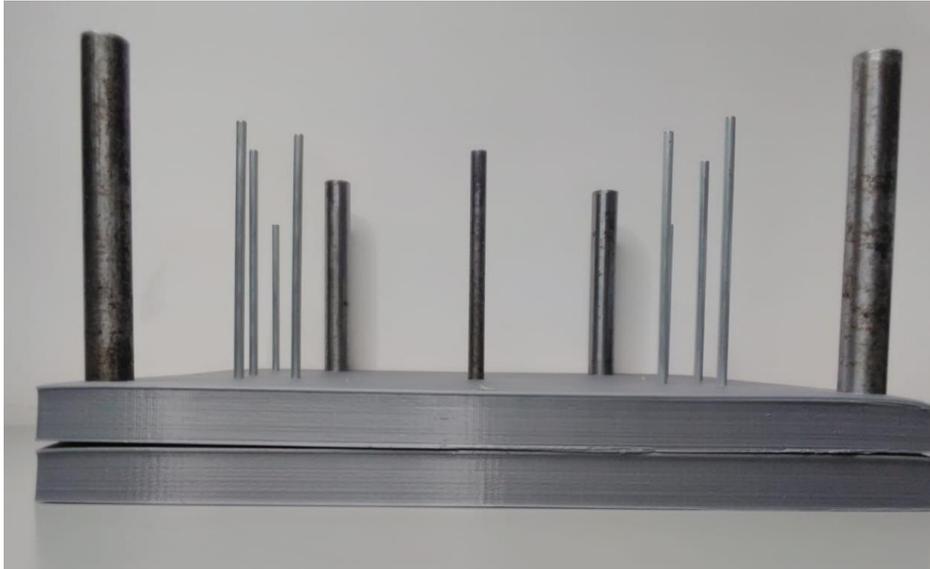
En las figuras 69 y 70 se muestra el ensamble de las diferentes partes constitutivas para el postizo lado expulsión y postizo lado inyección respectivamente. la figura 71 muestra el ensamble del sistema de expulsión y la figura 72 muestra el ensamble del sistema de expulsión con el postizo hembra.



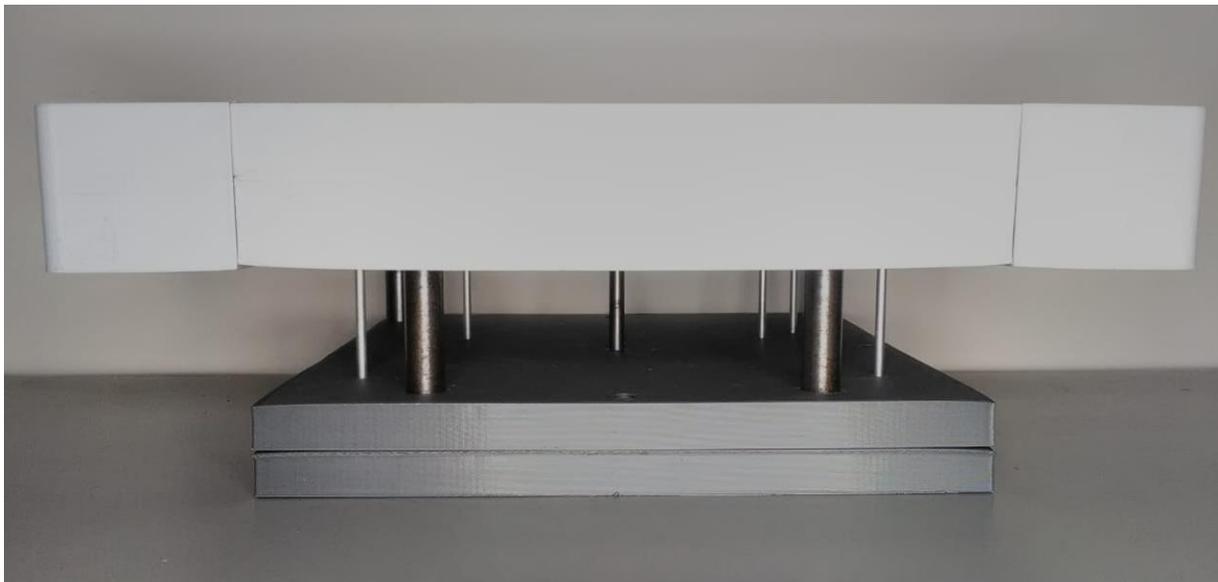
*Figura 69.* Ensamble de partes de la cavidad.



*Figura 70.* Ensamble de partes del núcleo.



*Figura 71.* Ensamble del sistema de expulsión.



*Figura 72.* Ensamble del lado expulsor.

La figura 73 muestra el ensamble total del molde prototipo incluido un acople impreso en 3d (color azul) que permite simular el proceso de inyección. La figura 74 muestra los materiales usados para crear un material plástico que se introduce en el molde prototipo y se detalla en la tabla 41.

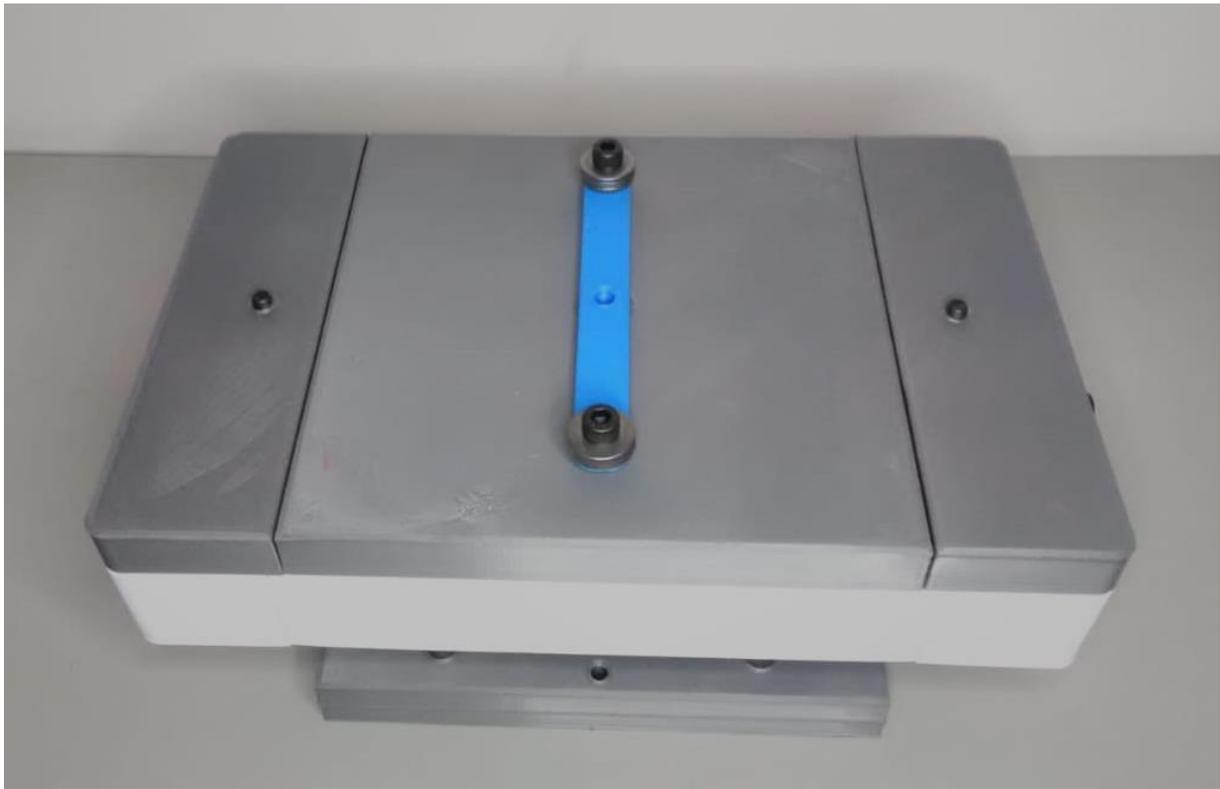


Figura 73. Ensamble completo del lado expulsor e inyector.



Figura 74. Herramientas y materiales para simular la inyección de plástico.

Tabla 41

*Herramientas y materiales para simular la inyección de plástico.*

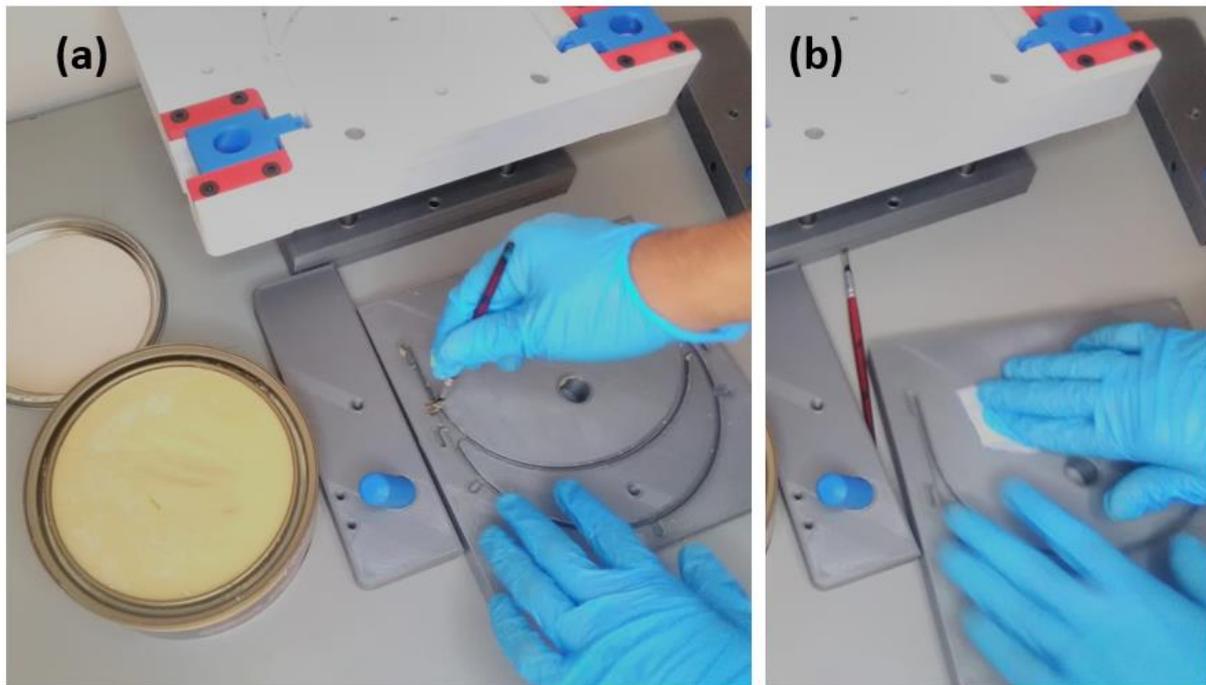
Denominación	Descripción	Indicaciones
1	Resina de poliéster	Fluido principal
2	Acelerante de cobalto	Agregar a la mezcla
3	Catalizador	Agregar a la mezcla
4	Estireno	Disminuye la densidad
5	Bote para inyectar resina	Insertar la resina mezclada
6	Pistola inyectora	Inyectar la resina en el molde
7	Cera para desmoldeo	Aplicar en el molde

La preparación del molde se realiza con la aplicación de cera de desmoldeo en las superficies que están en contacto con la resina de poliéster como se muestra en la figura 75, es necesario aplicaría varias veces (no menos de 5) como se muestra en la figura 75a y retirar el producto después de cada aplicación (ver figura 75b) como recomienda el fabricante de la cera para desmoldeo. Para ejecutar el proceso de simulación de inyección se mezcla resina de poliéster, estireno, octoato de cobalto y catalizador en las proporciones que se muestra en la tabla 42, el proceso se observa en la figura 76 y la ejecución de la inyección en la figura 77.

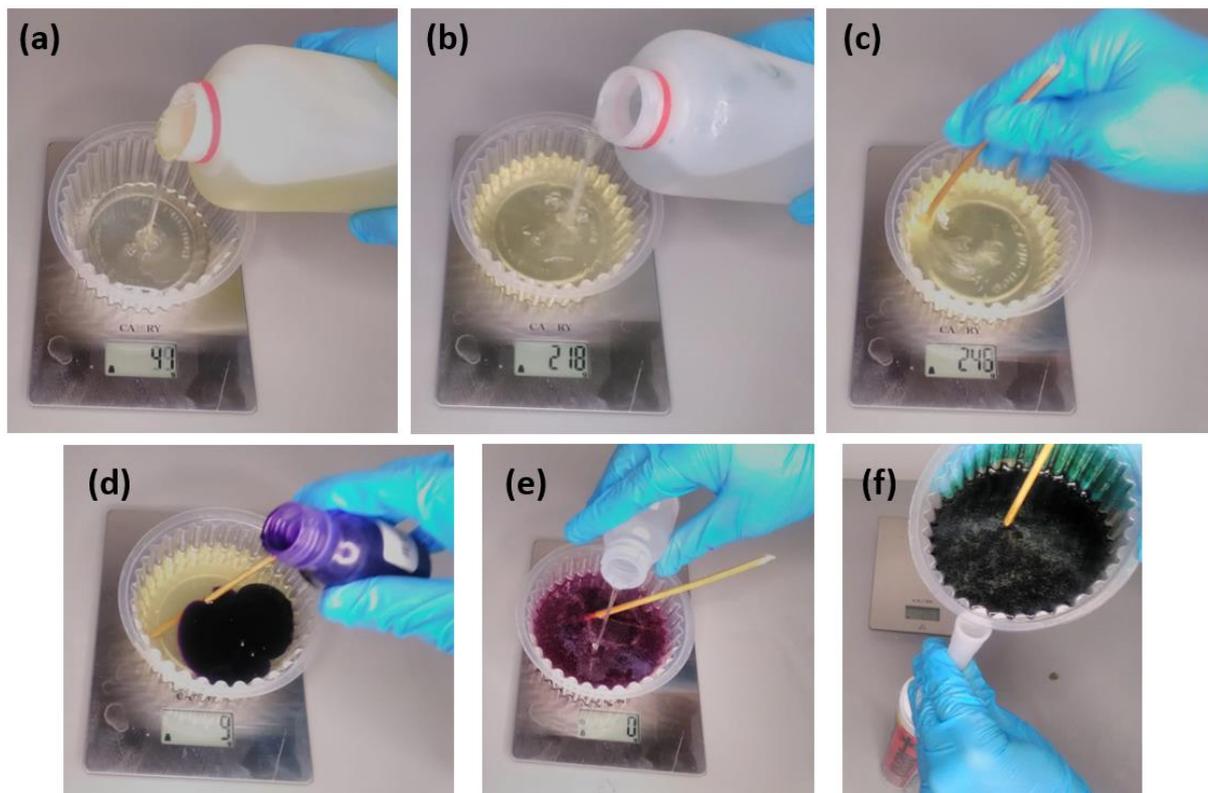
Tabla 42

*Cantidades en gramos para la mezcla de resina*

Componente	Peso o volumen calculado
Resina de poliéster	200 gramos
Estireno	20 gramos
Octoato de cobalto	1 gramo
Catalizador	5 gramos



*Figura 75.* Preparación del molde de inyección prototipo.  
 (a) Aplicación de cera de desmoldeo (b) Limpieza de restos de cera



*Figura 76.* Proceso de mezcla de resina.  
 (a) Agrega resina (b) Agrega estireno (c) mezcla (d) Agregar cobalto (e) agregar catalizador  
 (f) ingresar resina al bote de inyección.



*Figura 77.* Simulación del proceso de inyección.

## Análisis de resultados y discusión.

### Proceso de inyección de plástico.

El protector facial se inyecta a los 3.14 segundos como se muestra en la figura 78, el punto más alejado en llenarse se encuentra en el pin central que sostiene el visor de PET.

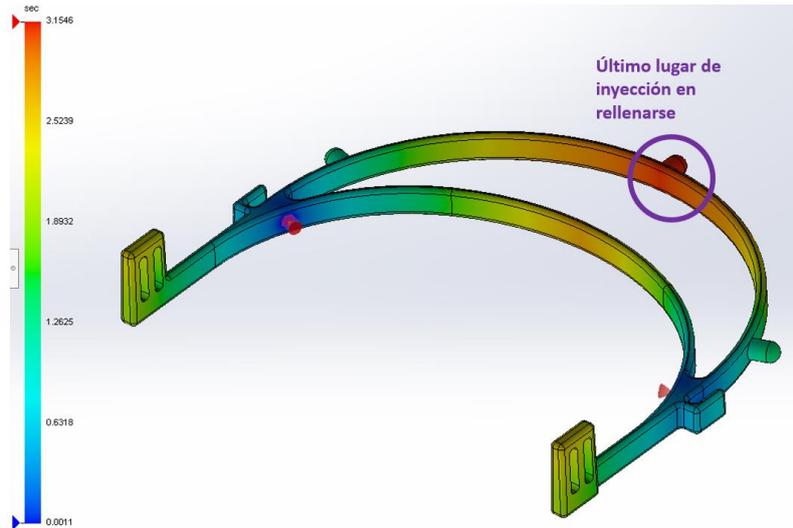


Figura 78. Tiempo de llenado del proceso

La presión final de llenado del molde se encuentra en 12.22 MPa, los lugares que presentan mayor presión al inyectarse se ubican en la parte posterior del modelo, específicamente en las perforaciones para sujetar la banda elástica, los resultados se muestran en la figura 79.

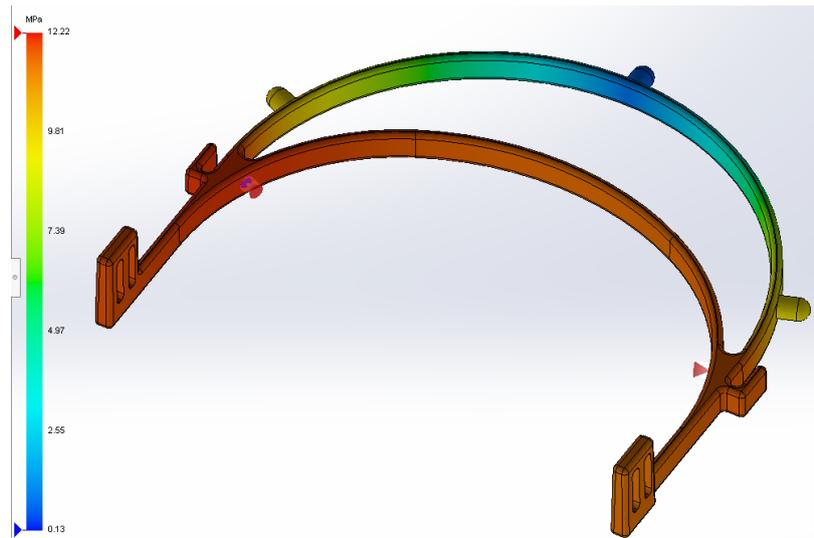


Figura 79. Presión al final del llenado

La temperatura máxima en el proceso se establece en 210 grados y está acorde con la temperatura de fusión del polietileno de alta densidad, los resultados se muestran en la figura 80.

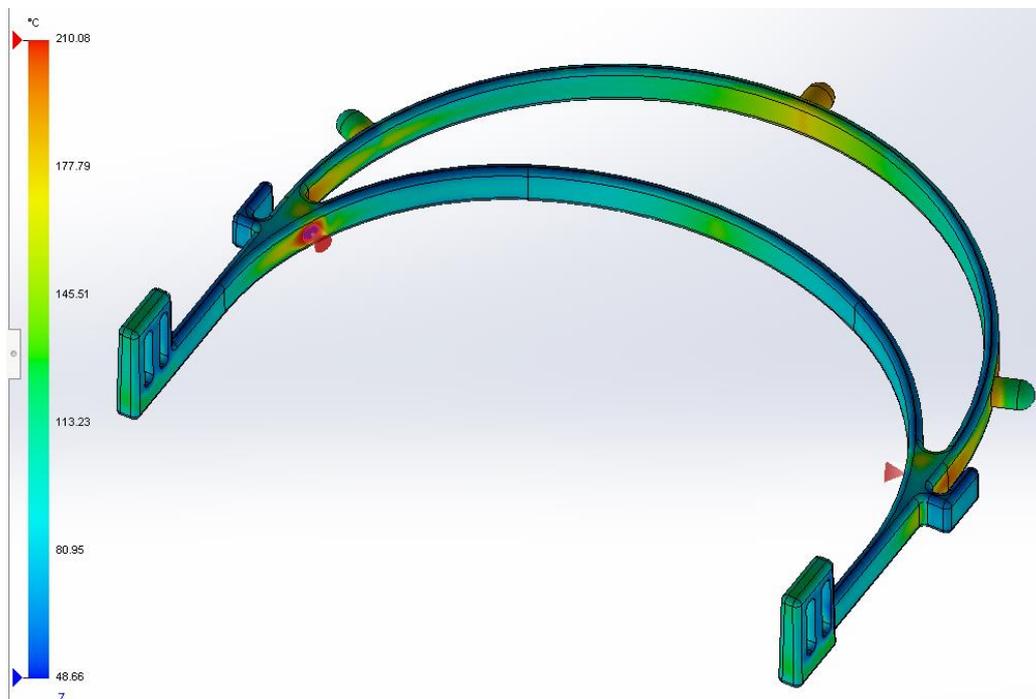
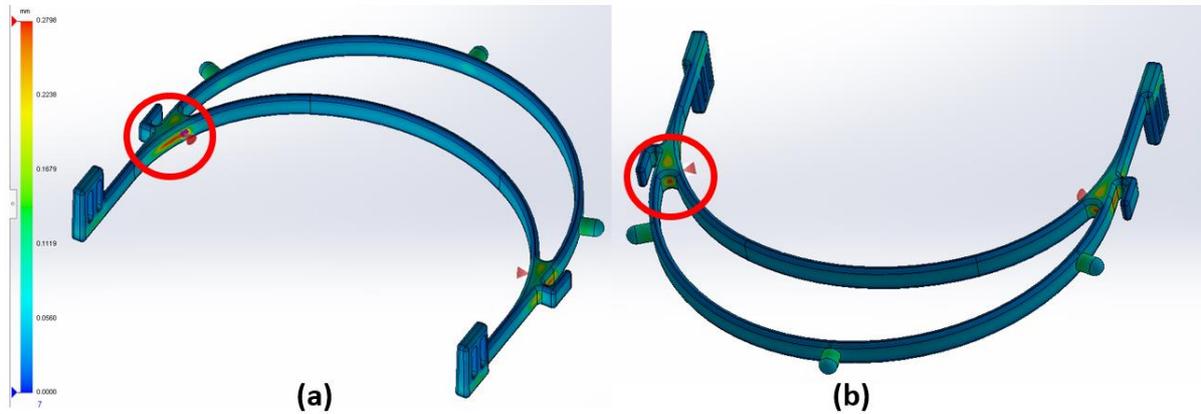


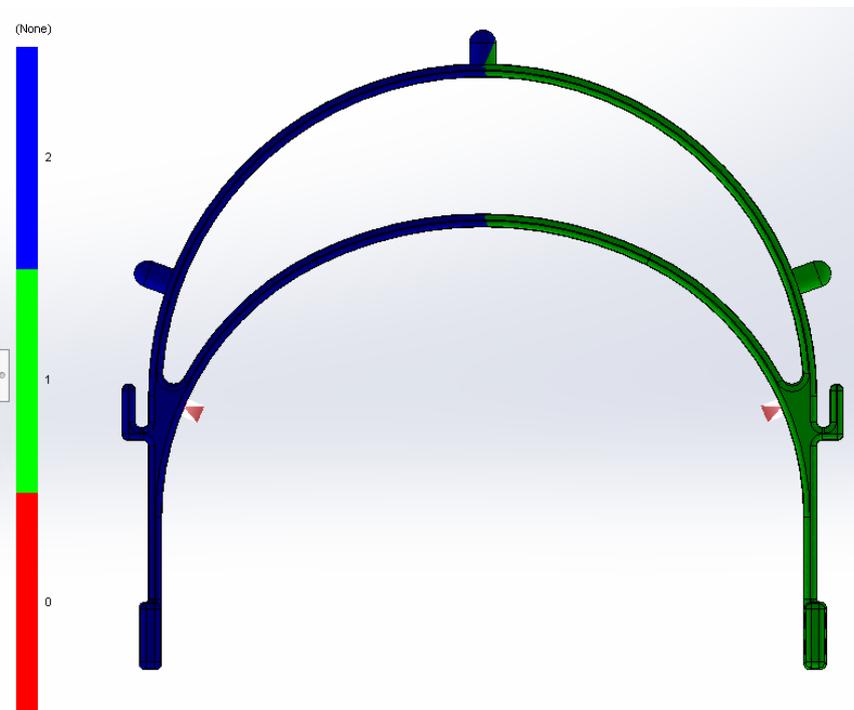
Figura 80. Temperatura durante el proceso de inyección

Los posibles rechupes se muestran en donde existe mayor cantidad de masa como se muestra en la figura 81a y 81b.



*Figura 81.* Rechupes en el proceso de inyección.  
(a) Vista superior (b) Vista interior

El modelo tiene dos puntos de inyección ubicados a los extremos en la parte central, la figura 82 garantiza el aporte igualitario de cada punto de inyección al modelo.



*Figura 82.* Contribución de los puntos de inyección

La facilidad del llenado se muestra en óptimas condiciones a través de la figura 83, garantizando la obtención de piezas inyectadas.

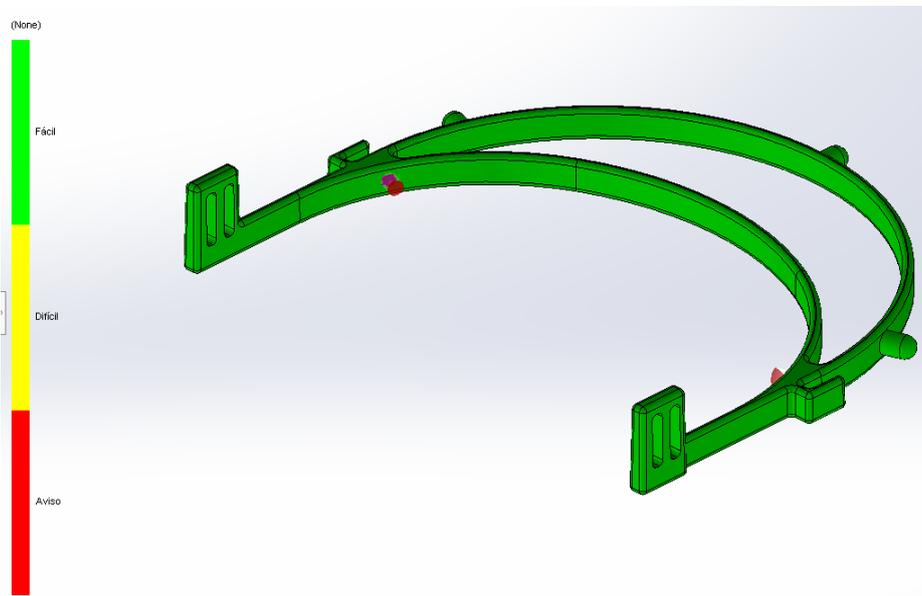


Figura 83. Facilidad de llenado del proceso de inyección.

Las figuras 84 y 85 muestran los atrapamientos de aire y líneas de soldadura respectivamente. Los atrapamientos de aire ocurren en los puntos más alejados de inyección para punto, mientras que las líneas de soldadura se presentan en la parte central del modelo principalmente.

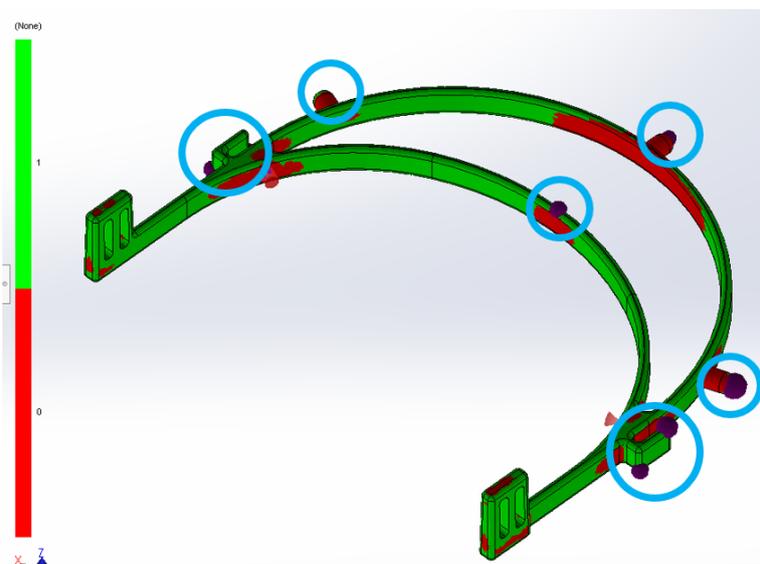


Figura 84. Atrapamientos de aire durante el proceso de inyección.

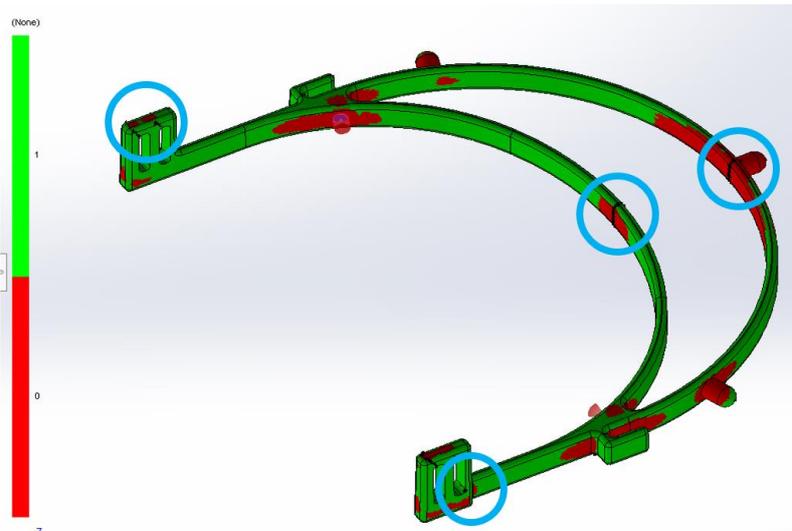


Figura 85. Región solidificada y puntos de soldadura

### Análisis de resistencia del molde de inyección fabricado en Madera.

La figura 86 muestra la distribución de esfuerzos en el postizo lado inyector, el esfuerzo máximo es 50.2 MPa, la distribución de esfuerzos no se propaga a partes muy alejadas del punto de aplicación de presión, se distribuye uniformemente y se atenúa hasta llegar a ser cero en los extremos del molde.

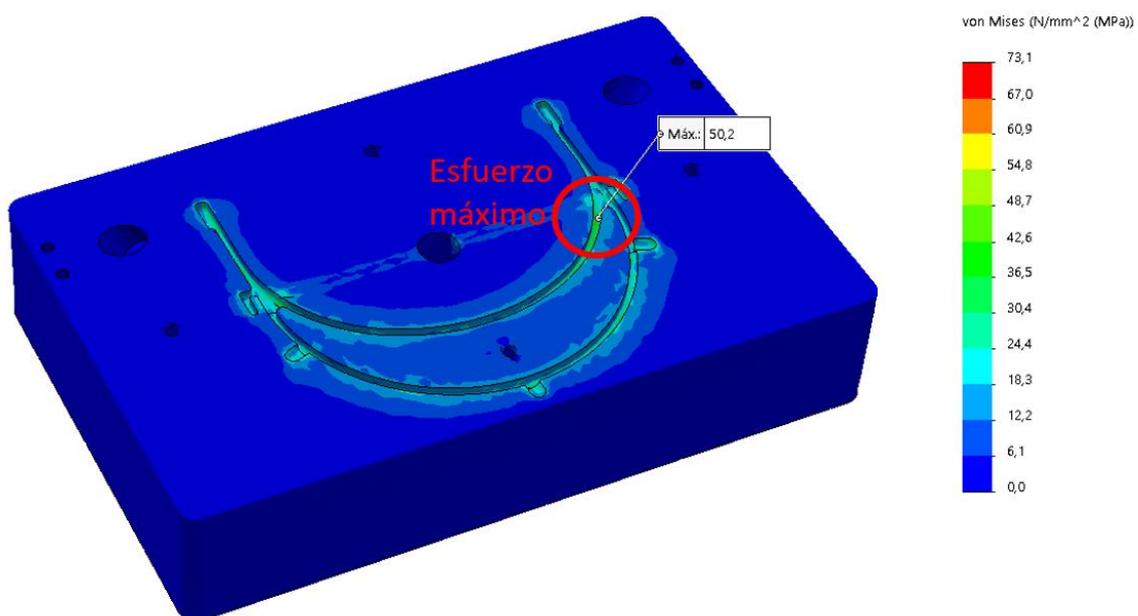
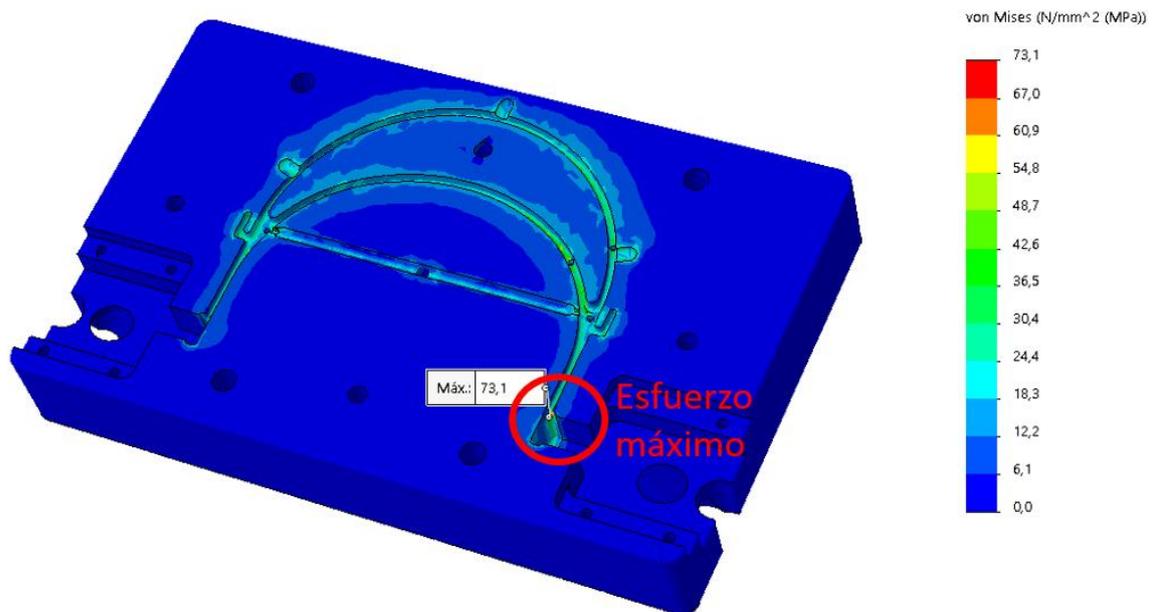


Figura 86. Distribución de esfuerzos combinados en el postizo lado inyección.

La figura 87 muestra la distribución de esfuerzos en el postizo lado expulsor, el esfuerzo máximo es 73.1 MPa y se ubica alrededor del inserto, la distribución de esfuerzos no se propaga a partes muy alejadas del punto de aplicación de presión, se distribuye uniformemente y se atenúa hasta llegar a ser cero en los extremos del molde.



*Figura 87.* Distribución de esfuerzos combinados en el postizo lado expulsión.

Los factores de seguridad para el postizo lado inyector y postizo lado expulsor son 4.5 y 3.1 respectivamente y se muestran en la figura 88 y 89. El factor de seguridad superior a 1 garantiza la resistencia del molde al proceso de inyección de plástico.

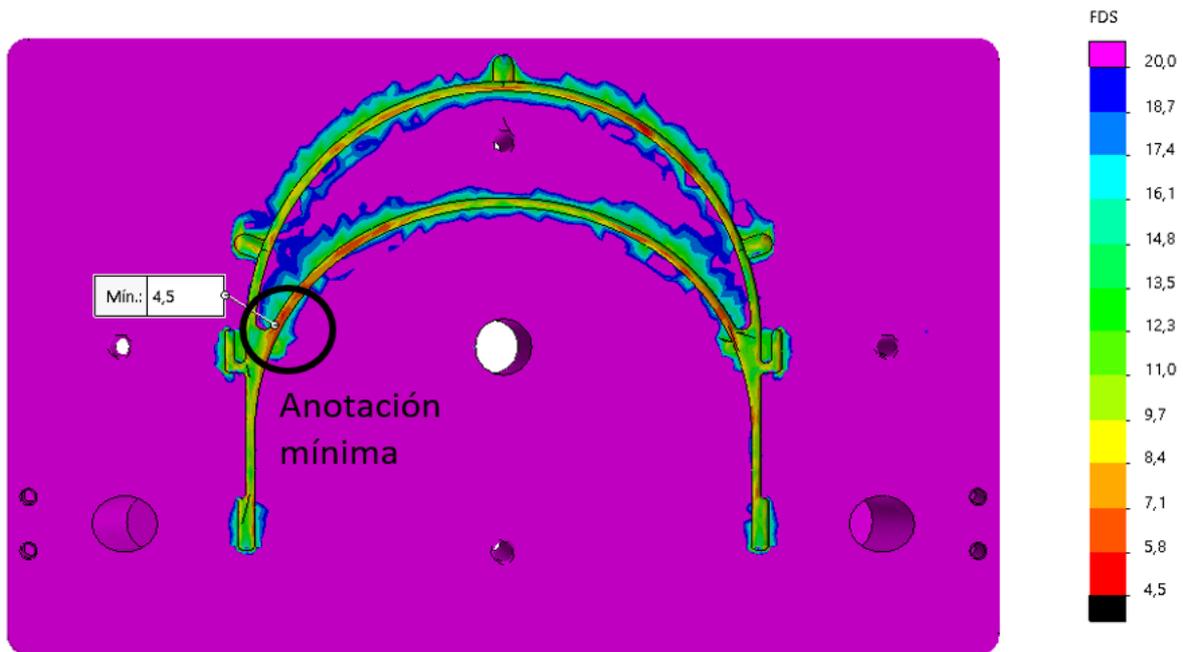


Figura 88. Distribución del factor de seguridad en el postizo lado inyección.

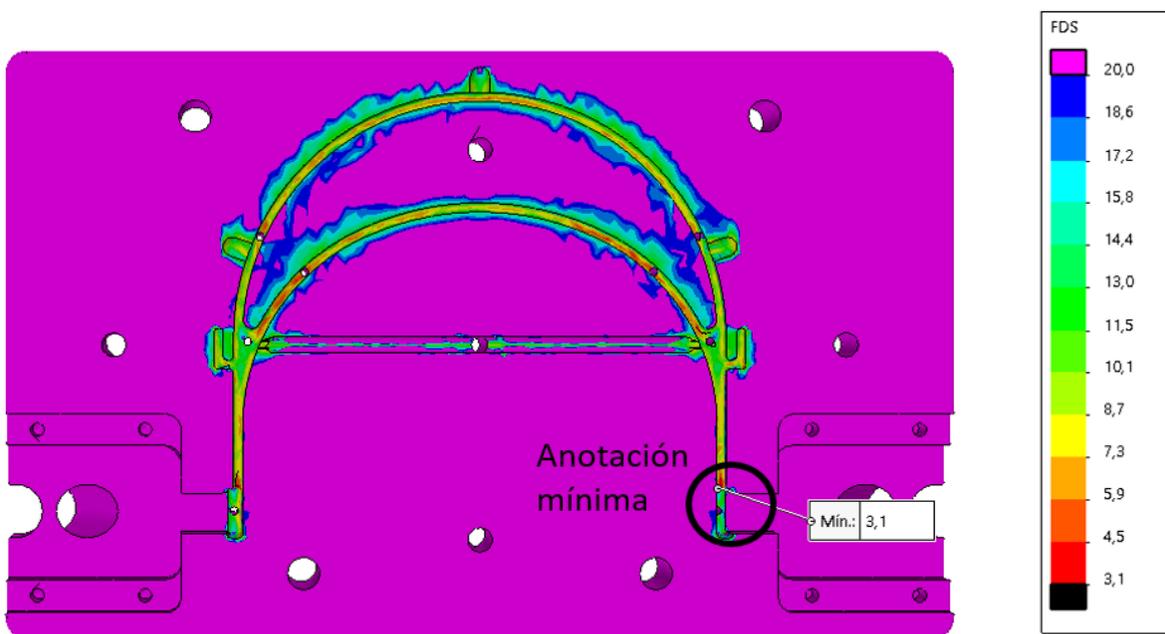
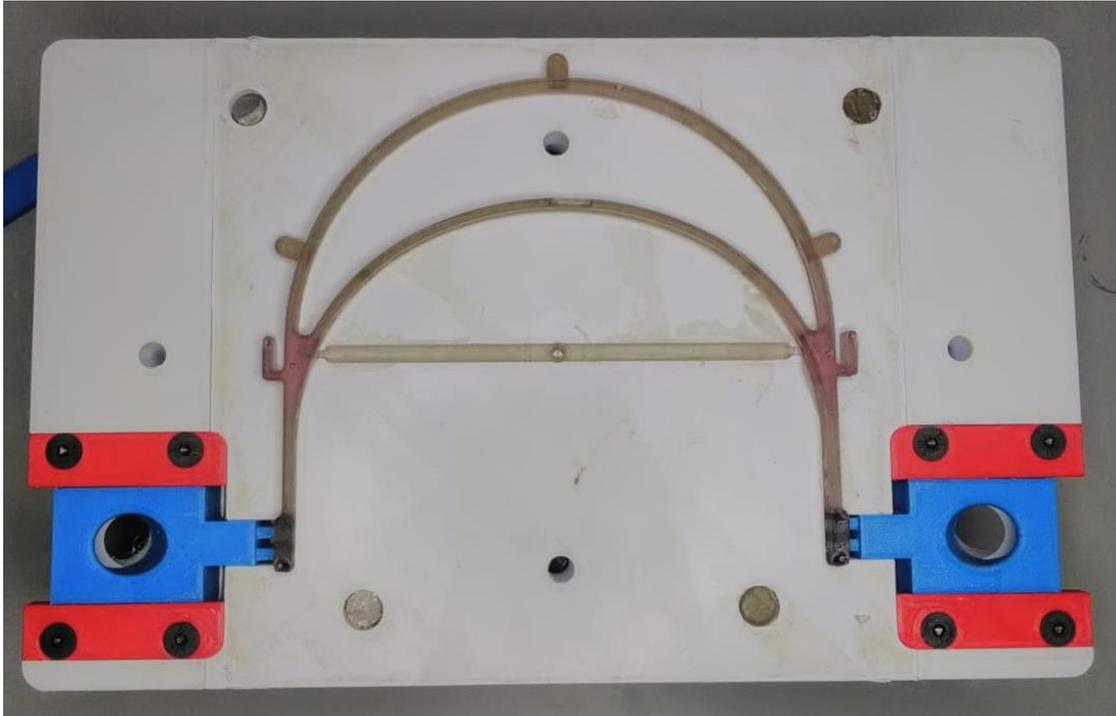


Figura 89. Distribución del factor de seguridad en el núcleo.

### Análisis del llenado del molde experimental

La figura 90 muestra el molde y la pieza resultante de resina poliéster, es fácil de extraer garantizando que el ángulo el sistema de salida es correcto en el molde, se ha probado de expulsión y funciona para extraer la parte inyectada que se muestra en la figura 91.

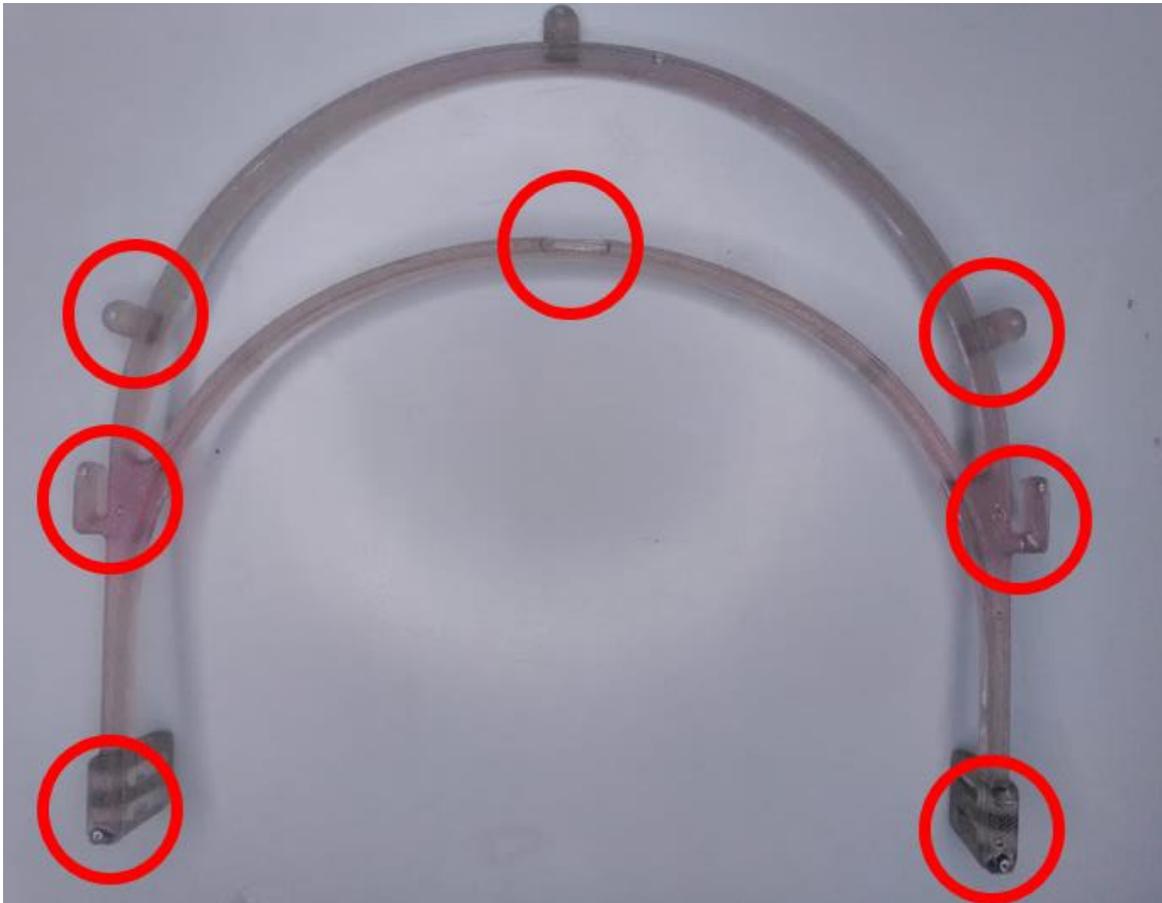


*Figura 90.* Resultado del proceso de inyección.



*Figura 91.* Parte de resina resultante del experimento

En la figura 92 se muestra varios atrapamientos de aire en el molde que pueden ser asociados a los atrapamientos de aire presentes en la simulación del proceso de inyección



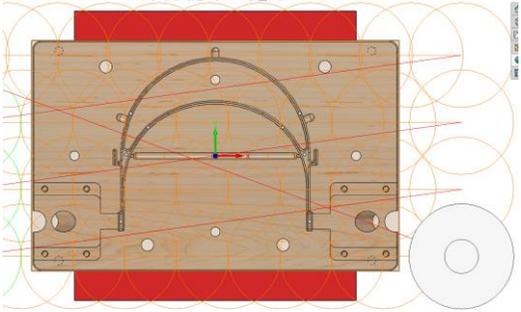
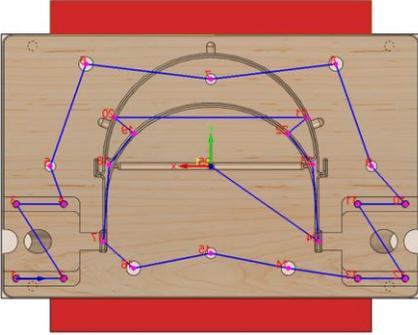
*Figura 92. Atrapamiento de aire en la parte de resina*

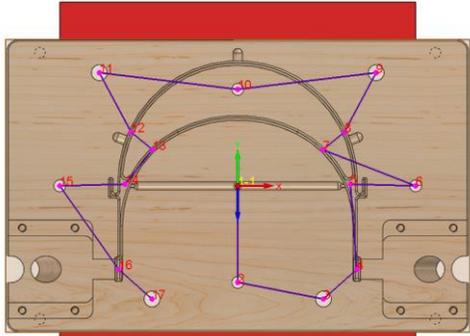
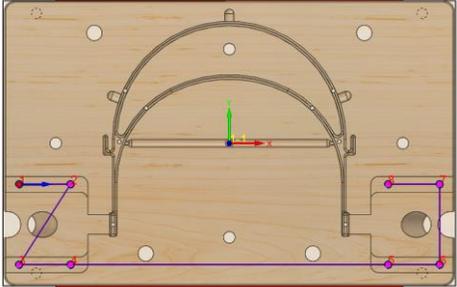
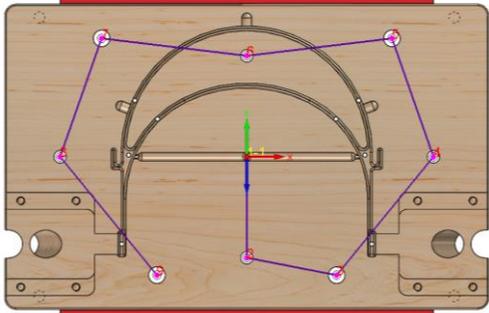
### **Mecanizado de las partes del molde de inyección de plástico.**

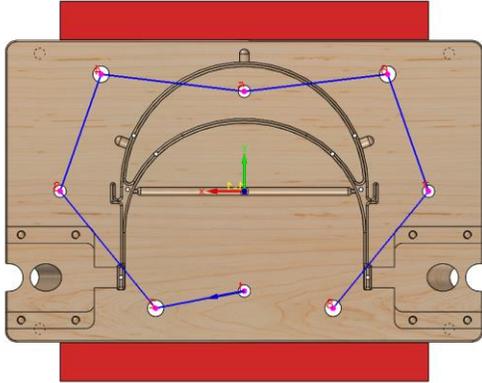
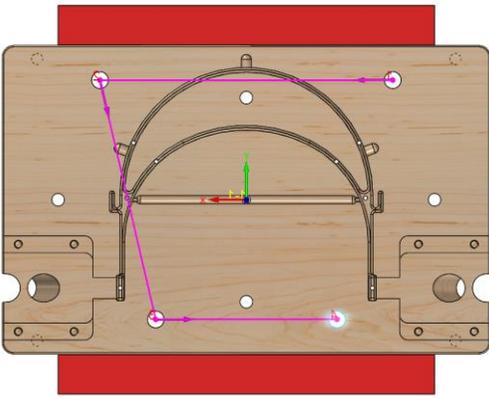
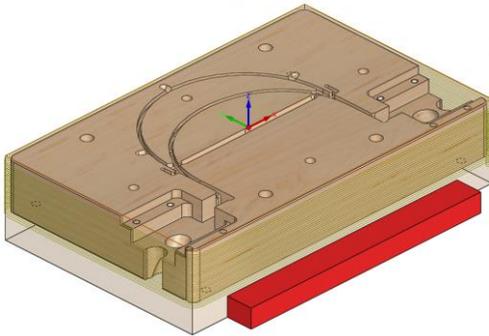
Las estrategias de mecanizado y operaciones se resumen en las hojas de proceso 1 a 6 que se muestran a continuación.

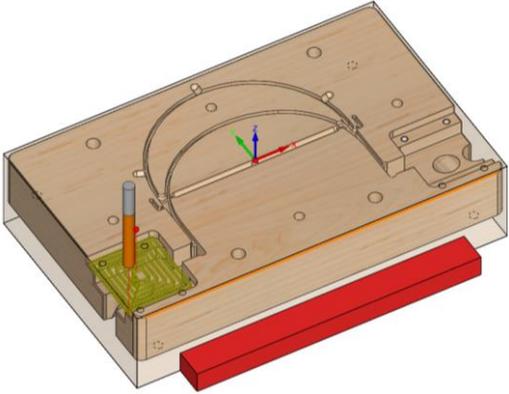
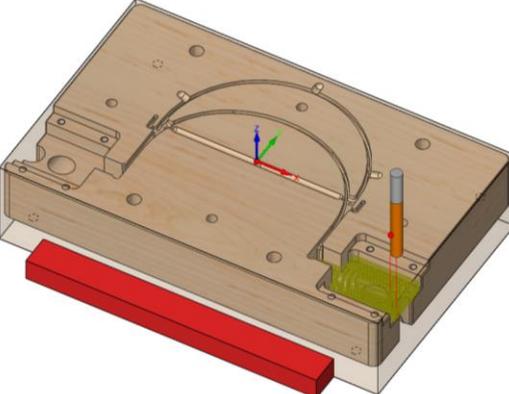


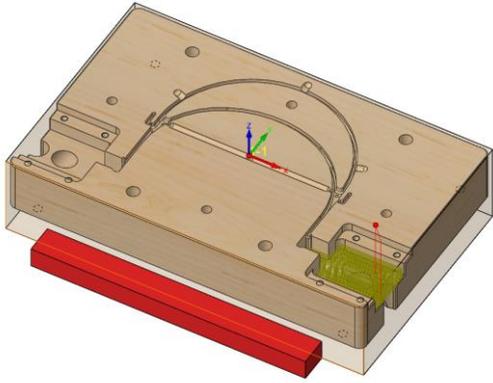
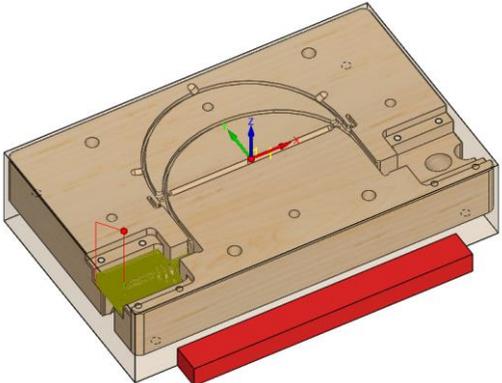
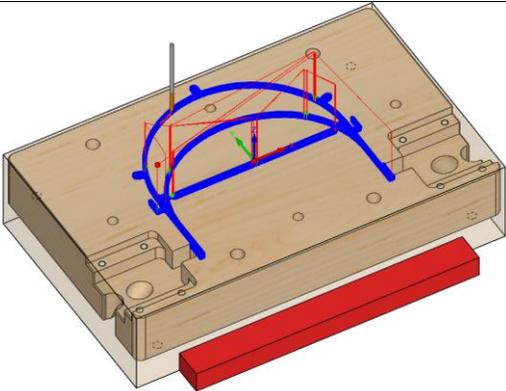


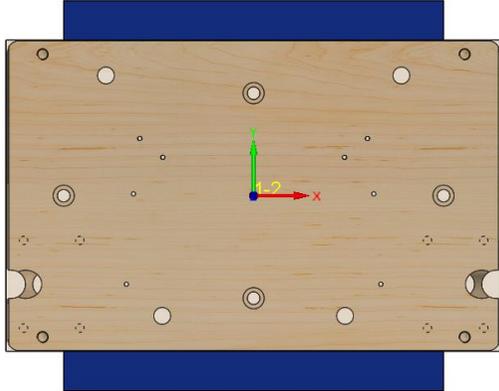
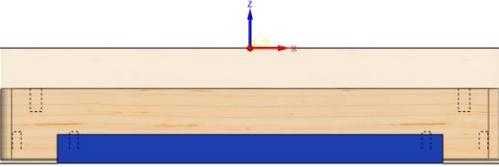
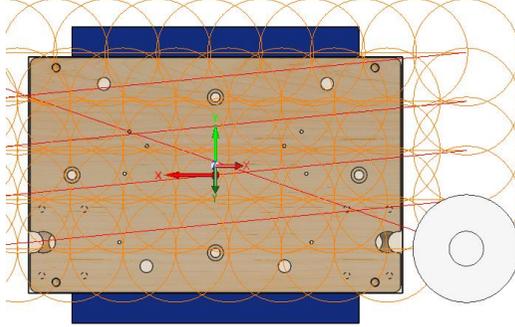
2. Planeado	1	Ejecutar el programa: 1 - Planeado - hta 100 mm		Calibrador pie de rey –  Hta: Fresa plana de 100 mm	2	1	318	25,4	3
3. Perforaciones de	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: Broca de centros.					2
	2	Ejecutar el programa: 2 – Perforaciones – Broca de centros.		Verificar 25 perforaciones	2	1.5	1000	50	4
4	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: Broca de 3mm L:60					2

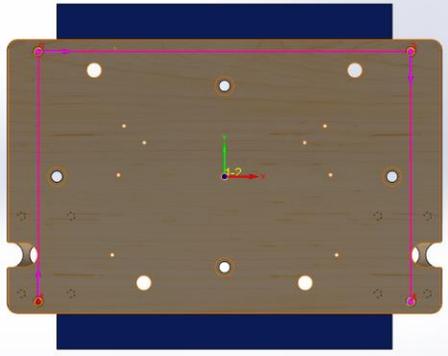
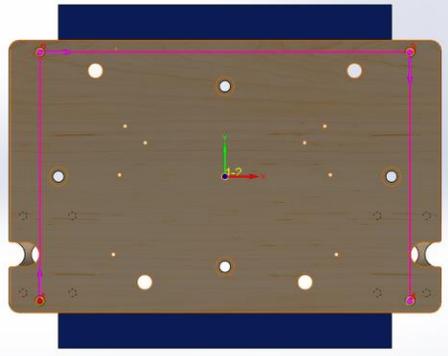
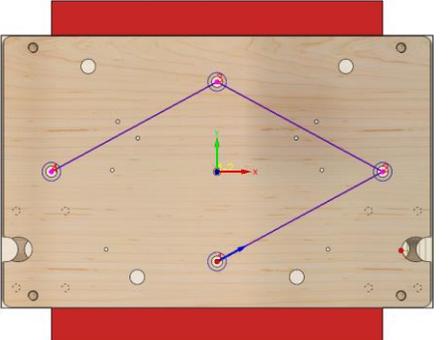
	2	Ejecutar el programa: 3 – Perforaciones – Broca de 3 mm.		Verificar 17 perforaciones	11	5	1500	50	28
5. Roscado interno	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: Broca de 5mm L:40					2
	2	Ejecutar el programa: 4 – Perforaciones – Broca de 5 mm.		Verificar 8 perforaciones	5	5	1000	50	6
	3	Roscado manual M6x1		Machuelo M6x1.0					3
6. Perforaciones de 6	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: Broca de 6mm L:70					2
	2	Ejecutar el programa: 5 – Perforaciones – Broca de 6 mm.		Verificar 9 perforaciones	11	5	700	50	14.5

7. Perforaciones de 9	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: Broca de 9mm L:70						2
	2	Ejecutar el programa: 6 – Perforaciones – Broca de 9 mm.		Verificar 8 perforaciones	11	5	600	50	6.5	
8. Perforaciones de 12	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: Broca de 12 mm L:70						2
	2	Ejecutar el programa: 7 – Perforaciones – Broca de 9 mm.		Verificar 4 perforaciones	11	5	500	50	3.5	
9. Perfilado Externo	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: Fresa plana de 10 mm y 4 filos						2
	2	Ejecutar el programa: 8 – Perfilado – fresa de 10 mm.		Medir ancho: 219 mm Medir largo: 350	26	2	3183	254	120	

10. Vaciado para patines	1	Ejecutar el programa: 9 – Vaciado apoyo Patín – fresa de 10 mm.		Hta: Fresa plana de 10 mm y 4 filos	8	1	3183	254	30
	2	Ejecutar el programa: 10 – Vaciado 2 apoyo Patín – fresa de 10 mm.		Hta: Fresa plana de 10 mm y 4 filos	8	1	3183	254	30

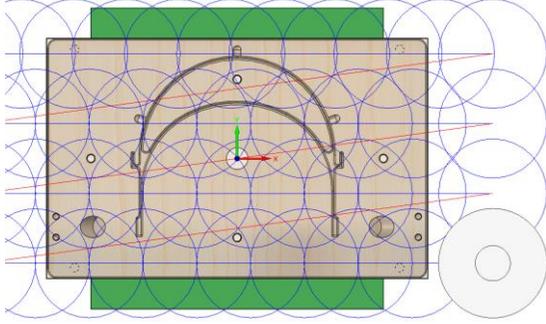
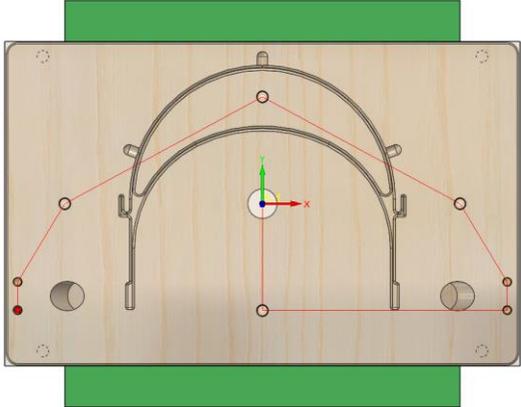
11. Vaciado apoyo insertos	1	Ejecutar el programa: 11 – Vaciado apoyo Inserto – fresa de 10 mm.		Hta: Fresa plana de 10 mm y 4 filos	13	1	3183	254	9
	2	Ejecutar el programa: 12 – Vaciado apoyo Inserto – fresa de 10 mm.		Hta: Fresa plana de 10 mm y 4 filos	13	1	3183	254	9
12. Contorno 3d	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: Fresa redonda de 3 mm y 2 filos					2
	2	Ejecutar el programa: 13 – Contorno 3d – fresa de 3 mm.				80	0.25	10000	424

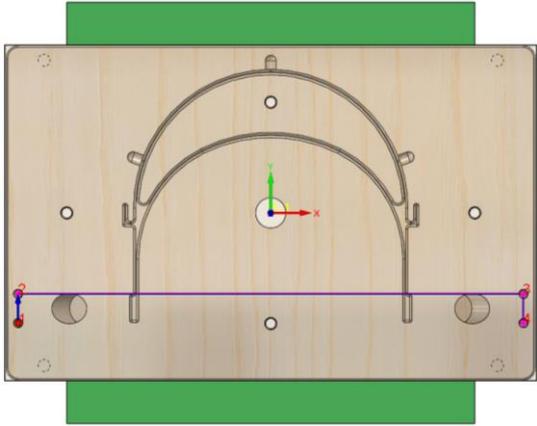
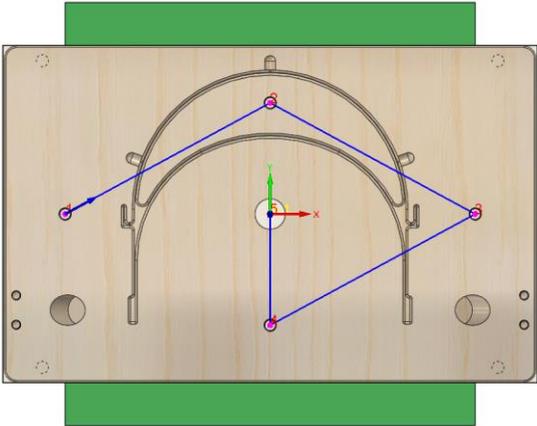
2. Mecanizado sobre cara F	13. Girar pieza de trabajo	1	Desmontar la pieza de trabajo de la entenalla		Sensor para seteo, hexágonos, laines, Calibrador pie de rey, llaves de boca fija, reloj palpador, llave de husillo, Hta: Fresa plana de 100 mm					1		
		2	Ver Cero pieza 2									
		3	Cara A hacia abajo									1
		4	Desde cara A hasta las mordazas verificar 66 mm									1
		5	Colocar el sensor en el husillo para seteo de ejes X e Y									2
		6	Tomar el cero Pieza al centro del bloque sobre la cara F									2
		7	Usar laines para seteo de eje Z - con fresa de planear de 100 mm									
14. Planeado Cara E	1	1	Ejecutar el programa: 14 - Planeado - hta 100 mm			28	2	318	25,4	23		

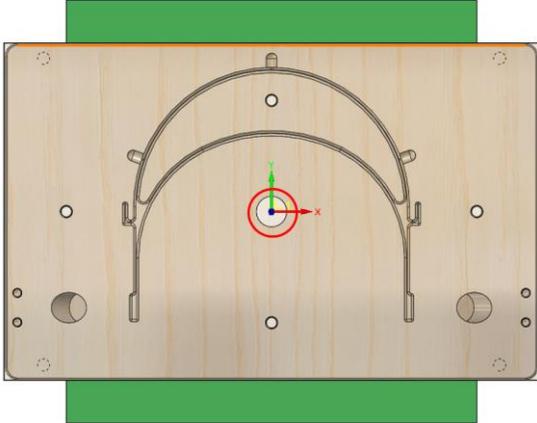
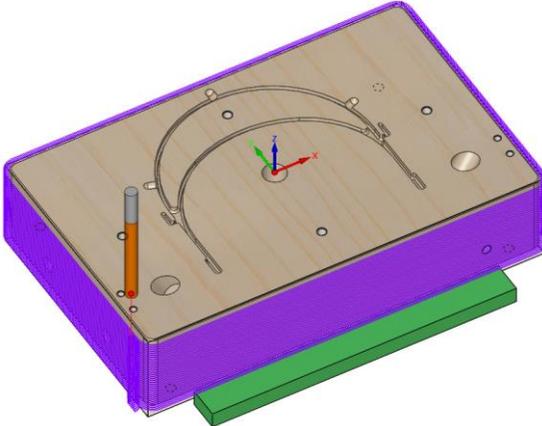
15. Perforaciones de	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: Broca de centros.						2
	2	Ejecutar el programa: 15 – Perforaciones – Broca de centros.			Verificar 4 perforaciones	2	1.5	1000	50	1
16. Roscado M8x1.25	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: broca 15/64 in						2
	2	Ejecutar el programa: 16 – Perforaciones – broca 15/64 in		Verificar 4 perforaciones	27	5	700	50	3	
	3	Roscado M8x1.25		Machuelo M8 x 1.25						3
17. Abocardado	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: broca 15 mm						2
	2	Ejecutar el programa: 17 – Abocardado		Verificar 4 abocardados	2	5	2122	50	2	
<b>Tiempo total</b>										<b>548</b>



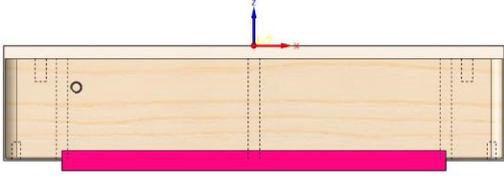
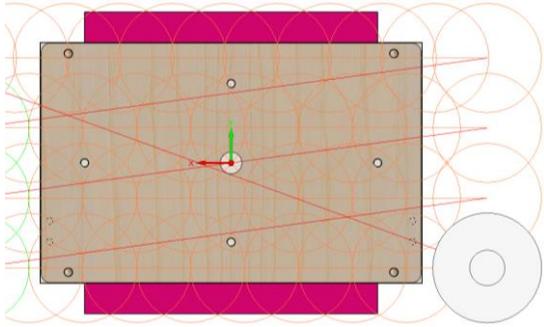
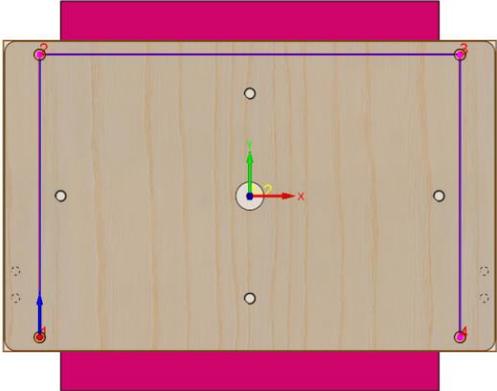


2. Planeado	1	Ejecutar el programa: 1 - Planeado - hta 100 mm		Calibrador pie de rey –  Hta: Fresa plana de 100 mm	2	1	318	25,4	2
	3. Perforaciones Centros	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: Broca de centro.				
	2	Ejecutar el programa: 2 – Perforaciones – Broca de centros.	Verificar 25 perforaciones		2	1.5	1000	50	2
4. Roscad	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: Broca de 5 mm L:40					2
	2	Ejecutar el programa: 3 – Perforaciones – Broca de 5 mm.		Verificar 17 perforaciones	4	5	891	50	2

	3	Roscado manual M6x1.0		Machuelo M6x1.0						3
5. Roscado interno M8	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: Broca de 6.75 mm L:80						2
	2	Ejecutar el programa: 4 - Perforaciones – Broca de 6.75 mm.		Verificar 5 perforaciones	15	5	660	50		8
	3	Roscado manual M8x1.25		Machuelo M8x1.25						
6	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: Broca de 20 mm L: 80						2

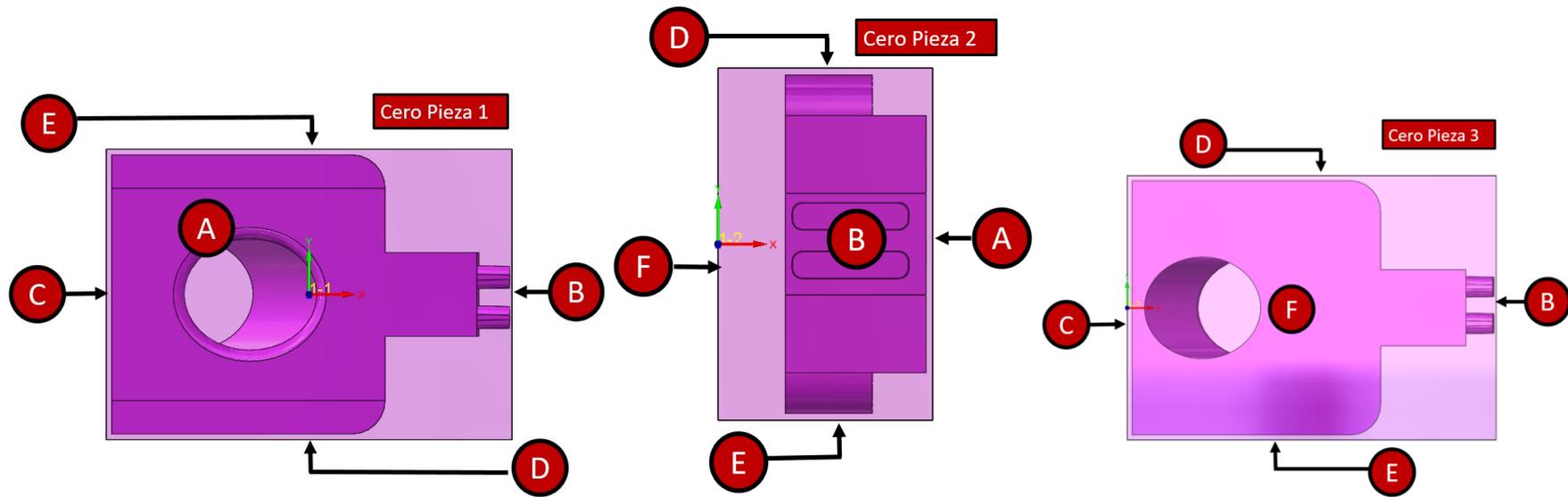
	2	Ejecutar el programa: 5 – Perforaciones – Broca de 20 mm.		Verificar 1 perforación	15	5	222	50	2
7. Perforaciones de 9 mm	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: Fresa plana de 10 mm y 4 filos L:80 mm					2
	2	Ejecutar el programa: 6 – Perfilado – fresa de 10 mm.		Medir ancho: 219 mm Medir largo: 350	36	2	3183	254	168



									
10. Planeado Cara F	1	Ejecutar el programa: 14 - Planeado - hta 100 mm			5	2	318	25,4	7
11. Roscado M8x1.25	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: broca 15/64 in					2
	2	Ejecutar el programa: 15 – Perforaciones – broca 15/64 in		Verificar 4 perforaciones	6	5	660	50	3
	3	Roscado M8x1.25		Machuelo M8x1.25					
Tiempo total									398

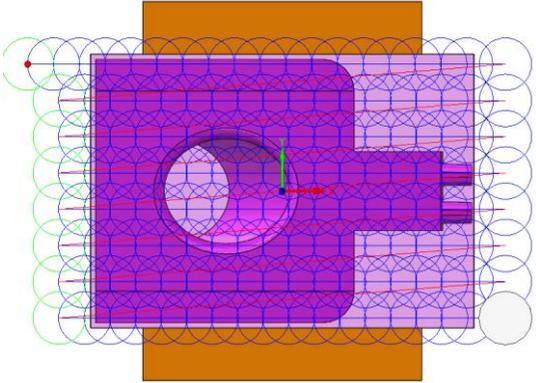
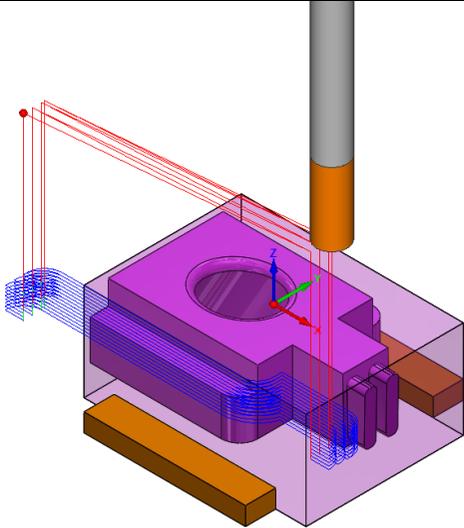
Hoja de procesos 3

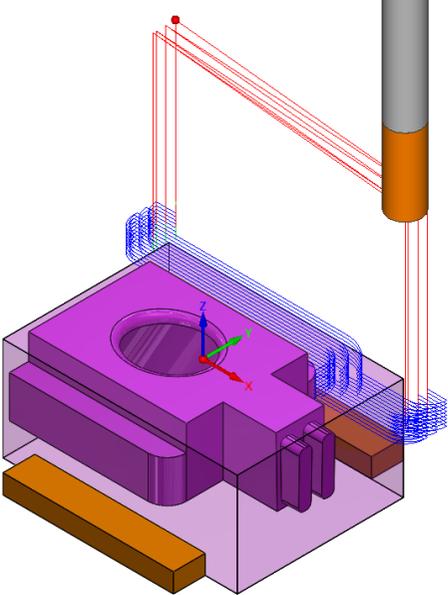
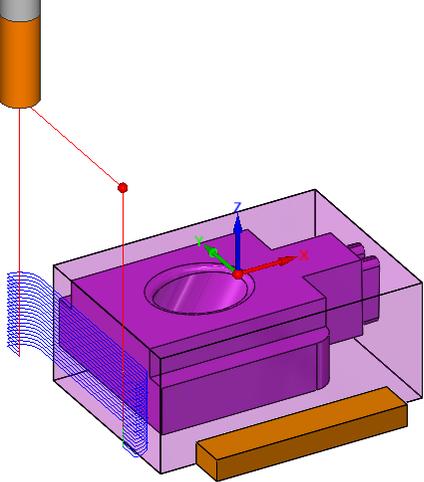
Proyecto	Molde de inyección	Plano Nro.	s/n	Trabajo Nro		Fecha: 12/08/2020
Pieza	Inserto	Plano Nro.	s/n	Hoja:	1/	
Material	Madera	Dimensiones en bruto:	52x74x32 mm			
Realizado por: Xavier Lima			Observaciones:			



Fase	Subfase	Operación	Denominación	Croquis	Herramientas /control /indicaciones	psd (#)	pp (mm)	N (rpm)	Va (mm /min)	t (min)
------	---------	-----------	--------------	---------	-------------------------------------	---------	---------	---------	--------------	---------

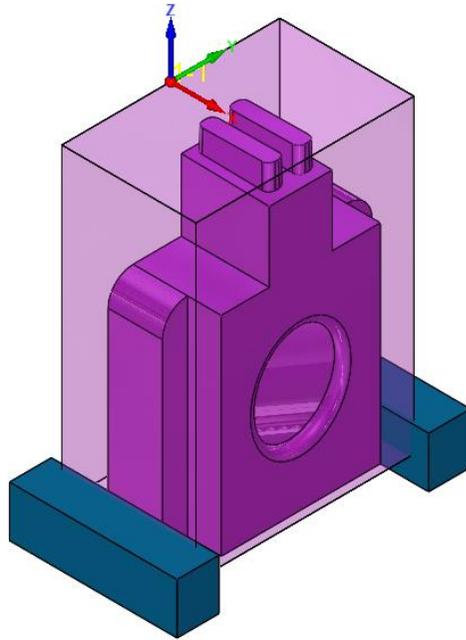


<p>2. Planeado</p>	<p>1</p>	<p>Ejecutar el programa: 1 - Planeado - hta 10 mm</p>		<p>Calibrador pie de rey – Hta: Fresa plana de 10 mm</p>	<p>1</p>	<p>1</p>	<p>3183</p>	<p>254</p>	<p>3</p>
<p>3. Perfilados externos</p>	<p>1</p>	<p>Ejecutar el programa: 2 – Perfilado 1 - hta 10 mm</p>		<p>Hta: Fresa plana de 10 mm</p>	<p>7</p>	<p>1</p>	<p>3183</p>	<p>254</p>	<p>17</p>

2	Ejecutar el programa: 3 – Perfilado 2 - hta 10 mm		Hta: Fresa plana de 10 mm	7	1	3183	254	17
3	Ejecutar el programa: 4 – Perfilado 3 - hta 10 mm		Hta: Fresa plana de 10 mm	20	1	3183	254	8

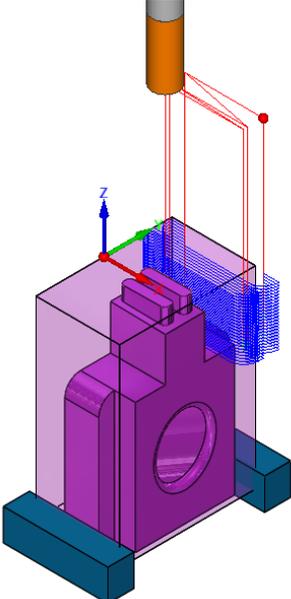
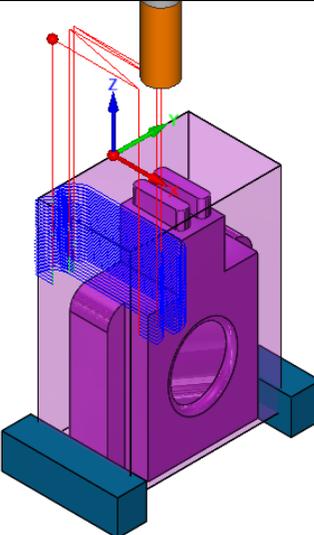


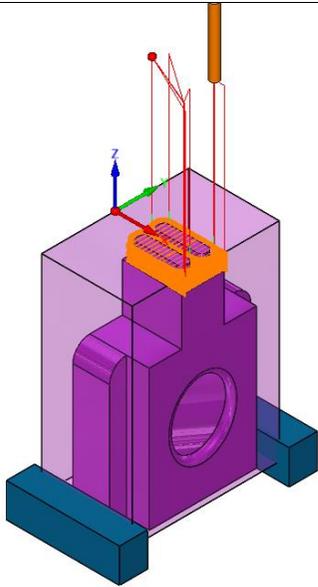
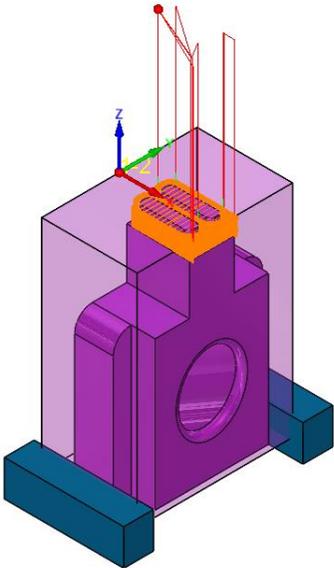
4	Desde cara B hasta las mordazas verificar 66 mm
5	Colocar el sensor en el husillo para seteo de ejes X e Y
6	Tomar el cero Pieza al extremo del bloque sobre cara B
7	Usar laines para seteo de eje Z - con fresa de planear de 10 mm

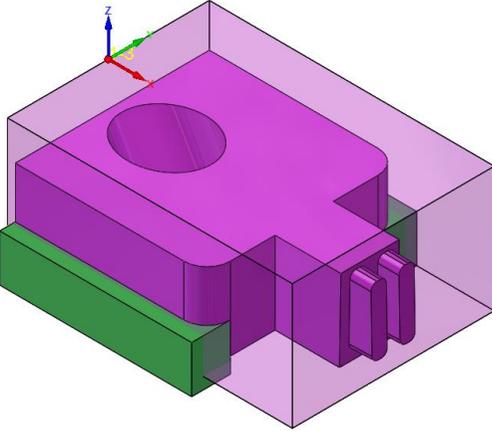
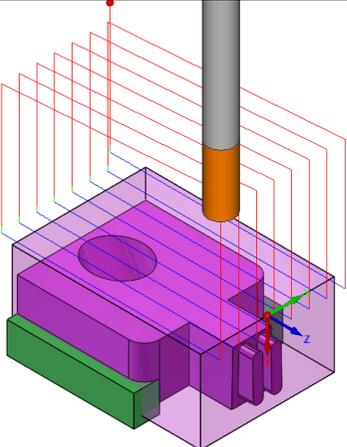


pie de rey,  
llaves de boca fija,  
reloj palpador,  
llave de husillo

					1
					2
					2
					2

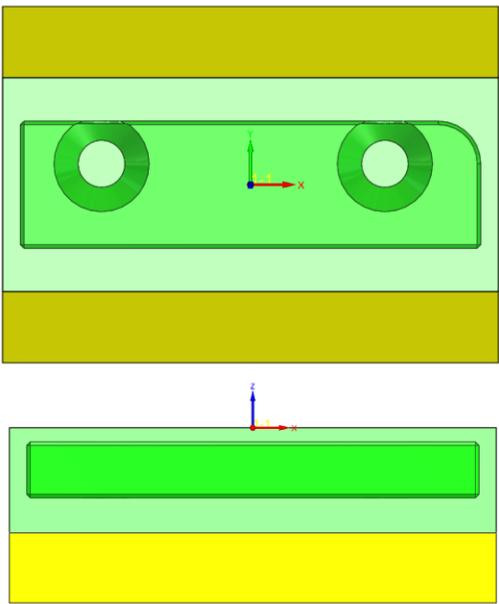
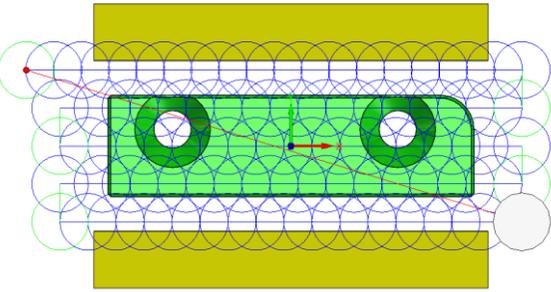
5. Perfilados externos 2	1	Ejecutar el programa: 7 – Perfilado 6 - hta 10 mm		Hta: Fresa plana de 10 mm	23	1	3183	254	18
	2	Ejecutar el programa: 8 – Perfilado 7 - hta 10 mm		Hta: Fresa plana de 10 mm	23	1	3183	254	18

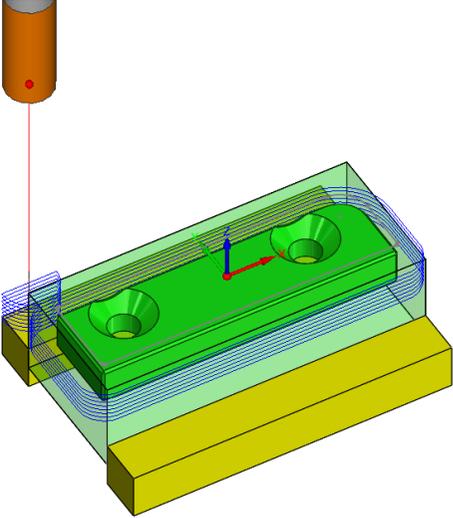
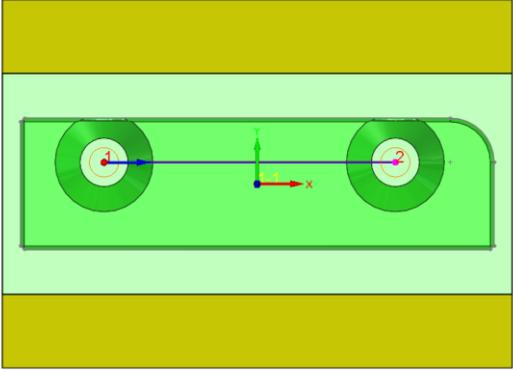
6. Contorno 3d	1	Cambio de herramienta - Setear Z		<p>Hta: Fresa plana de 3 mm y 2 filos L: 30 mm</p>						2
	2	Ejecutar el programa: 9 – Contorneado 3d 1 - hta 3 mm			32	0.25	10000	400	9	
7. Contorno 3d 2	1	Cambio de herramienta - Setear Z		<p>Hta: Fresa redonda de 1 mm y 2 filos L: 30 mm</p>						2
	2	Ejecutar el programa: 10 – Contorneado 3d 2 - hta 1 mm			32	0.25	10000	400	15	

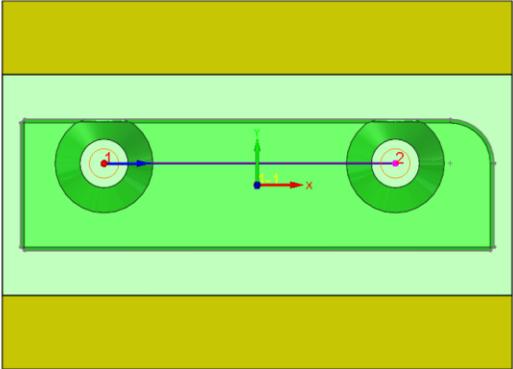
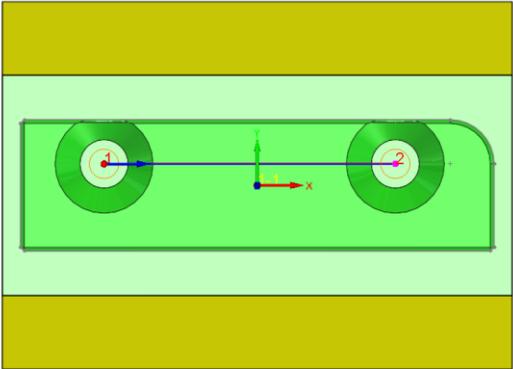
3. Mecanizado sobre cara F	8. Girar pieza de trabajo	1	Desmontar la pieza de trabajo de la entenalla		Sensor para seteo, hexágonos, laines, Calibrador pie de rey, llaves de boca fija, reloj palpador, llave de husillo					1		
		2	Ver Cero pieza 3									
		3	Cara A hacia abajo									1
		4	Desde cara F hasta las mordazas verificar 23 mm									1
		5	Colocar el sensor en el husillo para seteo de ejes X e Y									2
		6	Tomar el cero Pieza al extremo del bloque sobre cara F									2
		7	Usar laines para seteo de eje Z - con fresa de planear de 10 mm									2
	9. Planeado		Ejecutar el programa: 11 – Perfilado 1 - hta 10 mm		Calibrador pie de rey –  Hta: Fresa plana de 10 mm	1	1	3183	254	3		
	Tiempo total									186		

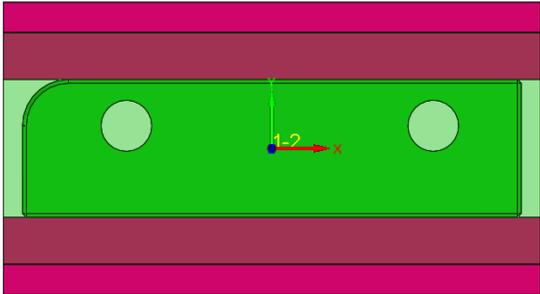
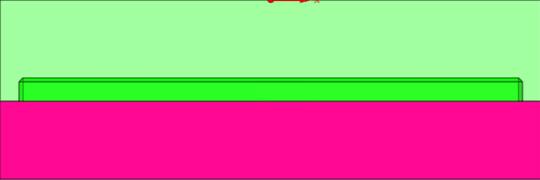
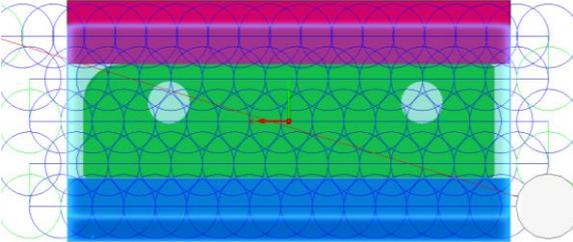
Hoja de procesos 4

Proyecto	Molde de inyección	Plano Nro.	s/n	Trabajo Nro						Fecha:	
Pieza	Patín 1	Plano Nro.	s/n	Hoja:	1/						12/08/2020
Material	Madera	Dimensiones en bruto:		30x70x20 mm							
Realizado por: Xavier Lima				Observaciones:							
Fase	Subfase	Operación	Denominación	Croquis	Herramientas /control /indicaciones	psd (#)	pp (mm)	N (rpm)	Va (mm /min)	t (min)	

1. Mecanizado sobre cara A	1. Toma del cero pieza	1	Ver Cero pieza 1		Sensor para seteo, hexágonos, laines, Calibrador pie de rey, llaves de boca fija, reloj palpador, llave de husillo						-
		2	Cara E hacia abajo			1					
		3	Instalar la antena sobre la bancada			10					
		4	Desde cara A hasta las mordazas verificar 60 mm			1					
		5	Colocar el sensor en el husillo para seteo de ejes X e Y			2					
		6	Tomar el cero Pieza al centro del bloque sobre la cara A			2					
		7	Usar laines para seteo de eje Z - con fresa de planear de 10 mm			2					
	2. Planeado	1	Ejecutar el programa: 1 - Planeado - hta 10 mm		Calibrador pie de rey –  Hta: Fresa plana de 10 mm	2	1	3183	254	4	

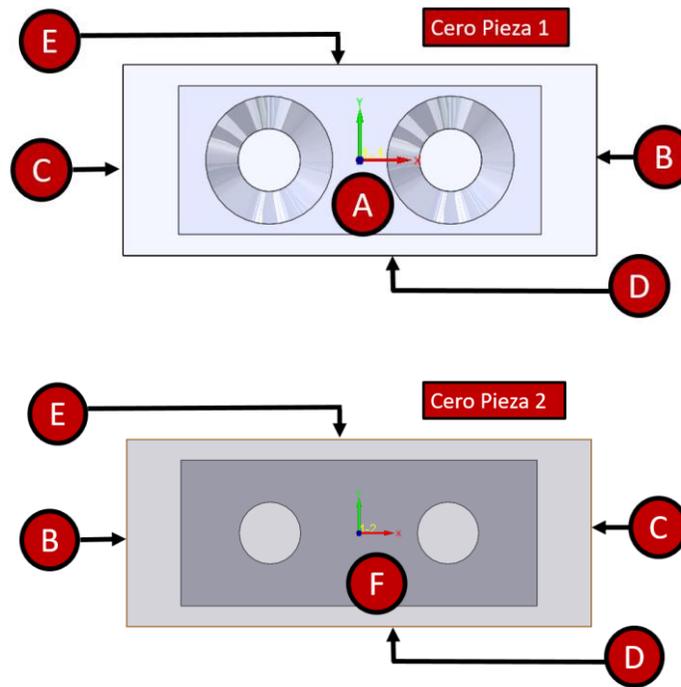
3. Perfilado externo	1	Ejecutar el programa: 2 – Perfilado 1 - hta 10 mm		Hta: Fresa plana de 10 mm	6	1	3183	254	17
	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: Broca de centros					2
4. Perforaciones de centro	2	Ejecutar el programa: 3 – Perforaciones – Broca de centros.		Verificar 2 perforaciones	2	1.5	1000	50	1

5. Perforaciones pasantes	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: Broca de 6.35 mm						2
	2	Ejecutar el programa: 4 – Perforaciones de 6.35 mm			Verificar 2 perforaciones	6	1	701	50	1
6. Avellanado		Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: Broca de avellanar						2
		Ejecutar el programa: 5 – Avellanado			Verificar 2 avellanados	6	1	701	50	1

2. Mecanizado sobre cara F	7. Girar pieza de trabajo	1	Desmontar la pieza de trabajo de la entenalla		Sensor para seteo, hexágonos, laines, Calibrador pie de rey, llaves de boca fija, reloj palpador, llave de husillo					1		
		2	Ver Cero pieza 2									
		3	Cara A hacia abajo									1
		4	Desde cara F hasta las mordazas verificar 13 mm									1
		5	Colocar el sensor en el husillo para seteo de ejes X e Y									2
		6	Tomar el cero Pieza al centro del bloque sobre la cara F									2
		7	Usar laines para seteo de eje Z - con fresa de planear de 10 mm									2
	8. Planeado	1	Ejecutar el programa: 7 – Perfilado 6 - hta 10 mm		Hta: Fresa plana de 10 mm	10	1	3183	254	17		
	Tiempo total									74		

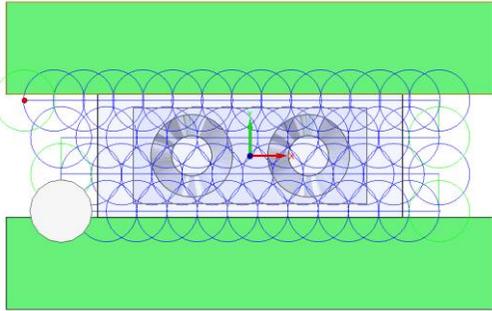
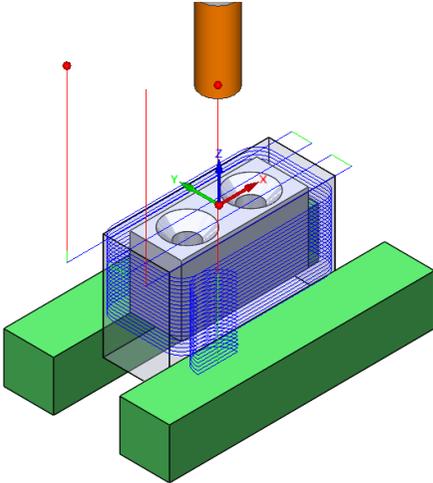
Hoja de procesos 5

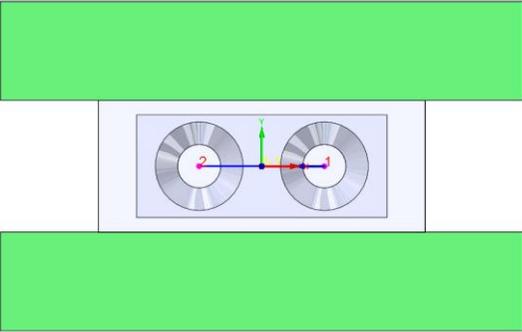
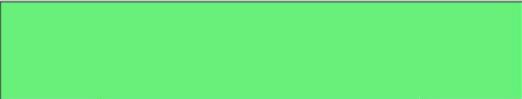
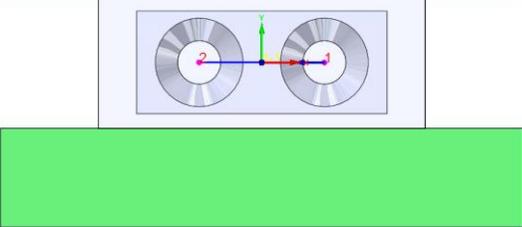
Proyecto	Molde de inyección	Plano Nro.	s/n	Trabajo Nro		Fecha: 12/08/2020
Pieza	Patín 1	Plano Nro.	s/n	Hoja:	1	
Material	Madera	Dimensiones en bruto:		30x70x20 mm		
Realizado por: Xavier Lima			Observaciones:			



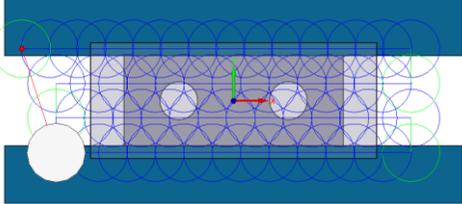
Fase	Subfase	Operación	Denominación	Croquis	Herramientas /control /indicaciones	psd (#)	pp (mm )	N (rpm)	Va (mm /min)	t (min)
------	---------	-----------	--------------	---------	-------------------------------------	---------	----------	---------	--------------	---------



2. Planeado	1	Ejecutar el programa: 1 - Planeado - hta 10 mm		Calibrador pie de rey – Hta: Fresa plana de 10 mm	1	1	3183	254	1
3. Perfilado externo	1	Ejecutar el programa: 2 – Perfilado 1 - hta 10 mm		Hta: Fresa plana de 10 mm	21	1	3183	254	4
4. Perforacio	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: Broca de centros					2
	2	Ejecutar el programa: 3 – Perforaciones – Broca de centros.		Verificar 2 perforaciones	2	1.5	1000	50	1

										
5. Perforaciones pasantes	1	Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: Broca de 6.35 mm						2
	2	Ejecutar el programa: 4 – Perforaciones de 6.35 mm		Verificar 2 perforaciones	6	1	701	50		1
6. Avellan		Cambio de herramienta - Setear Z		Hta: Broca de avellanar						2
		Ejecutar el programa: 5 – Avellanado		Verificar 2 avellanados	6	1	701	50		1



9. Planead	1	Ejecutar el programa: 7 – Perfilado 6 - hta 10 mm		Hta: Fresa plana de 10 mm	10	1	3183	254	3
Tiempo total									44

## Hoja de procesos 6

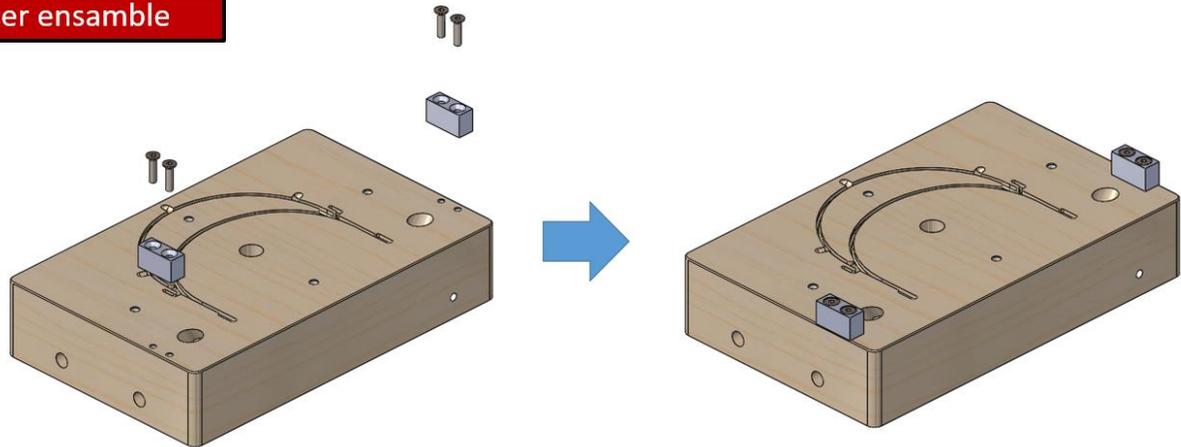
Proyecto	Molde de inyección	Plano Nro.	s/n	Trabajo Nro		Fecha: 12/08/2020
Pieza	Ensamble	Plano Nro.	s/n	Hoja:	1	
Material	Varios	Dimensiones en bruto:	s/n			
Realizado por: Xavier Lima			Observaciones:			

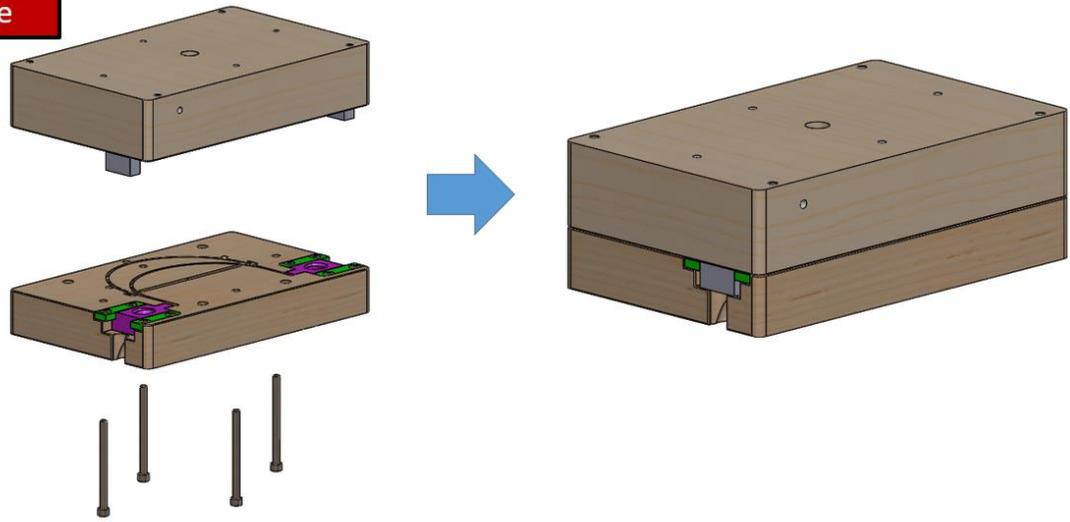
Primer ensamble

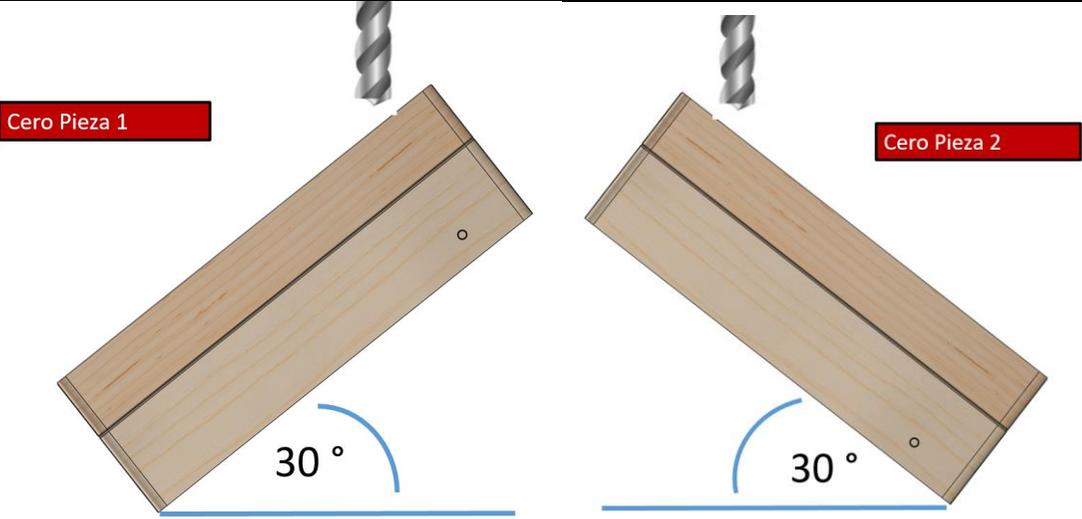
Segundo ensamble

Tercer ensamble



Cuarto ensamble





Fase	Subfase	Operación	Denominación	Croquis	Herramientas /control /indicaciones	psd (#)	pp (mm)	N (rpm)	Va (mm /min)	t (min)
1. Preparación	1. Ensamble	1	Primer ensamble	Ver gráficos en la parte superior	Ensamblar insertos con lado expulsor	-	-	-	-	3
		2	Segundo ensamble	Ver gráficos en la parte superior	Ensamblar patines con lado expulsor – usar tornillos avellanados M6x30					3

2. Mecanizado para	1. Perforaciones	3	Tercer ensamble	Ver gráficos en la parte superior	Ensamblar patines con lado expulsor – usar tornillos avellanados M6x30					3
		4	Cuarto ensamble	Ver gráficos en la parte superior	Ensamblar lado expulsor e inyector – usar tornillos M8x100					3
	1	Instalar la entenalla sobre la bancada							10	
	2	Sujetar el cuarto ensamble e inclinar 30 grados – cero pieza 1							1	
	3	Tomar el cero pieza en la arista superior							2	
	4	Instalar broca de centros							2	
	5	Ejecutar el programa 1 – perforación de centros							2	

3. Mecanizado	1. Perforaciones	6	Instalar Broca de 20 mm con 120 °								2	
		7	Ejecutar el programa 1 – perforación de 20 mm	Ver gráficos en la parte superior								4
		8	Instalar Broca de 20 mm con fondo plano									2
		9	Ejecutar el programa 2 – perforación de fondo plano									1
				Sujetar el cuarto ensamble e inclinar 30 grados – cero pieza 2	Ver gráficos en la parte superior							1
				Tomar el cero pieza en la arista superior	Ver gráficos en la parte superior							2
				Instalar broca de centros	Ver gráficos en la parte superior							2
				Ejecutar el programa 1 – perforación de centros	Ver gráficos en la parte superior							2

		Instalar Broca de 20 mm con 120 °	Ver gráficos en la parte superior						2
		Ejecutar el programa 1 – perforación de 20 mm	Ver gráficos en la parte superior						4
		Instalar Broca de 20 mm con fondo plano	Ver gráficos en la parte superior						2
		Ejecutar el programa 2 – perforación de fondo plano	Ver gráficos en la parte superior						2
Tiempo total									55

Los tiempos de mecanizado, las partes mecanizadas, cantidades de piezas y procesos se resumen en la tabla.

Tabla 43  
*Resumen de uso de procesos de mecanizado*

Parte	Cantidad	Proceso	Máquina Herramienta	Nro de horas por pieza	Tiempo total (min)
Postizo lado expulsor	1	Fresado	Fresadora	548	548
Postizo lado inyección	1	Fresado	Fresadora	398	398
Insertos	2	Fresado	Fresadora	186	372
Patines	2	Fresado	Fresadora	74	148
Topes	2	Fresado	Fresadora	44	88
Ensamble	1	Fresado	Fresadora	55	55
Columnas	2	Torneado	Torno	30	60

De acuerdo con la tabla 43, para la construcción del molde de inyección se debe hacer uso de 1609 min que transformados a horas son 27 horas de mecanizado en la fresadora CNC y 1 hora de torneado CNC.

### **Análisis de costos.**

#### **Impresión 3d**

El análisis de los costos de fabricación de los protectores faciales mediante impresión 3D, inicia definiendo las inversiones fijas tangibles: una silla y un escritorio como muebles y enseres; cinco mesas como muebles de fábrica puesto que éstas serán el soporte para las

impresoras 3D; una laptop y nueve impresoras 3D (Ender 3) como maquinaria y equipo. Como inversión fija intangible se plantea el uso del software libre Blender. Como se puede apreciar en la Tabla 44, la inversión fija representa el mayor porcentaje de la inversión total con un 82,67 %. Puesto que no se plantea realizar ningún tipo de financiamiento, la inversión diferida es cero. El capital de trabajo, el cual representa el 17,33 % restante de la inversión total, se conforma por: \$ 282 en materia prima directa, \$ 515,27 en mano de obra directa, \$ 343,70 en imprevistos tomado en cuenta como el 5 % de las inversiones fijas y, \$ 300 en caja chica. Todos estos datos son recogidos por el plan de negocios y su resumen se presenta en la Tabla 44.

Tabla 44

*Resumen de plan de inversión para la producción de protectores faciales por impresión 3d*

Rubros	Valor USD	Porcentaje
Inversión Fija	6.873,98	82,67%
Inversión Diferida	-	0,00%
Capital de Trabajo	1.440,97	17,33%
Inversión Total	8.314,95	100%

Para la representación de los costos, se toma en consideración la disponibilidad de nueve impresoras 3D como se mencionó en el plan de inversión, donde cada impresora trabajará 9 horas diaria imprimiendo una visera por cada impresora, obteniendo una producción mensual de 180 viseras, por lo que se producirán 180 protectores visuales mensuales. Tomando en consideración esta producción mensual se calculan los costos de materia prima directa, mano de obra directa y costos indirectos de fabricación como se muestra en la Tabla 45. No se toma en consideración los costos de materia prima indirecta por lo que este valor es cero. Así mismo, es importante mencionar que tanto para el caso de estudio de impresión 3D como para el de

inyección, la mano de obra directa está formada únicamente por un ensamblador al cual se le paga la remuneración básica unificada.

Tabla 45  
*Resumen de costos de producción por impresión 3d*

Rubro	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor / protector (\$)	Valor total (\$)
<b>Materia Prima Directa</b>					
Rollo de PLA	29 viseras por cada rollo	unidades	7,00	30,00	210,00
Lámina de PET	Tamaño A4 incluido corte	unidades	180,00	0,35	63,00
Elástico para sujeción	50 cm por protector	metros	90,00	0,10	9,00
Total de MPD					282,00
<b>Mano de Obra Directa</b>					
Ensamblador	Encargado de ensamblar	mes	1	400,00	400,00
Total de MOD					400,00
<b>Costos Indirectos de Fabricación</b>					
<b>Materia Prima Indirecta</b>					
					-
					\$
					-
Total de MPI					-
<b>Costos indirectos de fabricación</b>					
Arriendo	Oficina	mes	1	100,00	100,00
Electricidad	240W por impresora	KWH	388,80	0,10	38,88
Telefonía e internet	Pack CNT	mes	1	33,15	33,15

	Total de CIF	172,03
Total de Costo de Producción		\$ 854,03

Para el cálculo de los gastos se toman en cuenta los suministros básicos de aseo y limpieza, servicios básicos de luz y agua y, los gastos en ventas como publicidad. El total de estos gastos es de \$ 36,36.

El salario final del ensamblador, considerando todos los beneficios de ley como el decimotercer y decimocuarto sueldo repartidos de forma mensual, los aportes individuales al IESS y los aportes patronales como se muestra en la tabla 46, resulta en un total de \$ 515,27.

Tabla 46  
*Resumen del rol de pagos y costo de mano de obra*

Cargo	RBU	Aportes patronales					Provisiones					Total	Total (\$)
		Total Beneficios de Ley	IESS	SECAP	IFTH	Total	Décimo	Décimo cuarto	Vacaciones	Fondos de			
Ensamblador	400	66,67	44,6	2	2	48,6					-	515,3	
Total	400	66,67	44,6	2	2	48,6	-	-	-	-	-	515,3	

La hoja de costos es elaborada de acuerdo con lo que se muestra en la Tabla 47, donde recoge toda la información y datos mostrados en las tablas anteriores. Sobre el costo total de cada protector facial de \$ 5,63 se plantea un porcentaje de utilidad del 5 %, el cual supone \$ 0,28 de ganancia por cada protector, obteniendo un precio de venta final de \$ 5,91 por cada unidad.

Tabla 47  
Resumen de hoja de costos para la producción por impresión 3d

		Unitario	Estructura
Materia prima directa	282,00	1,57	28%
Mano de obra directa	515,27	2,86	51%
Costos indirectos	179,69	1,00	18%
Costo de producción	976,96	5,43	96%
Gasto de administración	26,00	0,14	3%
Gasto de venta	10,36	0,06	1%
Gasto financiero	0,00	0,00	0%
Costo total	1.013,32	5,63	100%
Porcentaje de utilidad	5%	0,00	0%
Utilidad	\$ 50,67	0,28	5%
Precio de venta	\$ 1.063,98	5,91	105%

Se recogen los datos ya obtenidos hasta el momento y se aplican las fórmulas de punto de equilibrio operativo y punto de equilibrio monetario. Como resultado se obtiene que se deben vender 146 de los 180 protectores faciales y recaudar \$ 861,87 para alcanzar el punto de equilibrio como se muestra en la tabla 48.

Tabla 48  
Resumen del análisis de costos en el proceso de impresión 3d

Descripción	Valor / unidad
Cantidad mensual producida	180
Precio de venta	5,91
Costo Variable Unitario	4,43
Punto de equilibrio operativo	146
Punto de equilibrio monetario	861,67

## Inyección de plástico

Para el análisis de los costos de fabricación de los protectores faciales mediante inyección, se definen las inversiones fijas tangibles como: una silla y un escritorio como muebles y enseres; una mesa como muebles de fábrica para los trabajos de ensamblaje; una laptop como maquinaria y equipo. Como inversión fija intangible se plantea el uso del software libre Blender. Como se puede apreciar en la Tabla 49, la inversión fija ya no representa el mayor porcentaje de la inversión total y más bien ahora la inversión total está repartida casi en partes iguales entre la inversión fija y el capital de trabajo en porcentajes de 55,04 % y 44,96 % respectivamente. Puesto que no se plantea realizar ningún tipo de financiamiento, la inversión diferida sigue siendo cero. Para este caso el capital de trabajo se conforma por: \$ 86,15 en materia prima directa, \$ 590,97 en mano de obra directa, \$ 63,70 en imprevistos y \$ 300 en caja chica. Todos estos datos son recogidos por el plan de negocios y su resumen se presenta en la Tabla 49.

Tabla 49

*Resumen de plan de inversión para la producción de protectores faciales por inyección de plástico*

Rubros	Valor USD	Porcentaje
Inversión Fija	1.273,98	55,04%
Inversión Diferida	-	0,00%
Capital de Trabajo	1.040,82	44,96%
Inversión Total	2.314,80	100%

Para la representación de los costos, se toma en consideración el contrato de 18 horas del servicio de inyección, con la finalidad de obtener una producción de 2160 visores, obteniendo una equivalencia de producción mensual de 180 visores, todo esto con la finalidad de comparar los costos entre los dos procesos de manera equitativa. Tomando en consideración

esta producción mensual se calculan los costos de materia prima directa, mano de obra directa y costos indirectos de fabricación como se muestra en la Tabla 50. En este caso si se toma en consideración los costos de materia prima indirecta haciendo referencia a los montos que se producen en la elaboración del molde para la inyección.

Tabla 50  
*Resumen de costos de producción por inyección de plástico*

Rubro	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor / protector (\$)	Valor total (\$)
<b>Materia Prima Directa</b>					
Polietileno de Alta Densidad	25kg cada saco	unidades	0,39	36,40	14,15
Lámina de PET	Tamaño A4 incluido corte	unidades	180,00	0,35	63,00
Elástico para sujeción	50 cm por protector	metros	90,00	0,10	9,00
Total de MPD					86,15
<b>Mano de Obra Directa</b>					
Ensamblador	Encargado de ensamblar los protectores faciales	mes	1	400,00	400,00
Total de MOD					400,00
<b>Costos Indirectos de Fabricación</b>					
<b>Materia Prima Indirecta</b>					
Bloque de madera de pino	2,4mx220mmx80mm	unidades	1	18,00	18,00
Expulsores	Acero	unidades	12	1,00	12,00
Pernos M6		unidades	10	0,50	5,00
Pernos M8		unidades	12	0,75	9,00
Pernos M10		unidades	26	1,00	26,00
Plancha de acero	Acero ASTM 136-470x350x20mm	unidades	1	20,00	20,00

Plancha de acero	Acero ASTM 136- 250x210x20mm	unidades	2	15,00	30,00
Ejes	Acero inoxidable- 20x200mm	unidades	1	1,50	1,50
Plancha de bronce fosfórico	120x70x10mm	unidades	1	15,00	15,00
				Total de MPI	136,50
Costos indirectos de fabricación					
Arriendo	Oficina	mes	1	100,00	100,00
				Total de CIF	100,00
Total de Costo de Producción					722,65

Para el cálculo de los gastos se toman en cuenta los suministros básicos de aseo y limpieza, servicios básicos de luz y agua y, los gastos en ventas de publicidad, teléfono e internet. El total de estos gastos es de \$ 69,51.

El salario final del ensamblador, al igual que en el caso de la producción con impresión 3D, resulta en un total de \$ 515,27. Como se muestra en la tabla 51, los contratos de la inyectora, el mecanizado del molde y el torneado son considerados mano de obra indirecta y su valor total mostrado es la distribución del costo total del contrato para cada mes del año de producción previsto de los protectores faciales. Esto con la finalidad de no cargar los costos de los contratos en un solo mes y obtener precios de venta demasiado altos. Los costos de cada servicio contratado son: \$ 25 por hora para la inyectora, \$ 30 por hora durante 27 horas para el mecanizado del molde y \$ 20 por hora durante 1 hora el servicio de torneado.

Tabla 51  
Resumen del rol de pagos y costo de mano de obra

Cargo	RBU	Total Beneficios de Ley	Aportes patronales				Provisiones				Total	Total
			IESS	SECAP	IFTH	TOTAL	Décimo Tercero	Décimo Cuarto	Vacaciones	Fondos de reserva		
Contrato inyectora	37,50	-	4,18	0,19	0,19	4,56	-	-	-	-	-	42,06
Ensamblador Mecanizado de molde	400,00	66,67	44,60	2,00	2,00	48,60	-	-	-	-	-	515,27
Contrato torneado	67,50	-	7,53	0,34	0,34	8,20	-	-	-	-	-	75,70
TOTAL	1,67	-	0,19	0,01	0,01	0,20	-	-	-	-	-	1,87
TOTAL	506,67	66,67	56,49	2,53	2,53	63,38	-	-	-	-	-	634,72

La hoja de costos es elaborada de acuerdo con lo que se muestra en la Tabla 52, donde recoge toda la información y datos mostrados en las tablas anteriores. Sobre el costo total de cada protector facial de \$ 5,60 se plantea un porcentaje de utilidad del 5 %, el cual supone \$ 0,28 de ganancia por cada protector, obteniendo un precio de venta final de \$ 5,88 por cada unidad.

Tabla 52  
Resumen de hoja de costos para la producción por inyección de plástico.

		Unitario	Estructura
Materia prima directa	86,15	0,48	9%
Mano de obra directa	590,97	3,28	59%
Costos indirectos	285,82	1,59	28%
Costo de producción	962,94	5,35	96%
Gasto de administración	1,29	0,01	0%
Gasto de venta	43,51	0,24	4%

Gasto financiero	0,00	0,00	0%
Costo total	1007,74	5,60	100%
Porcentaje de utilidad	5%	0,00	0%
Utilidad	50,39	0,28	5%
Precio de venta	1058,13	5,88	105%

Se recogen los datos ya obtenidos hasta el momento en la Tabla 53 y se aplican las fórmulas de punto de equilibrio operativo y punto de equilibrio monetario. Como resultado se obtiene que se deben vender 107 de los 180 protectores faciales y recaudar \$ 631,20 para alcanzar el punto de equilibrio.

Tabla 53

*Resumen del análisis de costos en el proceso de impresión 3d*

Descripción	Valor / unidad
Cantidad mensual producida	180
Precio de venta	5,88
Costo Variable Unitario	5,18
Punto de equilibrio operativo	107
Punto de equilibrio monetario	631,20

## Discusión de resultados

Mediante el uso de datos antropométricos de percentiles 5-95 para una población de sexo masculino y femenino en un rango de edad comprendida entre 18-65 años obtenidos de (DINED, 2020) se diseña un modelo de visor y se comprueba la compatibilidad con el usuario de la población ecuatoriana a través de 6 pruebas con personas de entre 19-54 años de edad con percentiles de 16-91. Sin embargo, sería necesario la participación de personas de otras localidades del Ecuador en la validación del modelo, teniendo en cuenta la variación de la forma de la cabeza para realizar un diseño más personalizado.

El modelo de visor cuenta con las recomendaciones mínimas de la norma EN 166, o EN 175, o EN 1731, o ANSI/ISEA Z87.1 en cuanto a características físicas, dimensiones, materiales, tipo de ajuste a la cabeza, cobertura de la cabeza y número mínimo de partes, se ha realizado una prueba de impacto mediante simulación CAE para su validación sin embargo existen pruebas físicas como la dispersión de partículas dentro de la norma que se pueden realizar con el equipo adecuado para validar completamente el modelo en la protección de enfermedades infecto contagiosas.

Se diseñó un molde de inyección de plástico en madera de pino debido a su bajo costo, dureza moderada, dimensiones comerciales que favorecen utilizarlo como material base para la fabricación, se ha simulado su resistencia mecánica a través de un análisis estático tratando a la madera como un material ortotrópico y se ha sometido a las fuerzas de presión generadas en el proceso de inyección de polietileno de alta densidad, obteniendo un factor de seguridad mínimo de 3.1 que garantiza la resistencia durante el proceso de inyección de plástico, no se ha tenido en cuenta una distribución de la temperatura del polímero debido a que no existe la información del comportamiento térmico para el mencionado material. Sería posible caracterizar el material

experimentalmente para complementar la simulación estática que pueden validar aún más la resistencia del molde a las condiciones de inyección de plástico.

En la selección de los parámetros de corte para la madera, los fabricantes de herramientas recomiendan usar velocidades de corte comprendidas entre 50 - 100 m/min, avances de 0.02 - 0.3 mm. (Aguilera & Zamora, 2007) establece una relación proporcional directa en la obtención de mejores acabados superficiales a partir del aumento de la velocidad de corte y disminución del avance de forma experimental sobre el fresado de Albura y duramen de 3200 - 6000 rpm y avances de 0.02 a 0.07. (Aknouche et al., 2009) experimenta el fresado de pino de Alepo a 6000 rpm concordando con la conclusión de (Aguilera & Zamora, 2007), (Krimpenis et al., 2016) recomienda usar velocidades de corte de 45 m/min sobre cualquier tipo de madera para obtener acabados superficiales óptimos siendo preferible un número alto de revoluciones de 24 000. Es así que en función de las recomendaciones de los fabricantes de herramientas y las conclusiones de (Aknouche et al., 2009), (Krimpenis et al., 2016) y (Aknouche et al., 2009) se decide usar en el fresado de pino una velocidad de corte de 100 m/min y avances de 0.02 mm a fin de obtener acabados superficiales óptimos. Se decide usar herramientas de carburo de tungsteno que permiten trabajar a altas revoluciones en comparación con herramientas de acero rápido, siendo los dos tipos de materiales comerciales ofertados por los fabricantes de herramientas en el fresado de madera. Los parámetros de corte ideales para el corte de pino se pueden obtener de forma experimental variando los rangos de velocidad de corte y avance mencionados y evaluando el acabado superficial con un rugosímetro de contacto o microscopio de fuerza atómica, a fin de realizar un proceso de corte más eficiente referente a número de horas de mecanizado.

En el proceso de manufactura del molde se usa un centro de mecanizado vertical de 3 ejes para operaciones de fresado y taladrado. Las operaciones de fresado utilizadas son

planeado, perfilado externo, perfilado interno y contorneado 3d con herramientas de 1 a 100 mm de diámetro seleccionadas en función de la geometría del molde a mecanizar y la operación de fresado, ha sido necesario el uso de instrumentos de medida para la verificación de la geometría del modelo durante el fresado. Se ha previsto el uso de sensores ubicados en el husillo para la toma de cero pieza y relojes palpadores, prensas de banco de tipo giratorias y orientables para la sujeción del material y herramientas manuales de roscado interno a mano. Dentro de la estimación del tiempo de mecanizado se ha considerado el tiempo de corte y tiempos muertos como son: toma de cero pieza, los intercambios de herramientas, verificación de medidas e instalación de equipos de sujeción. Estos tiempos pueden ser reducidos si se utiliza un centro de mecanizado con un intercambiador automático de herramientas y sensores de seteo para las herramientas entre sí y/o los equipos de sujeción como prensas de banco se encuentran siempre instalados sobre la bancada de la fresadora.

(Amin & Nguyen, 2020) establece que los visores impresos en 3d con tecnología FDM pueden tomar entre 3.5 a 9.5 horas y su costo mínimo para un lote de 200 unidades es relativo a \$ 7,30. En el análisis de costos realizado en el presente trabajo en un lote de impresión de 180 unidades el costo de venta alcanza \$5,91 para un tiempo de impresión 3d por visor cercano a 9 horas.

(Zabala et al., 2019) establece que el costo de producción de un molde de inyección puede llegar a costar 100 000 dólares vinculados a la baja rugosidad, en el presente trabajo con una inversión de 2.314,80 se puede empezar una producción de piezas inyectadas de plástico para visores basadas en un molde fabricado en madera de pino por procesos de fresado CNC haciendo uso de herramientas de corte de carburo de tungsteno principalmente.

“El proceso de fabricación por moldes de inyección requiere de dimensiones y geometrías muy precisas además de una baja rugosidad ( $Ra\ 0.2 - 0.025\ \mu m$ ), siendo alto el costo de producción bordeando los 100 000 dólares estadounidenses”.(Zabala et al., 2019)

Tras realizar la comparación de los costos, se puede notar que la inversión total de la producción mediante inyección es aproximadamente 3,59 veces menor que la inversión total de la producción mediante impresión 3D, esto debido al costo que supone la adquisición de las impresoras 3D. Así mismo, se observa que a través del proceso de inyección, la producción total de apenas 18 horas alcanza la producción total de todo el año de la impresión 3D, donde además, la producción total mediante la inyección se puede incrementar fácilmente aumentando el número de horas que se contrata el servicio de inyección, al contrario que en el proceso de impresión 3D el cual requiere realizar una fuerte inversión para adquirir nuevas impresoras que apenas pueden producir una visera para protector facial por día. De la misma forma, el precio de venta de los protectores elaborados por inyección es \$ 0,02 menor que los protectores fabricados mediante impresión 3D, permitiendo ofrecer un precio de venta más competitivo ante el mercado y atractivo para el público. Consecuencia del precio de venta y de una inversión total menor en el proceso de inyección, se requiere vender 107 visores por mes para alcanzar el punto de equilibrio en comparación con el proceso de impresión 3D que requiere una venta de 146 unidades para alcanzar el punto de equilibrio. Validando así la hipótesis de que es más rentable y rápido la producción de una pieza de plástico a través del proceso de inyección en un molde fabricado a partir de madera de pino. El proceso resulta aún más rentable si se incrementa el número de piezas producidas. No se ha considerado el desgaste del molde por el proceso de inyección y resulta complicado estimar el número de piezas de plástico inyectadas que soportará antes de fallar es por ello que se recomienda inyectar piezas hasta que se desgaste el molde por completo a fin de encontrar una relación de la resistencia en función del número de piezas inyectadas para trabajos futuros similares.

## Conclusiones

- El modelo de visor se adapta a la población del Ecuador para un percentil de 5-95 con una edad de 18-66 años de edad en una población de género masculino y femenino para un ancho de cabeza de 139-159 mm. El modelo se validó en las pruebas de usuario realizadas a 6 personas de ambos sexos con un ancho de cabeza de 143 a 157 mm de ancho de cabeza y una edad de 19 a 54 años.
- Es viable la construcción de un molde de inyección fabricado en madera de pino debido a que soportará la presión de 122MPa generadas durante el proceso de inyección de polietileno de alta densidad validado por un factor de seguridad mínimo de 3.1 obtenido en la simulación estática mediante elementos finitos donde se considera a la madera como material ortotrópico.
- El diseño de un protector facial es viable de manufacturar haciendo uso de un centro de mecanizado que posea 10.000 revoluciones en el husillo y una velocidad de avance de 1000 mm/min como mínimo y que soporte herramientas de 1 a 100 mm de diámetro.
- Los tiempos de mecanizado de un molde de madera se reducen significativamente en comparación con el corte de metal convencional, el tiempo total de fresado de las partes del molde de inyección son 27 horas con una velocidad de corte y avance por diente de 60 m/min y 0.02 mm mientras que en un acero al carbono se debe utilizar una velocidad de corte y avance por diente no superior a 20 m/min y 0.1 mm, es así que el fresado de acero convencional fácilmente puede incrementar los tiempos de mecanizado 4 veces como mínimo.
- Un prototipo de molde manufacturado por impresión 3d usando tecnología FDM se puede usar con inyección de resina para simular el proceso de inyección de plástico debido a que guarda relación con los procesos simulados de inyección mediante

elementos finitos para los atrapamientos de aire y puntos de soldadura en los lugares donde se presentan.

- La inversión total de la producción mediante un proceso de inyección de plástico es aproximadamente 3,59 veces menor que la inversión total de la producción mediante un proceso de impresión 3D.
- La producción total de visores en apenas 18 horas en el proceso de inyección de plástico alcanza la producción total de todo el año del proceso de impresión 3D haciendo uso de una estación de trabajo de 9 impresoras 3d trabajando 9 horas diarias durante 5 días a la semana.
- La producción del proceso de inyección se puede incrementar fácilmente aumentando el número de horas que se contrata el servicio de inyección por un costo de \$25 por hora en la que se puede inyectar 120 visores, al contrario que en el proceso de impresión 3D el cual requiere realizar una inversión de \$600 para adquirir nueva impresora que apenas puede producir un visor para protector facial por día en 8h40 min por impresión y 20 visores al mes. Es así que entre mayor producción de visores el costo de venta del visor producido por inyección de plástico reduciría significativamente mientras que el de impresión 3d no variaría demasiado.

## Recomendaciones

- Manufacturar el molde de inyección para ser probado en una máquina de inyección real.
- Homologar el modelo de protector facial mediante la norma EN 166, o EN 175, o EN 1731, o ANSI/ISEA Z87.1 vigentes, o sus equivalentes para ser comercializado.
- Medir el desgaste de flanco haciendo uso de un microscopio, tomando en cuenta que el desgaste de la herramienta no debe exceder 0.35 mm en el filo de corte principal de acuerdo con la norma ISO 8688 sección 1, se puede estimar el tiempo de vida de las herramientas con las ecuaciones de Taylor, la potencia en el corte de la madera y los parámetros de corte adecuados.
- Tabular los datos de rugosidad media utilizando un rugosímetro de contacto o microscopio de fuerza atómica para diferentes parámetros de corte, con la finalidad de encontrar una relación rugosidad media y los parámetros de corte. La Velocidad de corte debe estar comprendida entre 50 – 100 m/min y el avance por diente entre 0.02 – 0.3 mm para profundidades de corte de 2.5 a 5 mm con herramientas de carburo de tungsteno de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes de varias marcas.

## Bibliografía.

- 3d Systems. (2020). *Reusable 3D-Printed Face Shield Frame The Outcome ( SLS )*.
- AEN/CTN 81 Prevención y Medios de Protección Personal y Colectiva en el Trabajo. (2001).  
*EN 166: Protección individual de los ojos Especificaciones* (pp. 1–40). AENOR.
- Aguilera, A., & Zamora, R. (2007). Monitoreo del proceso de maquinado de aramo australiano (acaciamelanoxylon) con emisión acústica y su relación con la calidad superficial resultante. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 9(3), 323–332.
- Aknouche, H., Outahyon, A., Nouveau, C., Marchal, R., Zerizer, A., & Butaud, J. C. (2009). Tool wear effect on cutting forces: In routing process of Aleppo pine wood. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(6), 2918–2922.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.06.062>
- American Society of Safety Engineers. (2003). *ANSI Z87.1-2003: Practice for Occupational and Educational Eye and Face Protection* (pp. 1–73). American National Standards Institute.
- Amin, D., & Nguyen, N. (2020). 3D Printing of Face Shields During COVID-19 Pandemic : A Technical Note. *Journal of Oral Maxillofacial Surgery*, 1–4.  
<https://doi.org/10.1016/j.joms.2020.04.040>
- Arizmendi, M., Campa, F. J., Gil, A., Olvera, D., & Veiga, F. (2010). *MODELIZACIÓN DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN FRESADO FRONTAL DE ACABADO EN ACEROS PRETRATADOS PARA MOLDES DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO*. Universidad de Vigo.
- Atanasov, V., & Kovatchev, G. (2019). Determination of the cutting power during milling of wood-based materials. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 61(1), 93–101.

<https://doi.org/10.17423/afx.2019.61.1.09>

Autodesk Community. (2020). *Connecting the Design and Manufacturing Community*.

[https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/connecting-the-design-and-manufacturing-community/#Open-source\\_design\\_efforts](https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/connecting-the-design-and-manufacturing-community/#Open-source_design_efforts)

Bendikiene, R., & Keturakis, G. (2017). The influence of technical characteristics of wood milling tools on its wear performance. *Journal of Wood Science*, 63(6), 606–614.

<https://doi.org/10.1007/s10086-017-1656-x>

Bueno, S., Cot, V., Colominas, C., & Montalà, F. (n.d.). *Características de los recubrimientos PVD Magnetron sputtering aplicados a matrices y moldes de inyección de altas prestaciones*. 4–9. <http://flubetech.com/www2/wp-content/uploads/2013/07/PDFTratermat2013-Articulo.pdf>

DINED. (2020). *Anthropometry in design*. <https://dined.nl/en>

Elsheikhi, S. A., & Benyounis, K. Y. (2017). Mathematical Modeling and Optimization of Injection Molding of Plastics. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, 1, 1–16. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.04135-7>

Fombuena Borrás, V., Fenollar Gimeno, O. Á., & Montañes Moñoz, N. (2016). *Caracterización de materiales poliméricos* (Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia (ed.); 1st ed.).

Goli, G., Fioravanti, M., Marchal, R., Uzielli, L., & Busoni, S. (2010). Up-milling and down-milling wood with different grain orientations-the cutting forces behaviour. *European Journal of Wood and Wood Products*, 68(4), 385–395. <https://doi.org/10.1007/s00107-009-0374-5>

- Gonzalo, A., & Lara, E. (2015). *Autor: Alejandro Gonzalo Erviti Lara Tutora: Aída Estévez Urra.*
- Groover, M. P. (2007). *FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA. Materials, Processes and Systems.*
- Hernández, P. M., Taboada Pirotte, S., & Suárez García, L. A. (2015). *Desarrollo de un producto en material plástico por inyección (I)* (1st ed.). Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Hernández, R. E., & Cool, J. (2008). Einfluss von Fräsparametern auf die Oberflächenqualität von Papierbirke, die mit Zwei Fräsverfahren Quer zur Faser Bearbeitet Wurde. *Holz Als Roh - Und Werkstoff*, 66(2), 147–154. <https://doi.org/10.1007/s00107-007-0222-4>
- Hernández, R. E., Llavé, A. M., & Koubaa, A. (2014). Effects of cutting parameters on cutting forces and surface quality of black spruce cants. *European Journal of Wood and Wood Products*, 72(1), 107–116. <https://doi.org/10.1007/s00107-013-0762-8>
- Jacinto, D., Alfredo, G., Alberto, A., & Cecilia, F. (2009). *Simulación numérica del comportamiento estructural de vigas de araucaria angustifolia (pino paraná)*. XXVIII, 3–6.
- Jayswal, S., Jangade, H., Abhishek, K., & Ramkumar, P. L. (2019). Design and Simulation of Seat Handle Using Plastic Injection Molding Process. *Springer Nature Singapore Pte Ltd.*, 757, 1–9. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-1966-2>
- José Luis Rosales. (, March). *Jóvenes de Ibarra se suman a iniciativa de fabricar visores de protección para personal de salud*. 3–4. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ibarra-iniciativa-fabrica-visores-coronavirus.html>

- Kalyaev, V., Salimon, A. I., & Korsunsky, A. M. (2020). Fast mass-production of medical safety shields under COVID-19 quarantine: Optimizing the use of university fabrication facilities and volunteer labor. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph17103418>
- Kim, J., Smierciak, R., Shin, Y. S., & Cooper, L. (2012). Advances in Aluminum Mold Block for Plastic Injection Molding Operations. *The Minerals, Metals & Materials Society*, 1621–1627. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-48761-8\\_243](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48761-8_243)
- Kimerling, T. E., Yao, D., & Kim, B. H. (2009). Polymer-Plastics Technology and Engineering Injection Molding Poly ( Para-phenylene ) with a Rapidly Heated Mold Injection Molding Poly ( Para-phenylene ) with a Rapidly Heated Mold. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 48, 1008–1013. <https://doi.org/10.1080/03602550903092518>
- Krimpenis, A. A., Fountas, N. A., Mantziouras, T., & Vaxevanidis, N. M. (2016). Optimizing CNC wood milling operations with the use of genetic algorithms on CAM software. *Wood Material Science and Engineering*, 11(2), 102–115. <https://doi.org/10.1080/17480272.2014.961959>
- Lerma Valero, J. R. (2020a). Key Parameters for Setting the Injection Molding Process. In J. Diaz-Luque (Ed.), *Plastics Injection Molding* (pp. 178–192). Carl Hanser Verlag. <https://doi.org/10.3139/9781569906903.014>
- Lerma Valero, J. R. (2020b). Plastics Injection Molding. In J. Diaz-Luque (Ed.), *Plastics Injection Molding* (1st ed.). Carl Hanser Verlag. <https://doi.org/10.3139/9781569906903>
- Magid, H. M., Kamoon, B., & Siba, M. A. A. (2018). On the Quality Enhancement of HDPE Plastic Products by Finite Element Analysis and Experimental Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 454(1), 0–11.

899X/454/1/012169

- Marin, F., de Souza, A. F., Pabst, R. G., & Ahrens, C. H. (2019). Influences of the mesh in the CAE simulation for plastic injection molding. *Polimeros*, 29(3).  
<https://doi.org/10.1590/0104-1428.05019>
- Matin, I., Hadzistevic, M., & Hodolic, J. (2012). A CAD / CAE-integrated injection mold design system for plastic products. *Int J Adv Manuf Technol*, 63, 595–607.  
<https://doi.org/10.1007/s00170-012-3926-5>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). *ESTRUCTURAS DE MADERA* (pp. 1–94). Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- Resolución No. 16 323, 1 (2016).
- Mirianon, F., Fortino, S., & Toratti, T. (2008). A method to model wood by using ABAQUS finite element software Part 1. Constitutive model and computational ABAQUS details. In *VTT Publication*.  
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2008/P687.pdf?pagewanted=all>
- Montalvo Soberón, L. A. (2007). *Plásticos industriales y su procesamiento* (El Cid Editor (ed.); 1st ed.).
- Morales, R. A., Candal, M. V., & González, O. (2005). Effect of the finite element meshing for designing plastic pieces. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, 44(8–9), 1573–1590. <https://doi.org/10.1080/03602550500209762>
- Morier, J. (1907). The History and Future of Plastics. *British Birds*, VI(1), 367–372.
- Mostaghimi, A., Antonini, M., Plana, D., Anderson, P. D., Beller, B., Boyer, E. W., Fannin, A., Freake, J., Oakley, R., Sinha, M. S., Smith, L., Van, C., Yang, H., Sorger, P. K., Leboeuf,

- N. R., & Yu, S. H. (2020). Regulatory and safety considerations in deploying a locally fabricated, reusable, face shield in a hospital responding to the COVID-19 pandemic. *Med.* <https://doi.org/10.1016/j.medj.2020.06.003>
- nmas1 ORG. (2020, April 1). *Coronavirus en Ecuador: jóvenes desarrollan implementos médicos en 3D para frenar contagio*. 20. <https://nmas1.org/news/2020/04/01/ecuador-3d-covid>
- Ohuchi, T., & Murase, Y. (2006). Milling of wood and wood-based materials with a computerized numerically controlled router V: Development of adaptive control grooving system corresponding to progression of tool wear. *Journal of Wood Science*, 52(5), 395–400. <https://doi.org/10.1007/s10086-005-0779-7>
- Peças, P., Ribeiro, I., Folgado, R., & Henriques, E. (2009). A Life Cycle Engineering model for technology selection: a case study on plastic injection moulds for low production volumes. *Journal of Cleaner Production*, 17(9), 846–856. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.01.001>
- Picas, J. A., Guasch, J., Forn, A., Castaño, A., & Ruperez, E. (2006). Nuevos materiales base aluminio para moldes de inyección de plásticos. *Anales de Mecánica de La Fractura*, 1(October 2015), 311–316. [http://www.cdaltec.com/publicaciones/fractura\\_06/motlles.pdf](http://www.cdaltec.com/publicaciones/fractura_06/motlles.pdf)
- Plastics Europe. (2019). *Plásticos – Situación en 2019*. <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/2511-plasticos-situacion-en-2019>
- Prada-Ospina, Ricardo & Acosta-Prado, J. C. (2017). EL MOLDEO EN EL PROCESO DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS PARA EL LOGRO DE OBJETIVOS EMPRESARIALES40. *Dimensión Empresarial*, 15(1), 43.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Prusa. (2020). *Modelo Prusa - cita*. [https://blog.prusaprinters.org/how-to-get-a-certification-for-face-shields\\_36481/#\\_ga=2.180469543.1611969782.1592753269-](https://blog.prusaprinters.org/how-to-get-a-certification-for-face-shields_36481/#_ga=2.180469543.1611969782.1592753269-1279164571.1592753269&_gac=1.8185606.1592753310.EAIAIQobChMIutK3o5yT6gIVGW-GCh31-gLEEAAYASABEgKmX_D_BwE)

[1279164571.1592753269&\\_gac=1.8185606.1592753310.EAIAIQobChMIutK3o5yT6gIVGW-GCh31-gLEEAAYASABEgKmX\\_D\\_BwE](https://blog.prusaprinters.org/how-to-get-a-certification-for-face-shields_36481/#_ga=2.180469543.1611969782.1592753269-1279164571.1592753269&_gac=1.8185606.1592753310.EAIAIQobChMIutK3o5yT6gIVGW-GCh31-gLEEAAYASABEgKmX_D_BwE)

Roberge, R. J. (2016). Face shields for infection control: A review. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 13(4), 239–246.

<https://doi.org/10.1080/15459624.2015.1095302>

Saedon, J. B., Azlan, M. Z., Adenan, M. S., & Azuddin, M. (2020). CAE analysis for disposable mouth mirror based on autodesk moldflow plastic insight. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 834(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/834/1/012060>

Schmid, S. R., & Kalpakjian, S. (2008). *MANUFACTURA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA* (Pearson Ed).

Shokrani, A., Loukaides, E. G., Elias, E., & Lunt, A. J. G. (2020). Exploration of alternative supply chains and distributed manufacturing in response to COVID-19; a case study of medical face shields. *Materials and Design*, 192, 108749.

<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108749>

Skamnelos, A., Murino, A., Lazaridis, N., Cunado, L., & Despott, E. J. (2020). Endoscopy during the COVID-19 pandemic: simple construction of a single-use, disposable face shield using inexpensive and readily available materials. *VideoGIE*, 1–3.

<https://doi.org/10.1016/j.vgie.2020.04.005>

Smith, G. T., & Smith, G. T. (1993). Cutting Tool Technology. In *CNC Machining Technology*.

[https://doi.org/10.1007/978-1-4471-1748-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-1748-3_2)

Stratasys. (2020). *Modelo de stratasys - cita*. <https://go.stratasys.com/lp-face-shield.html>

Tábi, T., Kovács, N. K., Sajó, I. E., Czigány, T., Hajba, S., & Kovács, J. G. (2015). Comparison of thermal , mechanical and thermomechanical properties of poly ( lactic acid ) injection-molded into epoxy-based Rapid Prototyped ( PolyJet ) and conventional steel mold. *Therm Anal Calorim*, 123, 349–361. <https://doi.org/10.1007/s10973-015-4997-y>

Tecnocorte. (2020). *Parámetros de corte - Materiales - Fresado*. <https://www.tecnocorte.com/blog/informacion-tecnica-la-herramienta-madera/>

U.S. Department of Health and Human Services (USDHHS), & Division of Healthcare Quality Promotion(DHQP). (2004). *Regulations (Standards—29CFR) Bloodborne Pathogens—1910.1030*.

Vignote, S. (2005). Tecnología de la madera. In G. M.- Prensa (Ed.), *Arquitecturas del Sur* (tercera, Issue 3).

Vinyl Shop. (2020). *Parámetros de corte en la Madera* (p. 150).

Wang, M.-L., Chang, R.-Y., & Hsu, C.-H. (David). (2018). *Molding Simulation: Theory and Practice* (M. Smith (ed.)). Carl Hanser Verlag.

Wang, Y., Yang, Y., Zhao, H., Liu, B., Ma, J., He, Y., Zhang, Y., & Xu, H. (2020). Effects of cutting parameters on cutting of citrus fruit stems. *Biosystems Engineering*, 193, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.02.009>

Ysacura, M., Labrador, D., & Crespo, Y. (2009). Polímeros y biomoléculas. *El Cid Editor / Apuntes*, 5.

Zabala, B., Fernandez, X., Rodriguez, J. C., López-Ortega, A., Fuentes, E., Bayón, R., Igartua,

A., & Girot, F. (2019). Mechanism-based wear models for plastic injection moulds. *Wear*, 440–441(October 2018). <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203105>

Zubiola. (2020). *Información Técnica* (p. 18). [www.zubiola.es](http://www.zubiola.es)