



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLDE DE
INYECCIÓN PARA OBTENER EL LATERAL DE
UN ASIENTO PARA AUTOBÚS A ESCALA”**

**DUCHI LÓPEZ SILVIA JANNETH
SAILEMA MASAQUIZA OMAR SANTIAGO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2017

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2017-03-10

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**DUCHI LÓPEZ SILVIA JANNETH
SAILEMA MASAQUIZA OMAR SANTIAGO**

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLDE INYECCIÓN PARA OBTENER
EL LATERAL DE UN ASIENTO PARA AUTOBÚS A ESCALA”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Miguel Ángel Escobar Guachambala
DIRECTOR

Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba
ASESOR

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: DUCHI LÓPEZ SILVIA JANNETH

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLDE INYECCIÓN PARA OBTENER EL LATERAL DE UN ASIENTO PARA AUTOBÚS A ESCALA”

Fecha de Examinación: 2017-03-10

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos José Santillán Mariño PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Miguel Ángel Escobar Guachambala DIRECTOR			
Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Carlos José Santillán Mariño
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: SAILEMA MASAQUIZA OMAR SANTIAGO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLDE INYECCIÓN PARA OBTENER EL LATERAL DE UN ASIENTO PARA AUTOBÚS A ESCALA”

Fecha de Examinación: 2017-03-10

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos José Santillán Mariño PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Miguel Ángel Escobar Guachambala DIRECTOR			
Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

**Ing. Carlos José Santillán Mariño
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Duchi López Silvia Janneth

Sailema Masaquiza Omar Santiago

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Silvia Janneth Duchi López y Omar Santiago Sailema Masaquiza, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Duchi López Silvia Janneth

Cedula de Identidad: 060436037-0

Sailema Masaquiza Omar Santiago

Cedula de Identidad: 180353120-9

DEDICATORIA

Dedico mi logro a dios, por la sabiduría y fortaleza brindada en este camino para alcanzar mi tan ansiada meta profesional.

A mis padres que me han enseñado buenos valores, que siempre han estado ahí en los momentos difíciles de la vida, pero nunca dejaron de creer.

A mi familia en general que con sus consejos y regaños han hecho de mí una mujer de bien a todos ellos les digo gracias y este logro es de todos por el esfuerzo y dedicación que todos contribuyeron.

Silvia Janneth Duchi López.

Dedico principalmente a Dios por mi objetivo alcanzado, fuerza y sabiduría que en el camino de mi vida me ha brindado sin dejar que me derrumbe por las adversidades hasta alcanzar mi meta anhelada.

A mis padres que me han acompañado en esta ardua lucha sin dejarme caer, enseñándome a vencer los obstáculos que se pongan en mi camino hasta llegar a conseguir lo que yo me proponga.

A mis hermanos y amigos que siempre con su granito de arena, ánimos y consejos lograron ayudarme para salir adelante, solo me queda decirles un dios le page a todos.

Omar Santiago Sailema Masaquiza.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme fortaleza para lograr mis metas, a mi familia por brindarme todo el cariño y confianza para ver culminada una meta más de la vida.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por darme la oportunidad de obtener una profesión, y ser una persona útil a la sociedad.

Agradezco al Ing. Miguel Ángel Escobar e Ing. Sócrates Miguel Aquino, por brindarme su amistad y asesoramiento en el proyecto, quienes con la ayuda de su conocimiento y experiencia se logró elaborar el presente documento.

Silvia Janneth Duchi López.

Agradezco a Dios por darme fortaleza para alcanzar los objetivos que, obtenido hasta ahora, a mi familia por darme toda la confianza y amor para obtener una meta más en mi vida.

Doy las gracias a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarme la oportunidad de crecer como persona y como profesional.

Agradezco al Ing. Miguel Ángel Escobar e Ing. Sócrates Miguel Aquino, por brindarme su conocimiento en el trabajo de titulación, y guiarme hasta finalizar el presente documento.

Omar Santiago Sailema Masaquiza.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	3
1.2.1	<i>Justificación Práctica</i>	3
1.2.2	<i>Justificación Teórica</i>	3
1.2.3	<i>Justificación Metodológica</i>	3
1.3	Objetivos.....	4
1.3.1	<i>Objetivo general</i>	4
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	4
2	MARCO REFERENCIAL SOBRE LOS ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE.....	5
2.1	Moldes de inyección.....	5
2.1.1	<i>Clasificación de moldes</i>	6
2.1.1.1	<i>Moldes estándares (moldes de dos placas)</i>	7
2.1.1.2	<i>Moldes de tres placas</i>	7
2.1.1.3	<i>Moldes de mordaza (moldes con correderas)</i>	8
2.1.2	<i>Tipos de sistemas de colada</i>	8
2.1.2.1	<i>Sistemas de colada fría</i>	9
2.1.2.2	<i>Sistema de colada caliente</i>	12
2.2	Selección de los materiales para moldes.....	12
2.2.1	<i>Aceros para moldes</i>	12
2.2.1.1	<i>Aceros de cementación</i>	12
2.2.1.2	<i>Aceros bonificados</i>	13
2.2.1.3	<i>Aceros de temple integral</i>	13
2.2.1.4	<i>Aceros resistentes a la oxidación</i>	13
2.2.1.5	<i>Aceros de nitruración</i>	14
2.2.2	<i>Tratamientos térmicos para aceros de moldes</i>	14
2.3	Consideraciones teóricas para el diseño de moldes.....	15
2.3.1	<i>Factores que inciden en el diseño</i>	15
2.3.2	<i>Elementos que conforman un molde</i>	17
2.3.2.1	<i>Sistema de alimentación</i>	17
2.3.2.2	<i>Sistema de expulsión</i>	18
2.3.2.3	<i>Sistema de centrado (guiado)</i>	20
2.3.2.4	<i>Sistemas de refrigeración</i>	20

2.3.3	<i>Tecnologías para diseñar moldes</i>	21
2.3.3.1	<i>Diseño asistido por computador (CAD)</i>	21
2.3.3.2	<i>Manufactura asistida por computador (CAM)</i>	22
2.3.3.3	<i>Ingeniería asistida por computadora (CAE)</i>	23
2.4	<i>Proceso de fabricación de moldes</i>	23
2.4.1	<i>Mecanizado por arranque de viruta</i>	24
2.4.1.1	<i>Torneado</i>	24
2.4.1.2	<i>Fresado</i>	24
2.4.1.3	<i>Taladrado</i>	26
2.4.2	<i>Elaboración sin arranque de viruta</i>	26
2.4.2.1	<i>Electroerosión</i>	26
2.4.3	<i>Centros de mecanizado CNC</i>	28
2.4.3.1	<i>Control numérico por computadora (CNC)</i>	29
2.5	<i>Proceso de inyección para polímeros</i>	29
2.5.1	<i>Variables en el proceso de inyección</i>	31
2.5.2	<i>Defectos en piezas moldeadas por inyección</i>	32
2.5.3	<i>Parámetros de selección de una máquina inyectora</i>	33
2.5.4	<i>Polímeros</i>	34
2.5.4.1	<i>Clasificación de los polímeros</i>	34
2.5.4.2	<i>Polipropileno</i>	35
2.5.4.3	<i>Inflamabilidad en los polímeros</i>	36
2.5.4.4	<i>Reciclaje del plástico</i>	38
3	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE DE INYECCIÓN	42
3.1	<i>Diseño del molde</i>	42
3.1.1	<i>Selección de la pieza a inyectar</i>	42
3.1.1.1	<i>Parámetros de la pieza a inyectar</i>	42
3.1.1.2	<i>Selección del modelo de la pieza</i>	49
3.1.2	<i>Condiciones para el diseño del molde</i>	51
3.1.2.1	<i>Bosquejo de la estructura de la matriz</i>	53
3.1.2.2	<i>Cálculos generales para la construcción molde</i>	55
3.1.2.3	<i>Especificaciones de la máquina inyectora</i>	59
3.1.2.4	<i>Deflexiones en el molde</i>	64
3.1.2.5	<i>Análisis del molde</i>	77
3.1.3	<i>Cálculos de los parámetros de inyección</i>	82
3.1.4	<i>Proceso de fabricación del molde</i>	96
3.1.5	<i>Montaje de la matriz</i>	107

3.1.6	Pruebas y análisis de resultados	109
4	COSTOS.....	122
4.1	Costos directos.....	122
4.1.1	<i>Costos materia prima</i>	122
4.1.2	<i>Costos maquinaria</i>	124
4.1.3	<i>Costos directos totales</i>	125
4.2	Costos indirectos	125
4.3	Costo total.....	125
4.4	Costo producto.....	126
	CONCLUSIONES	128
	RECOMENDACIONES.....	129
	BIBLIOGRAFÍA	130
	ANEXOS.....	133

LISTA DE TABLAS

Aceros usados en la fabricación de moldes	14
Temperaturas de desmoldeo	18
Propiedades del polipropileno según norma DIN 16774-UNI 7055	36
Clasificación de los plásticos según la SPI.....	39
Usos más comunes de las resinas plásticas.....	40
Método de evaluación de soluciones	49
Criterio Facilidad de desmoldeo	49
Criterio Rigidez del producto	50
Criterio Costo de mecanizado.....	50
Criterio Apariencia del producto	50
Solución final.....	51
Contracción de diferentes materiales.....	52
Partes del molde.....	54
Especificaciones técnicas de inyectora TRUBOR.....	60
Valores del coeficiente C_{sz} según espesor de la pieza	62
Valores de n en función del tipo de polímero	62
Difusividad térmica de masas de diferentes polímeros	85
Placas para la construcción de la matriz	95
Ejes para la construcción de la matriz	96
Resumen de actividades en el montaje	111
Resumen de actividades.....	113
Actividades en el ensayo de pruebas	115
Resultados prueba 1	116
Resultados prueba 2	117
Verificación de las dimensiones	119
Comparación teórica-experimental en el proceso de inyección	120
Costos de placa	122
Costos placas y ejes de materia prima	123
Costos de elementos normalizados	124
Costos máquina.....	124
Costos directos totales	125

Costos indirectos.....	125
Costo total.....	125
Costo materia prima polímero	126
Costo producción producto.....	126
Costo total producto.....	127

LISTA DE FIGURAS

1	Moldes de dos placas	7
2	Moldes de tres placas	8
3	Moldes de mordaza	9
4	Moldes de colada fría.....	9
5	Mecanismo de alimentación en canales fríos	10
6	Entrada directa	11
7	Entrada submarina	11
8	Entrada puntiforme	11
9	Esquema para la construcción metódica y planificada de moldes de inyección de polímeros	16
10	Expulsores cilíndricos.....	19
11	Expulsor laminar.....	20
12	Ubicación de los sistemas de refrigeración.....	21
13	Manufactura asistida por computador.....	22
14	Diversas operaciones en un torno	24
15	Principales tipos de fresados.....	25
16	Operaciones adicionales de fresado.....	25
17	Tipos de operaciones de maquinado con el taladrado	26
18	Proceso de electroerosión	27
19	Proceso de corte por hilo	28
20	Esquema de máquina de inyección.....	30
21	Proceso de inyección	30
22	Triangulo de fuego.....	37
23	Flujo de desechos plásticos post-consumo	39
24	Modelo geométrico lateral 1	43
25	Asignación de material	43
26	Asignación de cargas y soportes.....	43
27	Calidad de malla	44
28	Resultados de análisis	44
29	Modelo geométrico lateral 2.....	45
30	Asignación de material	45

31	Asignación de cargas y soportes	45
32	Resultados de análisis	46
33	Modelo geométrico lateral 3	46
34	Asignación de material	47
35	Asignación de cargas y soportes	47
36	Calidad de malla	47
37	Resultados de análisis	48
38	Superficie de partición de la cavidad y núcleo	53
39	Partes constitutivas de un molde.....	54
40	Área proyectada de la pieza a inyectar y el canal de distribución	56
41	Longitud del bebedero y del flujo.....	56
42	Espesor de pared promedio.....	57
43	Diagrama para calcular la presión de la cavidad en el molde.....	58
44	Máquina inyectora	59
45	Salida de aire.....	61
46	Dimensionamiento de la pieza.....	61
47	Superficie de contacto entre la boquilla y el bebedero	63
48	Bebedero	64
49	Modelo Geométrico placa fija y móvil.....	66
50	Asignación de material	66
51	Asignación de cargas y soportes.....	66
52	Calidad de malla	67
53	Resultado de análisis.....	67
54	Modelo geométrico placas paralelas.....	70
55	Asignación de material	70
56	Asignación de cargas y soporte	70
57	Resultado de análisis.....	71
58	Longitud de los expulsores	72
59	Distribución de los pernos de la placa fija, parte móvil.....	73
60	Parte móvil del molde	74
61	Longitud de rosca para pernos	76
62	Modelo geométrico del molde	78
63	Asignación del material	78
64	Asignación de cargas y soportes	78

65	Resultados de análisis deformación máxima	79
66	Factor de seguridad estático.....	80
67	Factor de seguridad a fatiga	80
68	Máximo esfuerzo	80
69	Modelo geométrico del molde	81
70	Asignación de cargas	81
71	Resultado de análisis deformación máxima.....	81
72	Factor de seguridad estático y a fatiga.....	82
73	Duración total del ciclo de inyección en una máquina inyectora	82
74	Disposición de los canales de enfriamiento	83
75	Distribución de los canales de enfriamiento	84
76	Zonas de temperatura en la pieza inyectada	85
77	Tiempo de enfriamiento en el núcleo	87
78	Modelo geométrico del núcleo	87
79	Asignación de mallado.....	88
80	Análisis de disipación de temperatura	88
81	Nomograma del tiempo de enfriamiento	89
82	Tiempo de llenado del polímero	90
83	Parámetros de inyección y tipo de malla	91
84	Moldeabilidad de la pieza inyectada.....	92
85	Análisis de presión de inyección	92
86	Análisis de la temperatura frente al flujo.....	93
87	Análisis de aire atrapado.....	93
88	Líneas de soldadura en el lateral.....	94
89	Matriz completa del lateral	94
90	Parte fija de la matriz	95
91	Parte móvil de la matriz	95
92	Simbología de procesos según Norma SAE	99
93	Flujograma de mecanizado de las placas.....	100
94	Flujograma de mecanizados finales.....	101
95	Procesos derivados del maquinado de las piezas.....	101
96	Escuadrado de las placas.....	102
97	Planeado de las superficies de la cavidad.	102
98	Mecanizado de la cavidad.....	103

99	Planeado de placa móvil	103
100	Mecanizado del núcleo	104
101	Mecanizado de los bordes y planeado de las placas paralelas.....	104
102	Mecanizado de bordes de las placas de expulsión.....	105
103	Planeado de las superficies.	105
104	Mecanizado de las perforaciones para el guiado	106
105	Mecanizado de perforaciones que alojan al bebedero.	106
106	Perforaciones del sistema de refrigeración	107
107	Ensamble de la parte fija del molde.....	108
108	Ensamble de elementos adicionales.....	108
109	Montaje total de la matriz	109
110	Montaje del conjunto móvil.....	110
111	Sujeción del conjunto móvil a la placa de la inyectora.....	110
112	Montaje del conjunto fijo del molde a la placa de la inyectora.....	110
113	Sujecion de la placa fija.	111
114	Apertura del molde	112
115	Matriz cerrada	113
116	Ingreso de parámetros de inyección en la máquina	114
117	Guiado del cañón de inyección hacia la entrada del bebedero	114
118	Conformado del polipropileno dentro de las cavidades.....	115
119	Lateral de asiento de autobús primera prueba	116
120	Producto final.....	117
121	Medición de la longitud del lateral de asiento de autobús.....	118
122	Medición de la altura del lateral de asiento de autobús	118
123	Medición de la profundidad del lateral de asiento de autobús.....	119
124	Producto final teórico.....	120
125	Producto final experimental.....	121

LISTA DE ABREVIATURAS

AISI	Instituto americano del hierro y el acero
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
ASTM	Asociación Americana de Ensayo de Materiales
CAD	Diseño asistido por ordenador
CAE	Ingeniería asistida por ordenador
CAM	Fabricación asistida por ordenador
CN	Control numérico
CNC	Control numérico por computadora
DIN	Instituto de normalización alemán
EDM	Mecanizado por descarga eléctrica
HDPE	Polietileno de alta densidad
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ISO	Organización Internacional de Normalización
LDPE	Polietileno de baja densidad
NTE	Normas técnicas ecuatorianas
PET	Polietilentereftalato
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Cloruro de polivinilo
RTE	Reglamento técnico ecuatoriano
SPI	Sistema de identificación de plásticos
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotores

LISTA DE ANEXOS

- A Datos técnicos del polipropileno
- B Hojas técnicas de materiales usados para la construcción del molde de inyección.
- C Relación entre la presión interior del molde
- D Tablas de ajustes
- E Tablas de procesos

RESUMEN

En la industria ecuatoriana de construcción de moldes de inyección, generalmente se utiliza el método de prueba y error, generando re-mecanizados y aumentando el costo del producto final. Para ello se diseñó y construyó un molde de inyección para polímeros aplicando metodologías según la norma DIN 16750 (para determinar el tipo de molde y selección de elementos normalizados) y el uso de tecnologías CAD, CAE, CAM. Se estudió los parámetros fundamentales de inyección realizando un análisis y simulación de llenado de la cavidad considerando la presión de llenado, posteriormente en base a el análisis se dimensionan y seleccionan los elementos normalizados constitutivos del molde para construirlo utilizando los materiales con las mejores características mecánicas que resistan al proceso de inyección. Realizada una revisión final del dimensionamiento del molde se continua con la elaboración de planos y estrategias de mecanizado para la construcción de los diferentes elementos del molde. Finalmente se realiza las pruebas de inyección para la obtención del producto, mediante los datos teóricos obtenidos tales como presión de llenado, temperatura, tiempo del ciclo y volumen de inyección, donde se pudo observar que los parámetros fueron adecuados existiendo una mínima variación de los parámetros anteriormente mencionados. Generando una comparación teórica experimental, donde se puede concluir que los datos obtenidos en el software son de alta confiabilidad con un margen mínimo de error, ofreciendo una alta fiabilidad en el diseño y construcción de moldes aplicados a la industria, evitando así el uso del método prueba y error. El cual garantiza ahorro de tiempo, materia prima, mano de obra y demás factores que intervienen tanto en la obtención del molde y producción del producto, dando como resultado un producto final de alta calidad y de bajo costo.

PALABRAS CLAVE: <PRESIÓN DE LLENADO>, <TEMPERATURA DE PLASTIFICACIÓN>, <TIEMPO DEL CICLO>, <VOLUMEN DE INYECCIÓN>, <DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR (CAD)>, <INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR (CAE)>, <MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADOR (CAM)>, <COSTOS DE PRODUCCIÓN>.

ABSTRACT

The Ecuadorian industry of injection mold construction generally uses the trial and error method, generating re-machining and increasing the cost of the final product. An injection mold for polymers was designed and built applying methodologies according to DIN 16750 (to determine the type of mold and selection of standard elements) and the use of CAD (computer assisted design), CAE (computer aided engineering) and CAM (computer assisted manufacturing) technologies. The fundamental parameters of the injection were studied by performing an analysis and the simulation of filling of the cavity considering the filling pressure, then based on the analyzes were dimensioned and selected the constitutive standard elements of the mold using materials with the best mechanical characteristics that resist the injection process. A final revision of the dimensioning of the mold was carried out with the elaboration of the elements and the machining strategies for the construction of the different elements of the mold. Finally, the injection test were performed to obtain the product, by means of the data obtained from the filling pressure factors, temperature, cycle time and injection volume, where the parameters observed were adequate, and there was a minimum variation of the parameters previously mentioned. A theoretical experimental comparison was generated, where can be concluded that the data obtained in the software are of high reliability with a minimum of error, offering a high reliability in the design and construction of molds applied to the industry, avoiding the use of the trial and error method. This guarantees the saving of time, raw material, labor and other factors involved in obtaining the mold and the production of the product, resulting in a final product of high quality and low cost.

KEY WORDS: <FILLING PRESSURE>, <PLASTIFICATION TEMPERATURE>, <CYCLE TIME>, <INJECTION VOLUME>, <COMPUTER ASSISTED DESIGN (CAD)>, <COMPUTER ASSISTED MANUFACTURING (CAM)>, <COSTS OF PRODUCTION>

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En la época actual resultaría difícil imaginar que alguno de los sectores de nuestra vida diaria, de la economía o de la técnica, pudiera prescindir de los plásticos. Sólo basta con observar a nuestro alrededor y analizar cuántos objetos son de plástico para concebir la importancia que tienen estos materiales.

El moldeo por inyección ha sido una de las herramientas de fabricación más importantes para la industria del plástico. Se utilizan en interiores de automóviles, cubiertas de dispositivos electrónicos, artículos para el hogar, equipos médicos, discos compactos, juguetes, cajones, y baldes, contenedores para alimentos de paredes delgadas, tazas de promoción para bebidas, y tapas de botellas de leche y muchas otras aplicaciones.

En el proceso de moldeo por inyección se funde el plástico en un extrusor y se utiliza el tornillo del extrusor para inyectar el plástico en un molde donde se enfría. La velocidad y consistencia son elementos claves para que la operación de moldeo por inyección sea exitosa.

La popularidad de este método se explica con la versatilidad de piezas que pueden fabricarse, la rapidez de fabricación, la gama de diseños desde procesos de prototipos rápidos, altos niveles de producción y bajos costos, alta o baja automatización según el costo de la pieza, geometrías muy complicadas que serían imposibles por otras técnicas, las piezas moldeadas requieren muy poco o nulo acabado pues son terminadas con la rugosidad de superficie deseada, color y transparencia u opacidad, buena tolerancia dimensional de piezas moldeadas con o sin insertos y con diferentes colores.

Los moldes son contruidos de aceros especiales de alta resistencia para que resistan altas presiones de cierre y de inyección para producción limitada. El molde no es directamente un elemento de la máquina de inyección, ya que debe construirse especialmente para cada pieza. Consta, como mínimo de dos mitades, que se fijan a las placas de sujeción de la unidad de cierre (una en el lado de cierre y la otra en el lado de inyección). El tamaño máximo del molde viene determinado por el tamaño de las placas de sujeción, así como por la distancia entre guías de la propia máquina.

Tras el proceso de llenado y solidificación, el molde se abre por el plano de partición, quedando generalmente la pieza y la mazarota adheridas a la mitad del molde del lado extractor (lado de cierre). Se llama mazarota al plástico que se moldea preo que no pertenece a la pieza, está compuesta por el bebedero y los canales de distribución.

El sector moldista ecuatoriano ha experimentado cambios importantes en los últimos años. Ya que ha pasado de la situación no tan lejana donde los fabricantes únicamente fabricaban piezas que se adecuaban a los requerimientos del cliente, actualmente también participan ya en el diseño del producto. Para permanecer en el mercado y crecer frente a la competencia ha sido necesario adoptar una mentalidad que incidiera en el propio molde, en el diseño, materiales y en el proceso de fabricación controlando los parámetros de llenado para la fabricación de los productos.

El proceso de diseño y construcción de un molde requiere de ciertos parámetros rigurosos que ayudan y complementan el ahorro de tiempo, materiales, mano de obra y demás aspectos constitutivos de una empresa. En la realidad estos aspectos de optimización de materia prima no se cumplen y en consecuencia se produce pérdidas en la producción.

1.2 Justificación

1.2.1 Justificación Práctica

Una vez planteada la propuesta tecnológica se obtendrá la construcción de moldes bajo parámetros adecuados mediante el uso de normas, para la obtención de moldes estandarizados que eviten la construcción bajo el método prueba y error y permitan la competitividad en el mercado. Como también se considera dejar una información ingenieril para la fabricación de moldes y una producción más eficiente que será de gran importancia en el desarrollo de este campo. Esto daría como resultado la optimización de recursos a corto y largo plazo.

1.2.2 Justificación Teórica

Como resultado de la propuesta se provee una metodología de diseño, construcción, manufactura y producción para posteriores moldes de inyección. Los parámetros de operación de la máquina de inyección de plásticos en la producción se dispondrán de información sobre las siguientes variables: presión, temperatura, tiempo de llenado, etc. que nos permitirá realizar un trabajo más ingenieril.

Se utilizarán software CAD, CAM, CAE que son un conjunto de tecnologías que ayudaran en el diseño, manufactura y simulación.

1.2.3 Justificación Metodológica

Concluido el trabajo en su totalidad se dispondrá del estudio de arte, en el diseño y caracterización de un molde de inyección, métodos de análisis para la simulación y validación de la estructura del molde y de los parámetros de configuración de la máquina de inyección que deberán estar cercanos a los parámetros reales de trabajo, esta información servirá como guía metodológica para posteriores investigaciones.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar y construir un molde de inyección para obtener el lateral de un asiento para autobús a escala.

1.3.2 Objetivos específicos

- Aplicar metodologías para el diseño y construcción de un molde de inyección bajo normas establecidas DIN E 16 750.
- Diseñar un molde mediante software con los parámetros obtenidos.
- Construir el molde aplicando eficientemente los procesos de manufactura para optimizar la utilización de recursos.

CAPÍTULO II

2 MARCO REFERENCIAL SOBRE LOS ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE.

El objetivo del presente capítulo es realizar el estudio de las partes fundamentales en el diseño de un molde de inyección de plásticos, considerando normas existentes para obtener moldes normalizados de alta gama, y los parámetros adecuados de operación de la máquina de inyección.

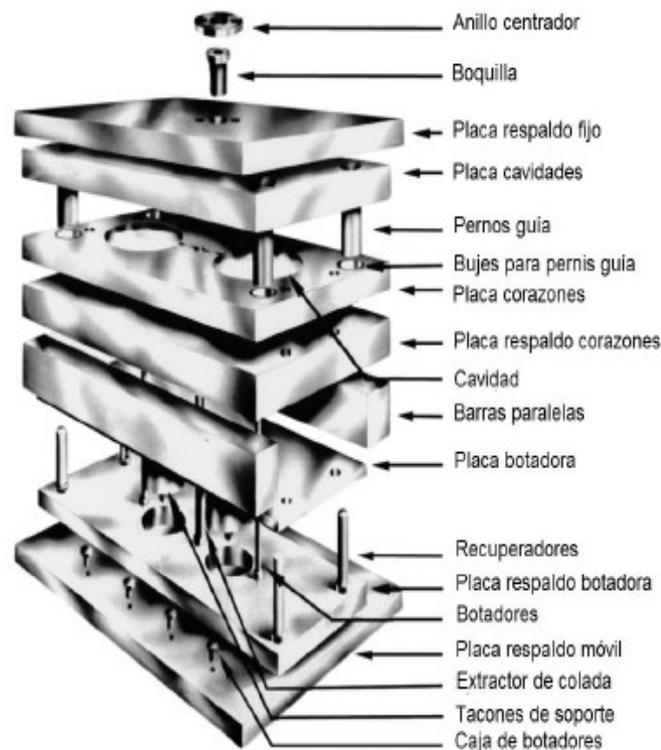
2.1 Moldes de inyección

Los moldes para inyección de plásticos son elementos no constitutivos de las máquinas de inyección, ya que estos deben construirse especialmente para cada pieza a inyectar. La función principal del molde de inyección es recibir el plástico fundido procedente de la unidad o máquina de inyección, debido a la gran presión que proporciona la máquina se llenan todas las cavidades dentro del molde y produciéndose así piezas en serie con una calidad uniforme y constante. La mayoría de moldes consisten fundamentalmente en dos mitades que se fijan a las placas de sujeción de la unidad de cierre de la máquina de inyección.

En la figura 1 se muestran las partes básicas que componen un molde de inyección son:

- a)** Placas cavidades. - Modela la masa fundida hasta darle la forma final mecanizada en la cavidad.
- b)** Sistema de alimentación. - Permite la entrada, distribución y llenado de la masa fundida del plástico.
- c)** Sistema de refrigeración. - Permite disminuir la temperatura de manera más rápida de las piezas inyectadas para que la productividad se incremente.
- d)** Expulsores. - Ayuda a desmoldar el producto final una vez que se encuentra perfectamente conformado y definido.

Figura 1. Partes constitutivas de un molde de inyección



Fuente:(DuPont, 2006)

2.1.1 Clasificación de moldes. - Se pueden clasificar de diferentes maneras dependiendo de la geometría a moldearse y las características principales de construcción y función.

- El tipo de colada y su separación.
- El tipo de expulsión de las piezas inyectadas.
- La existencia o no de contrasalidas exteriores en la pieza a inyectar.
- El tipo de desmoldeo.

Según el número de cavidades se pueden dividir en:

- Simples
- Múltiples

La determinación del número exacto de cavidades del molde depende técnicamente del peso del material a inyectar, del rendimiento de la plastificación y la presión del cierre de la máquina inyectora.

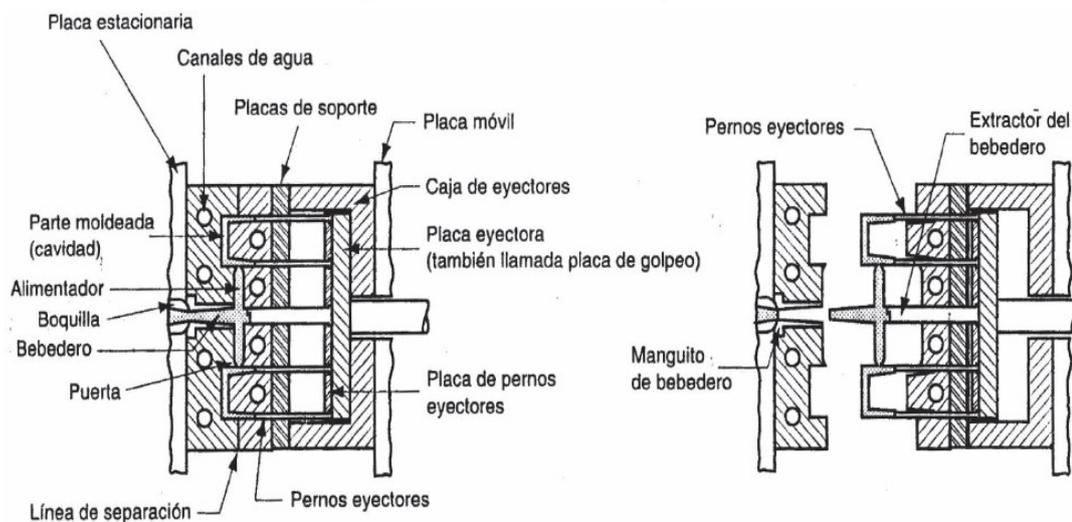
Según la Norma DIN E 16750 se establece la siguiente clasificación para moldes de inyección para materiales plásticos.

- Molde estándar (molde de dos placas)

- Molde de tres placas
- Molde de mordaza (molde de corredera)
- Molde de extracción por segmentos
- Molde de pisos (molde sándwich)
- Molde de canal caliente (inyección de termoplásticos)

2.1.1.1 Moldes estándares (moldes de dos placas). - Este tipo de moldes es el más utilizado por su simplicidad ya que está conformado básicamente de dos placas que son el núcleo y la cavidad. La cavidad se monta en la parte fija de la máquina inyectora, mientras que el núcleo se monta en la parte móvil debido que permite el accionamiento del sistema de expulsión.

Figura 1. Moldes de dos placas



Fuente: (López, 2009)

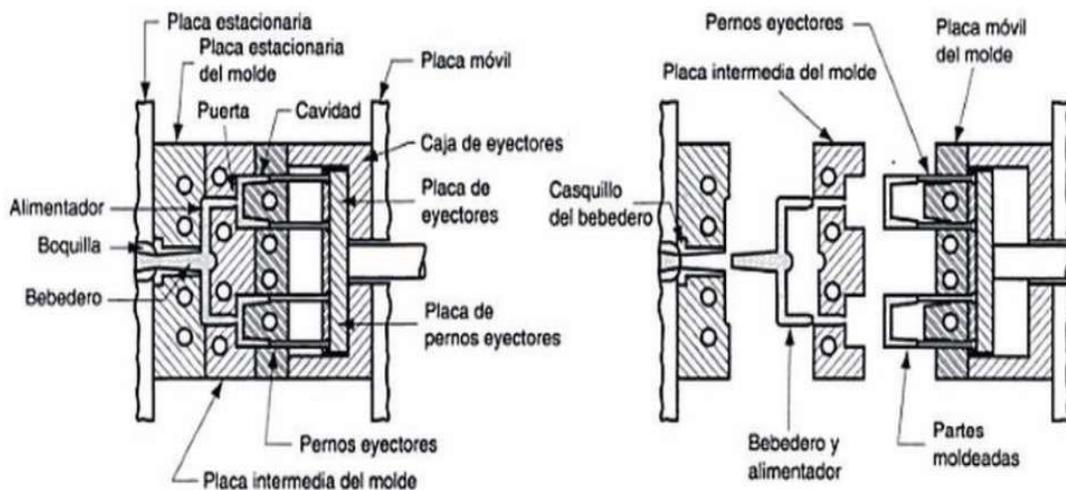
Estos moldes tienen la boquilla de alimentación situada en la parte media del molde con el fin de alimentar directamente a la pieza o a un sistema de canales en caso de que el molde tenga más de una cavidad. Los canales de llenado y la pieza se encuentran en el mismo plano de partición, cuando se separan las dos placas la pieza queda totalmente libre y conformada y luego es expulsada por la acción de la placa expulsora.

2.1.1.2 Moldes de tres placas. - Estos moldes constan de tres placas como se muestra en la figura 3, la primera placa contiene el bebedero y la mitad de los canales de

alimentación, esta placa se monta en la parte fija de la máquina inyectora. La segunda placa o conocida también como placa flotante contiene la cavidad y la otra mitad de los canales de alimentación.

Finalmente, la tercera placa contiene al núcleo del molde o conocido también como macho y esta última placa se sujeta a la parte móvil de la máquina inyectora. La ventaja de este tipo de moldes es que al accionarse la placa flotante se puede separar tanto el bebedero y los canales de alimentación del producto final.

Figura 2. Moldes de tres placas



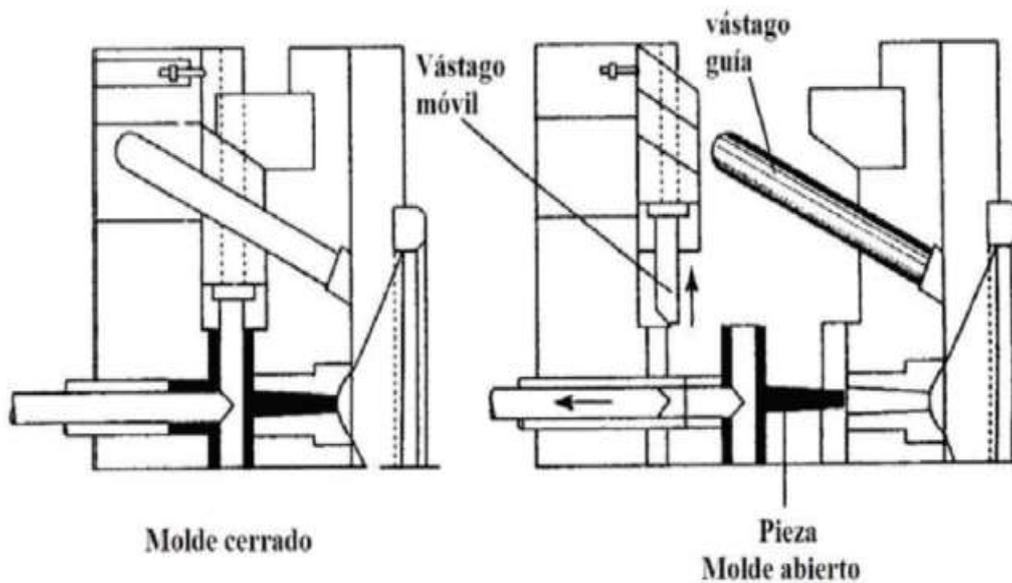
Fuente: (López, 2009)

2.1.1.3 Moldes de mordaza (moldes con correderas). - Debido a la complejidad geométrica de ciertas piezas se hace necesario efectuar algunas modificaciones al molde, para poder tener un mejor desmoldeo sin causar ningún daño al producto final. Estas modificaciones tienen que ver con el número de placas utilizadas y tipos de cierres o mecanismos de extracción.

Los mecanismos más utilizados para resolver el problema de la extracción es utilizar elementos deslizantes como correderas, levas o pistones que pueden ser accionados de manera mecánica con sistemas neumáticos o hidráulicos. Como se puede observar en la figura 4, donde se puede observar el tipo de mecanismo referente al tipo de matriz.

2.1.2 Tipos de sistemas de colada. - Existen dos tipos de coladas que se pueden usar en la inyección de plásticos.

Figura 3. Moldes de mordaza



Fuente: (López, 2009)

2.1.2.1 Sistemas de colada fría. - Este sistema conocido también como de canal frío quiere decir que, durante el trayecto de la inyección del plástico dentro de los canales de distribución, no hay ningún medio de calentamiento adicional, por lo que este traslado del polímero requiere de presión de inyección adicional. El único medio de calentamiento disponible es el que brinda la Autores máquina. Los sistemas de canales fríos pueden ser mecanizados directamente en las placas del molde que forman la partición principal, tomando en cuenta que estos deben ser lo más cortos posibles para de esta manera disminuir las pérdidas de presión y temperatura.

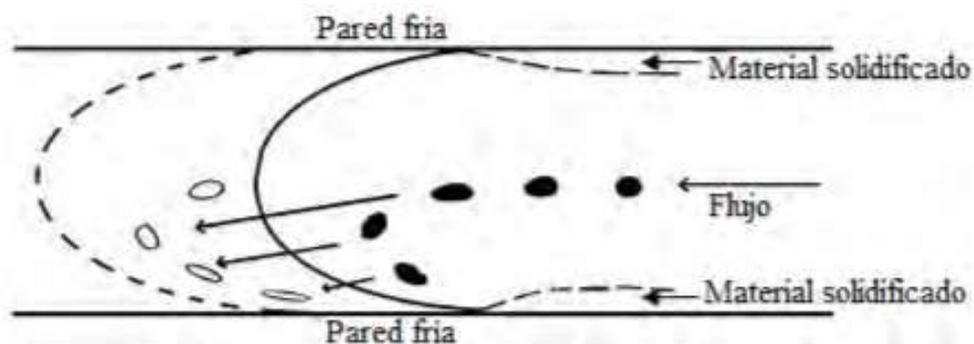
Figura 4. Moldes de colada fría



Fuente: (Fischer, 2003)

Para los moldes de colada fría, los canales de distribución son muy importantes en la productividad del molde. La dimensión de las secciones transversales de los canales no debe ser muy pequeña, ya que se tiene el riesgo de enfriamiento prematuro a bajas presiones y velocidades de enfriamiento. Este fenómeno se da debido a que el polímero en contacto directo con las placas del molde se enfría más rápidamente, produciéndose así una capa de polímero solidificada llamada "capa fría". Por el contrario, si los canales son demasiado grandes, la fase de enfriamiento se prolongará incrementando demasiado el tiempo del ciclo de trabajo.

Figura 5. Mecanismo de alimentación en canales fríos



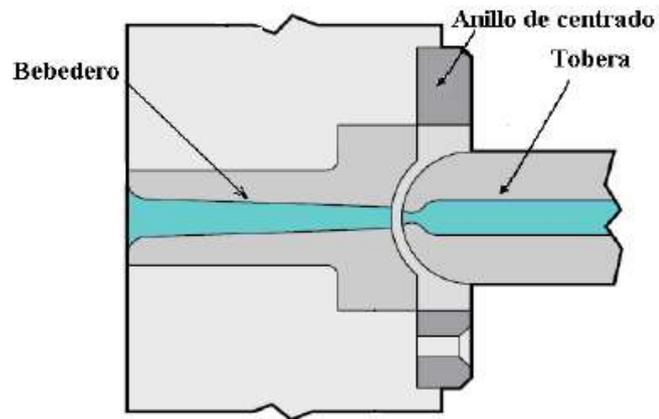
Fuente: (Fischer, 2003)

Tipos de entradas en los sistemas de colada fría. - Existen diferentes tipos de entradas la cual depende del recorrido del material.

A continuación, se describe diversos tipos de entradas:

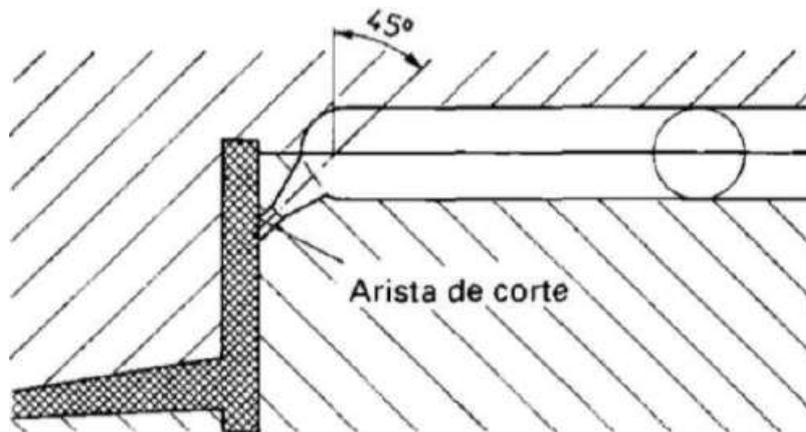
- a) **Entrada directa.** -Este tipo de entrada es la más simple, utilizada cuando el molde tiene una sola cavidad. Se identifica principalmente por poseer una mazarota que conecta directamente a la cavidad. Esta presenta un menor tiempo y longitud de recorrido debido que no posee canales de alimentación, permitiendo una buena compactación efectiva y precisión dimensional. Como se observa en la figura 7.
- b) **Entrada submarina.** - Este tipo de entrada es utilizada especialmente en moldes de piezas pequeñas y múltiples cavidades. Esta entrada se encuentra localizada debajo de la superficie de partición del molde. Como se observa en la figura 8.

Figura 6. Entrada directa



Fuente: (Lokensgard, 2000)

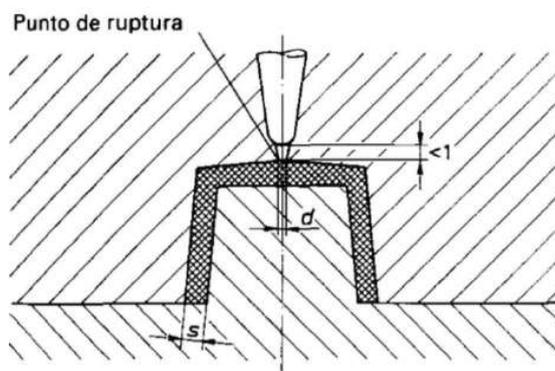
Figura 7. Entrada submarina



Fuente: (Mengues, y otros, 1983)

- c) Entrada puntiforme. –Es utilizada cuando se desea separar automáticamente el producto de los ramales de inyección.

Figura 8. Entrada puntiforme



Entrada puntiforme $d \leq 2/3 s$

Fuente: (Mengues, y otros, 1983)

2.1.2.2 Sistema de colada caliente. - Este tipo de sistema conocido también como canal caliente es más complejo que el de colada fría, debido a que, para mantener caliente los conductos se utilizan medios de calentamiento adicionales al de la inyectora tales como: boquillas de inyección aisladas térmicamente del molde frío, entre otros. La función del molde es mantener la colada fundida y caliente durante el proceso de inyección. Con esta técnica se pueden aprovechar de mejor manera el material de inyección, reducir la pérdida de presión en los canales calientes. Mediante los sistemas de canal caliente se pueden inyectar piezas extremadamente grandes

2.2 Selección de los materiales para moldes

Para la fabricación de moldes de inyección se requieren ciertas características específicas de los materiales para su construcción. Los moldes deben poseer una larga vida útil de trabajo manteniendo buena calidad durante su funcionamiento, por ello los materiales deben tener las siguientes propiedades:

- Alta resistencia al desgaste
- Alta resistencia a la corrosión
- Alta estabilidad de medidas
- Buena conductividad térmica
- Buena resiliencia
- Buena tenacidad

2.2.1 Aceros para moldes- Existen diversos tipos de aceros, entre estos los más utilizados para la construcción de moldes se dividen de la siguiente manera:

- Aceros de cementación
- Aceros bonificados
- Aceros para temple integral
- Aceros resistentes a la oxidación
- Aceros de nitruración

2.2.1.1 Aceros de cementación. –Los aceros cementados son los más utilizados, ya que estos reúnen las características necesarias para la fabricación de moldes, es por esto que aproximadamente un 80% de las placas que conforman el molde están realizados de este tipo de acero. La ventaja principal de este material, es que, por estar cementado posee un

alto porcentaje de carbono el cual otorga una superficie dura que hace resistente a la abrasión y un núcleo resistente y tenaz a los esfuerzos que estará expuesto durante su ciclo de trabajo.

2.2.1.2 Aceros bonificados. –Este tipo de aceros no requieren ningún tratamiento térmico, debido que se les puede utilizar en estado de suministro. Estos son aceros relativamente suaves que son fáciles de mecanizar por arranque de viruta. Su aplicación está centrada en la construcción de moldes de grandes dimensiones. La desventaja de este material es que posee poca resistencia a la abrasión, baja dureza y deficiente acabado superficial lo que incide en la necesidad de realizar un tratamiento térmico sobre la superficie que estará en contacto con el elemento a inyectar. Dichos tratamientos térmicos pueden ser el nitrurado y cromado.

2.2.1.3 Aceros de temple integral. - Estos aceros presentan un aumento en su dureza debido a la presencia de martensita en su estructura interna. Las características principales de este acero es que se puede conseguir una estructura homogénea incluso en grandes secciones. El proceso de temple consiste en el calentamiento y estabilización de la temperatura, para posteriormente pasar a un enfriamiento y revenido. El proceso de revenido se lo realiza únicamente con la finalidad de mejorar la tenacidad del material. Los moldes fabricados con este acero tienen una excelente resistencia a la abrasión debido a la alta dureza que poseen, pero así mismo es propenso a sufrir micro fisuras debido a su baja tenacidad, por esta razón se utiliza solo para fabricación de moldes pequeños con geometrías sencillas.

2.2.1.4 Aceros resistentes a la oxidación. -Como protección contra los polímeros o sus aditivos con efectos corrosivos, generalmente se protegen las caras expuestas del molde. Las caras expuestas generalmente son protegidas con recubrimientos de materiales de gran dureza como son el cromo y el níquel, estos materiales además de ser resistentes también brindan un acabado superficial de alta calidad y ayudan a mejorar el desmoldeo del elemento inyectado. Sin embargo, estos tipos de recubrimientos tienen un tiempo de vida útil y además debido a su elevada presión superficial en las aristas agudas, contra perfiles y esquinas del molde se podría producir un agrietamiento de este recubrimiento. En lo posible se deberá evitar la nitruración de estos aceros, debido a que disminuye sus propiedades de resistencia a la corrosión.

2.2.1.5 Aceros de nitruración. –Estos aceros son de fácil mecanizado por estar recocidos en estado de suministro, su ventaja principal es que después del tratamiento térmico se obtienen aceros con bajas tensiones superficiales, gran tenacidad y elevada dureza superficial. Básicamente se pueden nitrurar todo tipo de acero que contengan aleaciones que formen nitruros, tales como el cromo, aluminio, vanadio y molibdeno.

Tabla 1. Aceros usados en la fabricación de moldes

Aceros para moldes	
Componentes del molde	Acero
Insertos cavidad	P20, H13, S7, L6, A2, A6, P2, P6, 420SS
Placas cavidad	P20, H13, S7, 420SS
Placas respaldo fijo y móvil	P20, H13, S7
Insertos corazones	P20, H13, S7, L6, A2, A6, P2, P6, 420SS
Botadores	Nitrurados H13
Placas botadoras	P20, H13, S7
Pernos guías y bujes	O1, A2, P6
Recuperadores	Nitrurados H13
Expulsores	K150, O1, O2, L6, A2, A6, S7, P6

Fuente: (Irving, 2014)

2.2.2 Tratamientos térmicos para aceros de moldes. Los tratamientos térmicos son procesos adicionales que se les da al acero para mejorar diferentes características de sus propiedades mecánicas al someterlo a un calentamiento y enfriamiento de un metal. Los principales tratamientos térmicos son:

- a) Temple. - Este tipo de tratamiento principalmente aumenta la dureza y resistencia del metal. Se debe elevar la temperatura entre (900 – 950) °C y enfriar en un tiempo promedio en agua o aceite.
- b) Revenido. - El revenido se aplica en metales templados, este proceso ayuda a disminuir tensiones en el metal templado y mejora la tenacidad.
- c) Recocido. - Consiste en el calentamiento de un metal hasta alcanzar la temperatura de austenitización, continuo de un enfriamiento lento. Este proceso mejora la tenacidad,

pero disminuye la dureza y resistencia del metal, el cual proporciona un fácil mecanizado de las piezas.

- d) Normalizado. - El objetivo de este proceso es dejar el metal en estado normal eliminando tensiones internas y con una distribución uniforme del carbono.

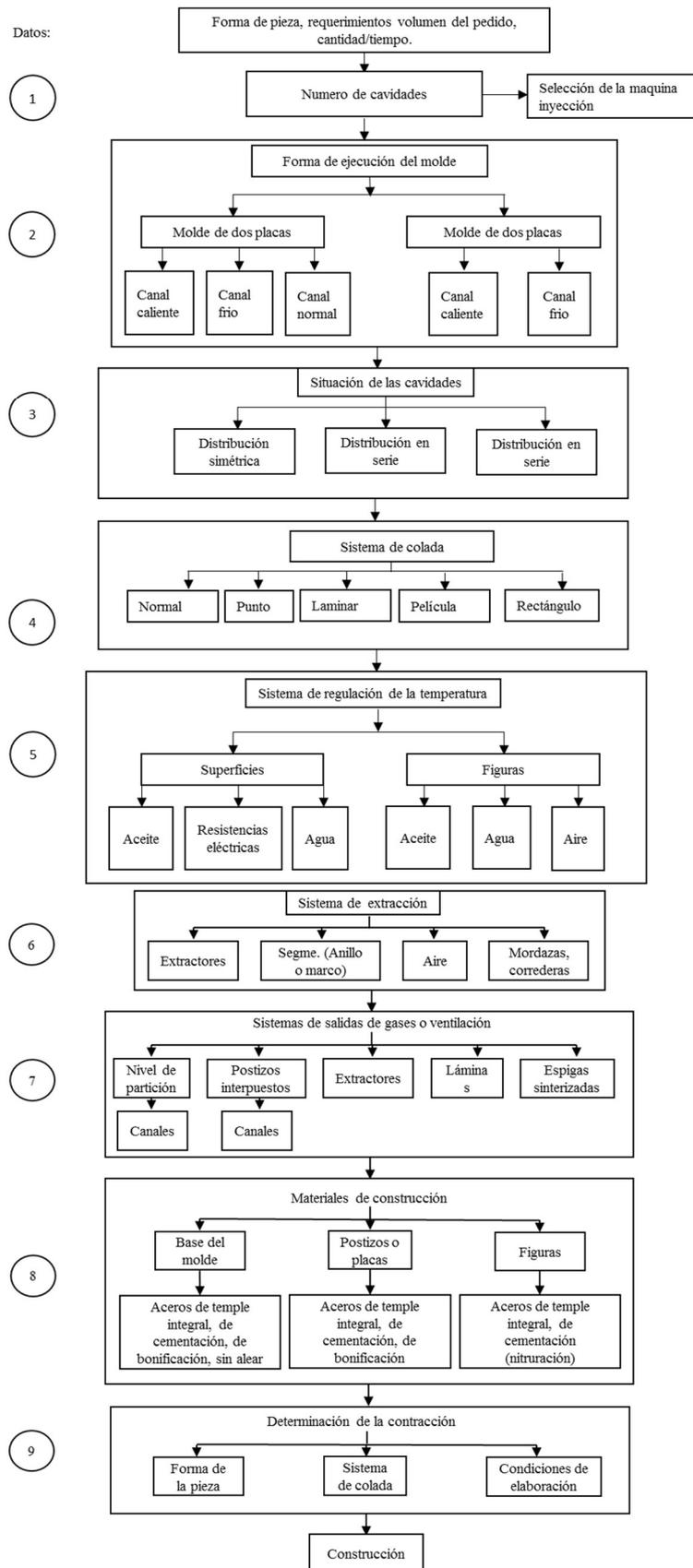
2.3 Consideraciones teóricas para el diseño de moldes

El proceso de diseño para moldes de inyección depende del tipo de geometría, configuración del elemento a moldear y economía del molde. Para el diseño del molde se deben considerar diferentes factores para la construcción metódica y planificada de moldes de inyección según la norma DIN E 16 750, como se muestra a continuación:

2.3.1 Factores que inciden en el diseño. - Para diseñar un molde siempre estará implicado el diseño definitivo del producto y su geometría, la ubicación de las líneas de partición, el llenado, los canales de alimentación e inyección, sistemas de acoplamientos con otros elementos, etc. Se debe considerar cada detalle y forma de la pieza con el objetivo de obtener un molde con los mejores términos de calidad, funcionalidad, facilidad de desmoldeo, construcción, costo y vida útil.

- Análisis de la geometría de la pieza. - Para realizar la fabricación de un molde es necesario estudiar la forma que lo define, su geometría, dimensiones y material del elemento a moldear, ya que contribuyen al momento de definir: el volumen a inyectar, el número de cavidades, máquina a emplear, número de placas en el molde y sistemas tanto de enfriamiento como de expulsión.
- Contracción.- Existen diversos factores que afectan el porcentaje de contracción de un producto moldeado, resaltando temperatura, presión, ciclo de moldeo, espesor de pared y polímero principalmente. Debido a esto el diseño de la pieza debe poseer medidas relativamente mayores correspondientes al porcentaje de contracción que tienen diferentes polímeros para la obtención de las medidas reales del producto final.
- Redondeos. - Los redondeos son de gran importancia ya que suavizan la fluidez del polímero dentro del molde, evitando turbulencias que desencadenarían en defectos superficiales del producto final.

Figura 9. Esquema para la construcción metódica y planificada de moldes de inyección de polímeros



Fuente: (Hans, 1992)

- **Ángulo de salida (desmoldeo).** - El ángulo de salida es un factor importante en el diseño de moldes. El objetivo principal de este ángulo es permitir un mejor y fácil desmoldeo de la pieza inyectada. Este ángulo varía entre 0° a 2° y depende de las dimensiones, forma y contrasalidas que contenga la pieza.
- **Contrasalidas.** - Las contrasalidas son aquellos elementos que no pueden ser desmoldados en la dirección perpendicular a la superficie de partición del molde, ya que debido a su complejidad la pieza quedaría atrapada dentro de la matriz. Para poder moldear estas partes se requieren medidas técnicas constructivas en el molde tales como: carros laterales que quedan en la posición deseada y dando un desmoldeo directo de la pieza.

2.3.2 Elementos que conforman un molde. – Estos elementos son de gran importancia, ya que de estos depende la eficiencia del molde. Estos elementos son:

- Sistema de alimentación
- Sistema de expulsión
- Sistema de centrado del molde (guiado)
- Sistema de refrigeración

2.3.2.1 Sistema de alimentación. – La función principal del sistema de alimentación es entregar la masa del polímero fundido desde el cilindro de plastificación de la máquina inyectora hacia las cavidades del molde. Las partes que conforman el sistema de alimentación son:

- **Cono del bebedero (mazarota).** - Este recibe directamente el polímero plastificado procedente de la boquilla de la máquina de inyección y lo dirige hasta la superficie de partición entre la cavidad y el núcleo. Generalmente el bebedero tiene forma cónica para facilitar y ayudar a la expulsión de la mazarota.
- **Canales de alimentación (distribución).** - Los canales de alimentación se utilizan cuando existen varias cavidades en un molde, estos canales se conectan directamente con el bebedero y direccionan la masa plastificada hacia las diferentes cavidades.

En los moldes simples el sistema de alimentación consta únicamente del canal cónico de entrada, descartando así el uso de canales de distribución debido a su inyección directa. Este se denomina bebedero cónico o mazarota cónica.

2.3.2.2 Sistema de expulsión. –Una vez que la pieza se ha solidificado dentro del molde de inyección se hace necesario la expulsión de la misma. El proceso de expulsión ayuda a la extracción de la pieza inyectada en el molde, ya que debido a la geometría y el material estos pueden quedar atrapados en las cavidades.

Tabla 2. Temperaturas de desmoldeo

Material	Temperatura de cilindro (°C)	Temperatura de desmoldeo (°C)	Temperatura de molde (°C)	Contracción (%)
PE-HD	160-315	60-110	20-80	2-3
PE-LD	150-260	50-90	20-60	1,5-3
PP	200-300	60-100	20-100	1,2-2,5
PS	160-320	60-100	10-80	0,5-0,7
SAN	200-260	60-100	40-80	0,4-0,6
ABS	180-320	60-100	40-85	0,4-0,6
PMMA	180-260	70-110	10-80	0,3-0,6
PVC-R	150-210	60-100	20-70	0,4-0,8
PVC-F	120-190	60-100	20-55	1-1,13

Fuente: (ASCAMM)

El sistema de expulsión consta de las siguientes partes:

- Placa de expulsión
- Placa guía
- Placa de retención
- Pernos de tope
- Perno expulsor de la máquina

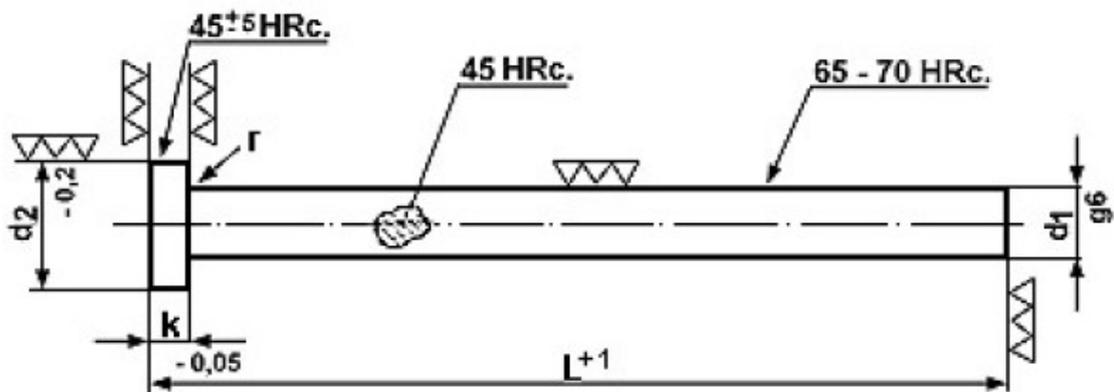
Al diseñar el sistema de expulsión se debe considerar ciertos aspectos principales:

- a) Carrera de apertura y de expulsión. - La carrera de apertura debe tener una distancia considerable, para permitir la expulsión de la pieza conformada evitando interferencias en la cavidad u atrapamiento.
- b) Ubicación de los puntos de expulsión de la pieza. – La distribución de los puntos de expulsión son de gran importancia en el diseño del molde, debido a que una mala ubicación de estos puntos puede ocasionar deformaciones en los expulsores, atrapamientos, roturas y deformaciones en la pieza conformada.

Para una mejor ubicación de los puntos de expulsión se puede considerar lo siguiente:

- Los pines de expulsión deben ubicarse en las secciones de mayor rigidez y área transversal.
 - Los pines de expulsión deben colocarse en las áreas con mayor dificultad de expulsión, estas pueden ser las esquinas o cerca de ellas, bordes, nervios y puntos bajos de la pieza a conformar.
- c) Tipo de expulsores. - Los pines de expulsión son los más utilizados al instante de expulsar las piezas conformadas. Existen diferentes tipos de expulsores que se utilizan dependiendo de las necesidades de la pieza, tales como dimensiones y geometría.

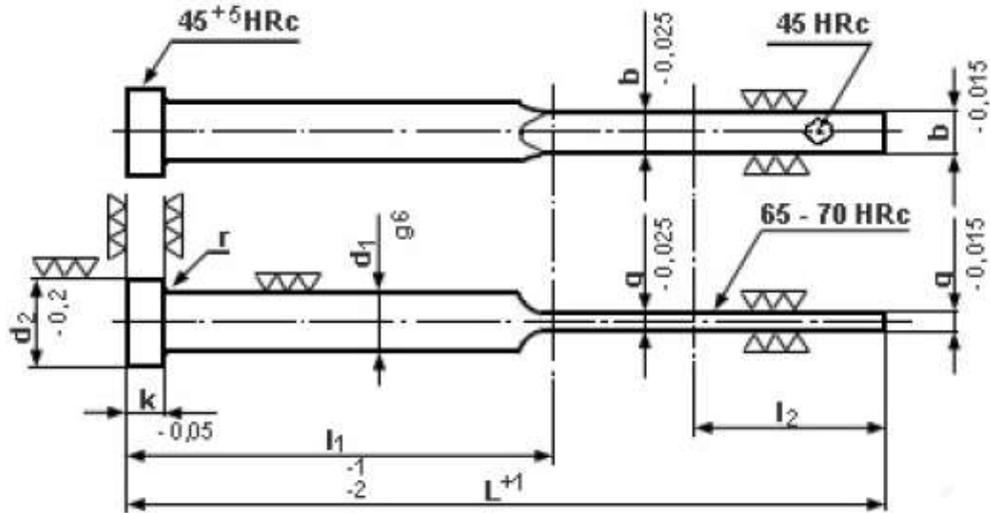
Figura 10. Expulsores cilíndricos



Fuente: (Daquilema, 2010)

- d) Cilindros. - Según (Daquilema, 2010)son los más utilizados de los diversos modelos normalizados. Existen en el mercado una amplia gama, con diámetros desde 1 a 30mm. Longitudes estandarizadas entre 100 y 1000mm, siendo posible en ciertas ocasiones diámetros y longitudes superiores.
- e) Laminares. - Según (Daquilema, 2010)estos expulsores son ideales sobre nervios, paredes verticales, etc. Ya que los espesores de los plásticos son pequeños, estos pueden clavarse en la materia. Este riesgo es compensado pasando a utilizar expulsores rectangulares en los cuales la dimensión menor del rectángulo no supera el espesor del material en la zona elegida, pudiendo cubrir un área de contacto mayor.

Figura 11. Expulsor laminar



Fuente: (Daquilema, 2010)

2.3.2.3 Sistema de centrado (guiado). – Este sistema permite el centrado del molde al instante del cierre de las placas evitando choques entre las placas y cavidades que lo conforman.

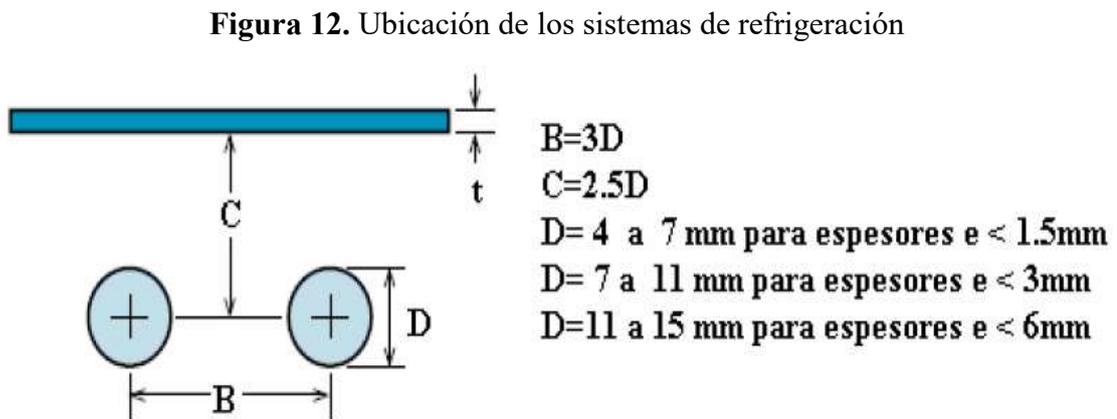
El sistema de guiado está constituido por:

- Guías de la matriz. - Las guías están conformadas principalmente por las columnas y bujes guías.
 - a) Las columnas se encargan de centralizar y guiar el cierre y apertura del molde tanto en la parte fija y móvil.
 - b) Los bujes facilitan el desplazamiento de las columnas, debido que deben poseer ajustes y tolerancias para que el eje pueda deslizarse en el agujero. Los ajustes más utilizados para moldes son: H6-g6, H7-k6, entre otros.
- Guías de expulsión. - Estas ayudan al desplazamiento del conjunto expulsor permitiendo un avance y retorno equilibrado, así evitando la ruptura de los expulsores.

2.3.2.4 Sistemas de refrigeración. –Es de gran importancia para la calidad de la pieza y rentabilidad de la misma. Muchas veces se exige que se tenga en cuenta el sistema a utilizar, al iniciar la construcción del molde. El agente refrigerante que fluye por los canales de enfriamiento del molde tiene la misión de disipar calor hasta que se obtenga la pieza, el fluido refrigerante tiene que disipar también la diferencia de calor entre la superficie exterior del molde y el ambiente. Este sistema consiste en una bomba externa

conectada a los canales de circulación que bombea generalmente agua, la cual al pasar a través del molde remueve el calor del material a alta temperatura (Mengues, y otros, 1983).

En el diseño del sistema de refrigeración se debe considerar los espesores de las piezas a inyectar, la ubicación y dimensionamiento de los canales de refrigeración ya que estos determinan la eficiencia del sistema. El dimensionamiento de los canales de refrigeración está dado por las siguientes consideraciones:



Fuente: (Arteta, 2007)

2.3.3 Tecnologías para diseñar moldes.

2.3.3.1 Diseño asistido por computador (CAD). -El término CAD hace referencia a una herramienta software; que, mediante el uso de ordenador permite crear, modificar, analizar y optimizar planos y modelos en dos y tres dimensiones, y manipular de una manera fácil elementos geométricos sencillos y complejos. Se trata de herramientas que van más allá del concepto dibujo o representación gráfica. De hecho, hoy en día se encuentra totalmente integrado con aplicaciones CAE y CAM.

Se mencionan los softwares más utilizados en este campo:

- a) Nx Siemens. - Es un software de alta gama con soluciones avanzadas para el diseño conceptual, modelado 3D, documentación y simulación multidisciplinar. Adicional ofrece soluciones para la parte de fabricación, mecanizado y control de calidad.
- b) Rhinoceros. - Es una herramienta de software comúnmente usado para el diseño industrial, diseño naval, prototipos rápidos entre otros. La variedad de formatos con

la que trabaja, permite usar como una herramienta de conversión rompiendo barreras de compatibilidad entre diferentes programas durante las etapas del diseño.

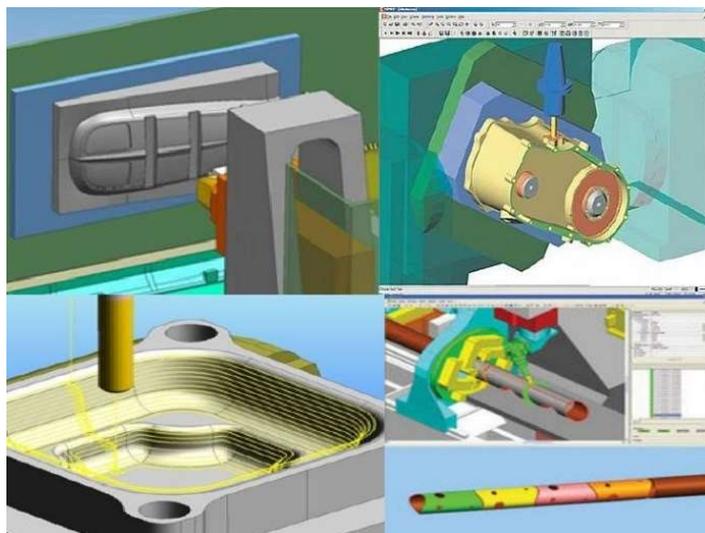
- c) AutoCAD. - Es un software de diseño bidimensional y tridimensional utilizado en la construcción, fabricación, preparación de planos y otros planes de ingeniería. AutoCAD permite la conversión y facilidad de comunicación entre software y máquina de control numérico. Adicional a estos programas existen diversidad de programas que se pueden utilizar en el CAD obteniendo similares prestaciones e inclusive brindan la posibilidad de tener integrado los sistemas CAD/CAE/CAM.

Ventajas del CAD

- Ahorro de tiempo y mejoras de la productividad ante la posibilidad de corregir errores en la etapa de diseño.
- Mayor calidad y precisión en el diseño y producto, aumentando la competitividad.
- Reducción de los costos de producción y alto porcentaje de la inversión.
- Alta precisión debido al uso de softwares de alta gama.

2.3.3.2 Manufactura asistida por computador (CAM). – Esto se refiere a software computacional de control numérico para planear, desarrollar, gestionar y controlar las operaciones y estrategias de manufactura para la optimización de recursos. Se utiliza para desarrollar programas de mecanizado de diferentes elementos a manufacturar en una máquina de control computarizado. Las industrias dependen de las altas capacidades de los sistemas CAM para producir productos de alta calidad

Figura 13. Manufactura asistida por computador



Fuente: (Access CADD, 2009)

Ventajas del CAM.

- Los sistemas CAM optimizan la utilización de mano de obra y costes de fabricación.
- Maximizan el trabajo de las máquinas, debido a su alta precisión, rapidez y gran versatilidad.
- Eliminan errores del operario al realizar operaciones máquina herramienta.
- Ayudan a la creación, verificación, y optimización de productividades óptimas de maquinado.

2.3.3.3 Ingeniería asistida por computadora (CAE). - El uso de esta herramienta permite simular el comportamiento de los elementos con la finalidad de mejorar los diseños de productos. El diseño propuesto es: simulado, validado y sometido a diferentes condiciones, en las que se evaluara sus características, propiedades, viabilidad y rentabilidad.

Ventajas del CAE. - El sistema CAE realiza diferentes actividades con el objetivo de detectar y eliminar posibles fallas que aplazarían la salida del producto al mercado. Algunos beneficios adicionales son:

- Reducción de costos debido que los productos son analizados y probados previo a su construcción el cual garantiza el producto final.
- Predicción del comportamiento del elemento sin necesidad de prototipos, pérdida de material, mano de obra y tiempo máquina.
- Permite la corrección de errores retornando a la etapa de diseño sin la utilización de recursos.
- Productos de alta calidad y precisión.

2.4 Proceso de fabricación de moldes

El proceso de fabricación tiene como objetivo principal convertir la materia prima en un producto final, obteniendo altos parámetros de calidad. Existen diferentes tecnologías de fabricación, dependiendo de los materiales a transformar y necesidades del producto.

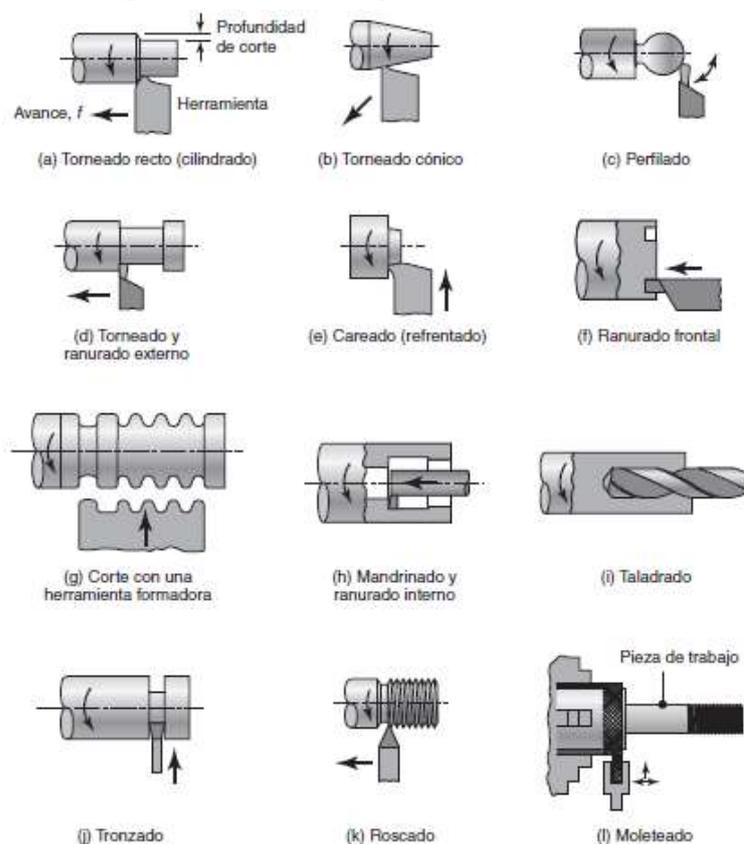
Según (Mengues & Mohren, 1990) en el proceso de fabricación de moldes existen los siguientes procedimientos:

- Mecanizado por arranque de viruta.
- Elaboración sin arranque de material (estampado, troquelado, embutido).
- Elaboración por erosión eléctrica y electroerosión.

2.4.1 Mecanizado por arranque de viruta. - El mecanizado mediante el arranque de viruta es un proceso en el cual una herramienta cortante provoca desprendimiento del material con la ayuda de una máquina herramienta, logrando las dimensiones adecuadas y la superficie deseada de determinado elemento. En la fabricación de moldes la mayoría de las partes se obtienen mediante las operaciones de torneado, fresado, taladrado y para acabados superficiales se emplea procesos de rectificado.

2.4.1.1 Torneado. - Groover (2007), Menciona que el torneado es un proceso de maquinado en el cual una herramienta de una sola punta remueve material de la superficie de una pieza de trabajo cilíndrica en rotación; la herramienta avanza linealmente y en una dirección paralela al eje de rotación.

Figura 14. Diversas operaciones en un torno

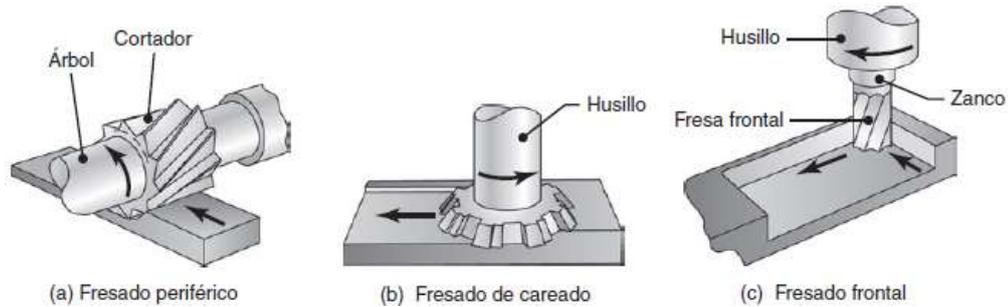


Fuente: (Kalpakjian Schmid, 2008)

2.4.1.2 Fresado. - El fresado es una operación de mecanizado con una herramienta rotativa de varios filos de metal duro, el cual corta el material. El eje de rotación de la

herramienta cortante es perpendicular a la dirección de avance. Debido a las diferentes operaciones que se pueden realizar en la fresadora y a sus altas velocidades de producción, el fresado es una de las operaciones de mecanizado más ampliamente utilizadas en la industria.

Figura 15. Principales tipos de fresados

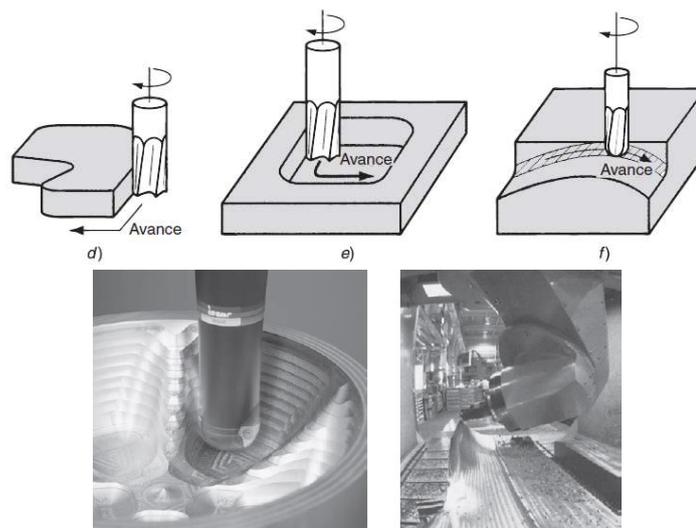


Fuente: (Serope, y otros, 2008)

Adicionalmente en la figura 17. Se muestran operaciones adicionales que se usan en el proceso de fabricación de moldes para inyección de plásticos.

- a) Fresado de contorno o perfil.
- b) Fresado de cavidad.
- c) Fresado de contorno superficial

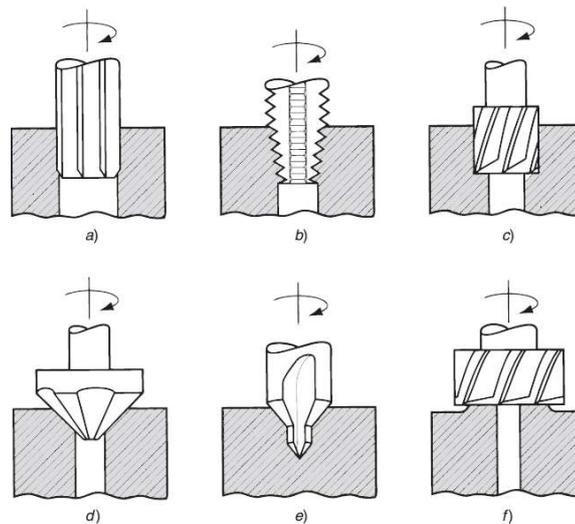
Figura 16. Operaciones adicionales de fresado



Fuente: (Groover, 2007)

2.4.1.3 Taladrado. - Es una operación de maquinado en la que se crean agujeros en una pieza de trabajo o elemento. Este proceso se lo realiza siempre con una herramienta cilíndrica llamada broca con dos filos de corte, el diámetro del taladrado está determinado por el diámetro de la broca. Los agujeros son elaborados para sujeción, tales como remaches o pernos o para la creación de diferentes características especiales tales como paso para la inyección de líquidos o conexión de cables, entre otros.

Figura 17. Tipos de operaciones de maquinado con el taladrado



Fuente: (Groover, 2007)

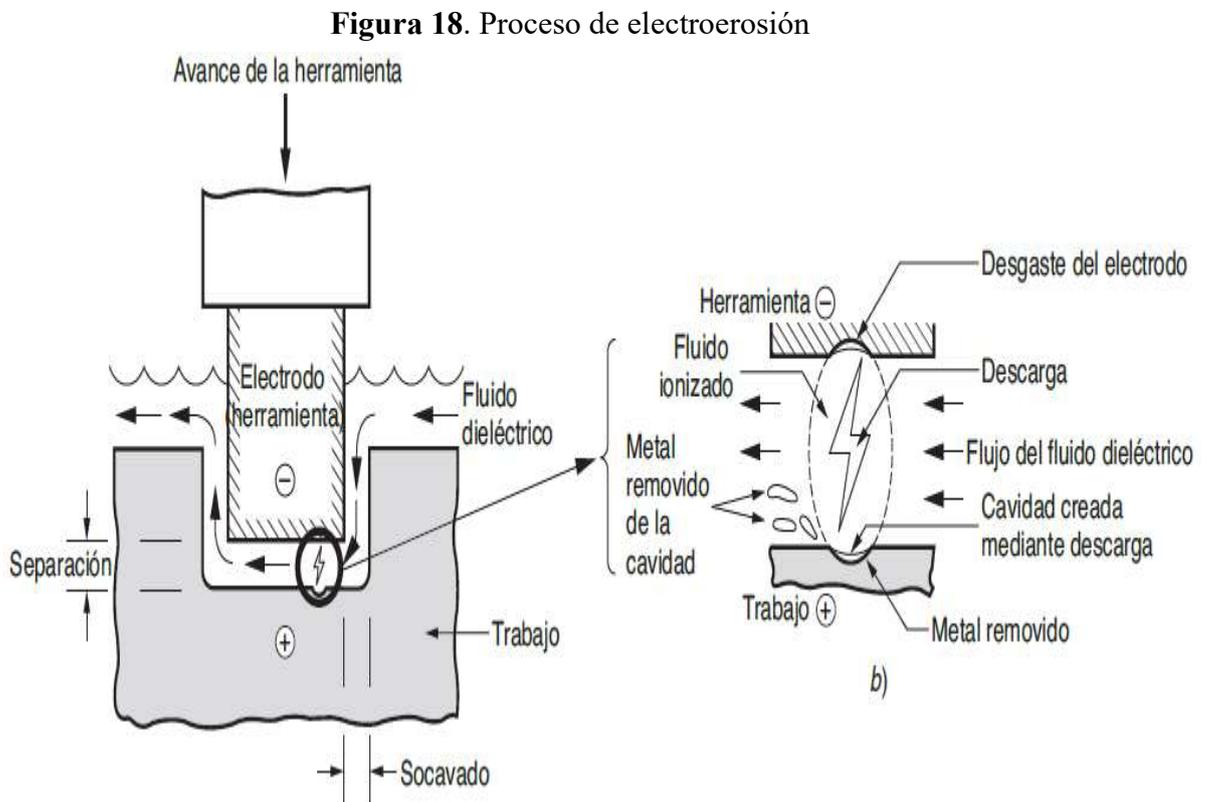
a) Escariado, b) Roscado interior, c) Abocardado, d) Avellanado, e) Centrado f) Refrentado.

2.4.2 Elaboración sin arranque de viruta. –Es un proceso en el cual no hay desprendimiento de material por mecanizado. Estas operaciones ayudan en la obtención de geometrías y superficies de gran complejidad, imposibles de obtener por los métodos de mecanizado convencional. El método más utilizado es la electroerosión.

2.4.2.1 Electroerosión. -La electroerosión es un proceso de fabricación, también conocido como mecanizado por descarga eléctrica o EDM. El proceso de electroerosión consiste en crear un arco eléctrico entre un elemento de trabajo y un electrodo que producen altas temperaturas en forma de cortocircuito, capaz de fundir el material cerca al lugar, con esto se logra obtener diferentes geometrías complejas en materiales de alta dureza o que no pueden ser cortados por métodos tradicionales o en situaciones con altas exigencias de precisión del electrodo. Ambos, elemento de trabajo y electrodo, deben ser

conductores, para que pueda establecerse el arco eléctrico que provoque el desprendimiento del material. Existen dos métodos: electroerosión por penetración y por hilo.

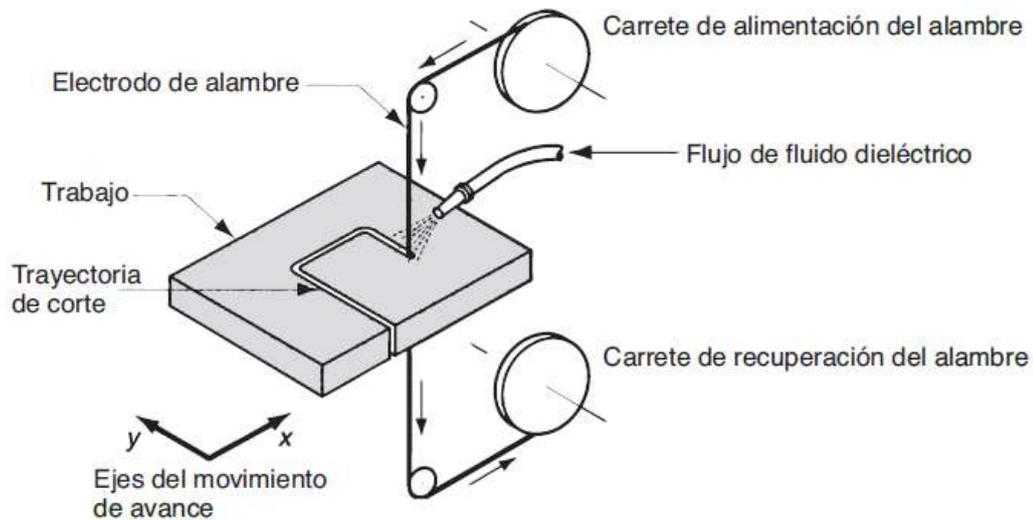
- a) Electroerosión por penetración. - Es una operación de mecanizado mediante “penetración” de un electrodo en una pieza de trabajo. Los moldes para elementos plásticos son frecuentemente elaborados mediante este proceso. El electrodo debe ser elaborado de igual geometría que el elemento que se producirá en el molde. En la zona de trabajo, cada descarga que se genera elimina pequeños trozos de metal de la pieza de trabajo. Los electrodos generalmente están hechos de cobre o de grafito, ya que poseen alta conductividad eléctrica.



Fuente: (Kalpakjian. Schmid, 2008)

- a) Electroerosión por corte de hilo. - Es un proceso de mecanizado en el cual se utiliza un hilo de metal para cortar y obtener contornos programados de la pieza. Mediante este proceso se pueden obtener diferentes perfiles complejos desde la superficie hasta el final de la pieza. Según (Kalpakjian Schmid, 2008) los hilos son de aleaciones de cobre, latón, tungsteno o molibdeno con diámetros desde 0.02 hasta 0.33mm.

Figura 19. Proceso de corte por hilo



Fuente: (Groover, 2007)

2.4.3 Centros de mecanizado CNC. - Un centro de mecanizado es una máquina altamente automatizada, la cual es idónea al instante de efectuar diferentes operaciones de mecanizado tales como: fresado, taladrado, machuelado, etc., con la menor intervención humana posible y la optimización de los costes de fabricación. Las siguientes características hacen de estos centros de mecanizado una máquina altamente productiva

- a) Cambio automático de herramientas. - El cambio automático de herramientas está gobernado por un programa de control numérico (CNC), el objetivo principal de este es acelerar el ciclo de producción de una manera significativa y automatizada, mediante el intercambio de herramientas entre los husillos de la máquina y un tambor de almacenamiento de las mismas. Las capacidades de estos tambores fluctúan por lo general de 16 a 80 herramientas de corte dependiendo del fabricante de la máquina.
- b) Paletas transportadoras. - Determinados centros de mecanizados están equipados con diferentes cantidades de transportadoras de paletas, que son capaces de trasladar automáticamente la pieza de trabajo al husillo de la máquina. Esto reduce el tiempo no productivo en la máquina.
- c) Posicionado automático de las piezas de trabajo. - Existen diferentes tipos de centros de mecanizado, los cuales poseen generalmente tres ejes, para centros de mecanizados más modernos se han desarrollado ejes adicionales a los principales los cuales ayudan a un posicionamiento más exacto en el espacio de trabajo. Los ejes adicionales se

refieren a una bancada rotatoria que permite girar el elemento de trabajo a ángulos deseados según lo requiera el diseño y fabricación de la pieza.

2.4.3.1 Control numérico por computadora (CNC). - El control numérico (CN) es una forma de automatización programable que controla los movimientos y operaciones de una máquina mediante el uso de datos codificados almacenados en un medio adecuado. Estos datos representan posiciones relativas entre el cabezal de sujeción (herramienta) y la pieza de trabajo. Un sistema de control numérico tiene tres componentes básicos

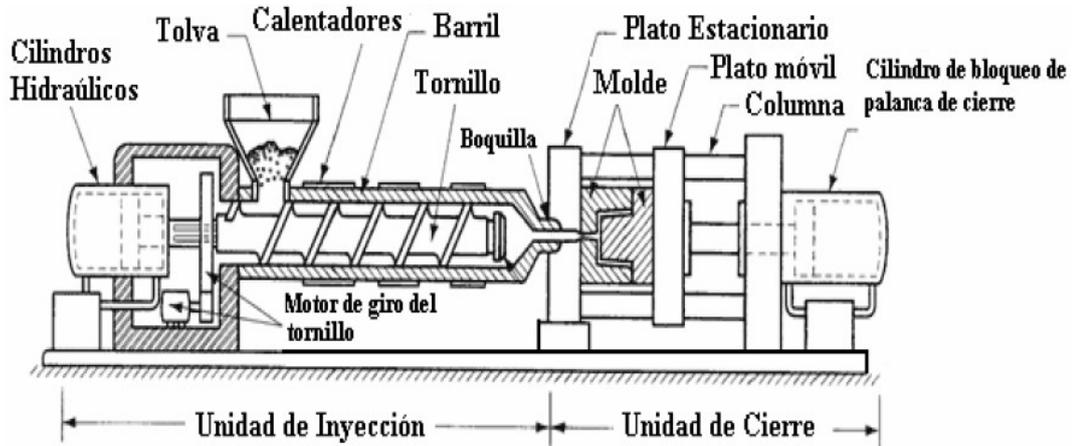
- a) Programa de piezas: Es un conjunto de comandos alfanuméricos que reconoce el equipo, en el cual se otorga información específica acerca de su posición y movimiento del cabezal mediante coordenadas x-y-z. El programa además incluye otros comandos tales como, la velocidad de rotación del eje, la dirección del eje, avances, cambios de herramientas entre otros comandos de operación.
- b) Unidad de control de máquina (panel de control): Es una microcomputadora que almacena el programa y lo ejecuta a través de una señal emitida por el operario, convirtiendo los comandos del programa en acciones mediante el equipo de procesamiento. En el panel de control, se pueden editar comandos del programa, en el caso que se requieran cambios en las condiciones de corte para un mejor desempeño de la máquina en las operaciones realizadas.
- c) Equipo de procesamiento: Es la parte donde todos los datos de codificación que reconocen la máquina de control numérico se transforman en acciones físicas para cumplir una tarea designada. El control numérico por computadora posee diversas ventajas, como son, bajo costo del herramental, manejo de tolerancias estrechas, bajo costo de habilitación, reducción de tiempo de maquinado, espera y mejora la exactitud y calidad de la pieza, las cuales permiten optimización de recursos tanto humanos como económicos.

2.5 Proceso de inyección para polímeros

El moldeo por inyección es un proceso muy utilizado dentro de la producción de polímeros, debido a la gran cantidad y variedad de productos elaborados en materiales termoplásticos por moldeo de inyección. Este es un proceso en el cual se inyecta material plástico hasta alcanzar cierta temperatura y presión óptima en el molde para conseguir la

forma deseada de la pieza, cuando el molde se enfría y solidifica, se abre y se extrae la pieza.

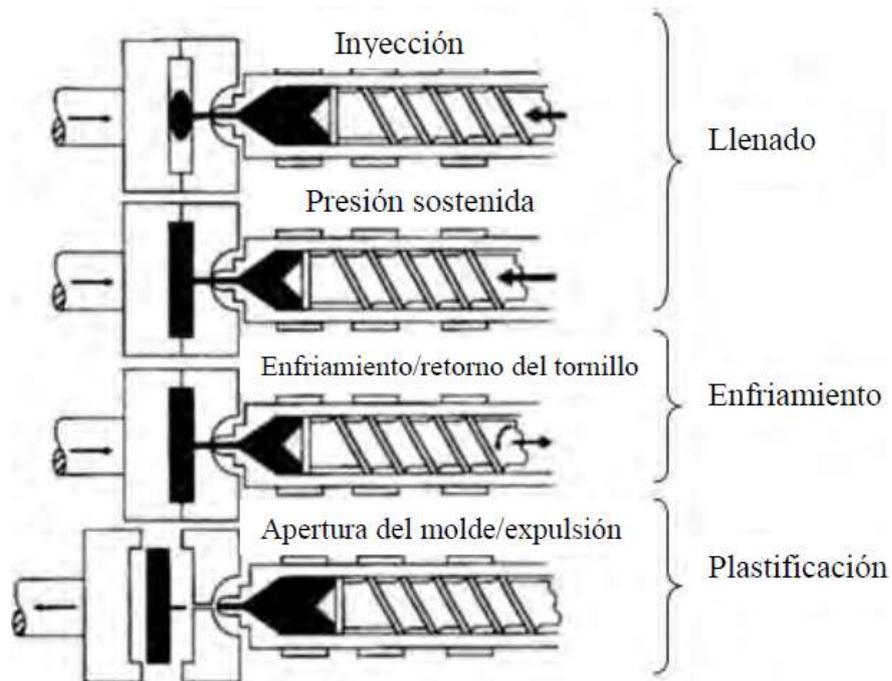
Figura 20. Esquema de máquina de inyección



Fuente: (Areizaga Javier, 2002)

El ciclo de inyección consta de tres etapas fundamentales en el proceso de inyección las cuales son: plastificación, inyección (llenado de las cavidades) y enfriamiento. Cada una de estas etapas comprende el funcionamiento de diferentes sistemas de la máquina de inyección, la cual está constituida por los siguientes componentes:

Figura 21. Proceso de inyección



Fuente: (DuPont, 2006)

- a) Unidad de inyección. - El primer paso consiste en plastificar el polímero seleccionado para la inyección, el cual es sometido a diferentes temperaturas a través de resistencias eléctricas o calentadores ubicadas a lo largo del barril. El polímero empezará su plastificación en diferentes etapas al mismo tiempo donde el tornillo girará constantemente hasta homogenizar todo el material fundido dentro del barril, una vez que el material es totalmente fundido el tornillo seguirá girando hasta que la masa polimérica llega a la zona de dosificación donde prosigue la inyección. Mientras el molde está cerrado el material ingresa por la boquilla y posteriormente el polímero fundido llena las cavidades del molde.
- b) Unidad de cierre. - La unidad de cierre es la encargada de la apertura y cerrado del molde, esta unidad debe mantener un cerrado hermético del molde mientras se inyecta el polímero y se genera la presión sostenida. Una vez terminado el llenado de las cavidades se debe mantener un tiempo de enfriamiento para evitar defectos derivados de la contracción del polímero al enfriarse, posteriormente esta unidad procede a la apertura del molde.
- c) Unidad de potencia. - Es la encargada de suministrar la potencia necesaria, para mantener el correcto funcionamiento de la unidad de inyección, cierre y de otros sistemas adicionales. Los principales sistemas que se distinguen en esta unidad son:
- Sistema de motor eléctrico. – Estos sistemas son generalmente usados para el giro del tornillo sin fin como para la apertura y cierre del molde, cada uno de estos es accionado por un motor eléctrico diferente e independiente.
 - Sistemas hidráulicos. – Estos son más comúnmente utilizados y su principio se basa en la transformación de potencia hidráulica del fluido a potencia mecánica.
- d) Unidad de control. - Esta unidad es la encargada de controlar los parámetros de operación del proceso como son: temperaturas, presiones y tiempos.

2.5.1 Variables en el proceso de inyección. – En el moldeo de inyección existen diversos parámetros que afectan las características de la pieza final, los cuales se deben controlar para alcanzar una alta calidad.

- Temperatura: - En el moldeo es un parámetro de gran importancia e influye en la calidad del producto, debido que se debe controlar la temperatura de inyección y del molde.

- a) Temperatura de inyección. - Durante la inyección esta temperatura debe mantenerse constante y uniforme con el objetivo de no cambiar sus propiedades termodinámicas, ya que afectarían notablemente el comportamiento del polímero.
- b) Temperatura del molde. –Es la temperatura que debe limitar un adecuado tiempo de enfriamiento, para alcanzar la solidificación del producto y controlar la contracción y calidad del mismo.
- Presión. - El exceso de presión o la falta de ella pueden producir distintos defectos, tales como: compactación excesiva, burbujas, entre otras. Las presiones más relevantes dentro del proceso de inyección son:
 - a) Presión de inyección. – Es aquella presión que desarrolla el tornillo a causa de su movimiento axial durante la etapa de inyección.
 - b) Presión sostenida. - Esta se refiere a la presión creada dentro del molde después de terminar el tiempo de llenado, de este modo se completa el llenado y se logra la compactación y empaquetado del polímero.
- Tiempo. - El tiempo que demora un ciclo de inyección, es importante ya que determina el costo y rentabilidad de la producción. El tiempo total del ciclo se compone de:
 - a) Tiempo de inyección. – También se le conoce como tiempo de llenado, debido que es el tiempo requerido por el polímero para que este pase a través del tornillo sin fin hasta llenar las cavidades del molde.
 - b) Tiempo de presión sostenida. – Este tiempo permite mantener la presión sostenida a fin de compensar la contracción del polímero causada por la reducción de la densidad durante la solidificación.
 - c) Tiempo de enfriamiento. –Este tiempo transcurre durante la aplicación final de la presión sostenida y la apertura del molde, en este tiempo se debe asegurar la solidificación de la pieza.

2.5.2 Defectos en piezas moldeadas por inyección. –Durante el proceso de inyección de piezas pueden darse lugar a distintos tipos de problemas, los cuales producen diversos defectos visuales en el producto produciéndose así su rechazo de manera inmediata, debido que no cumplen con los requerimientos especificados y la calidad deseada del producto.

- Rechupes. - Este tipo de defecto se produce debido a la incorrecta refrigeración de la pieza o falta de llenado de las cavidades durante la contracción del material el cual produce hundimientos en la superficie del material.
- Líneas de soldadura. - Ocurre cuando el polímero está demasiado frío, el cual provoca que el material se torne en forma de agujeros o cuando existe variación de espesores en la pieza. Para evitar estos inconvenientes se puede aumentar la temperatura de la masa fundida, la temperatura del molde, la velocidad del pistón entre otras.
- Rebabas. - Las rebabas son defectos que se producen cuando el material fundido fluye por la superficie de separación del molde o por cualquier otro lugar que no sean las cavidades. Esto se produce debido a temperaturas de fusión o presiones de inyección excesivas.
- Ráfagas. - Su aspecto es similar al de las estrías, esto ocurre cuando existen áreas estrechas o filos vivos.
- Falta de llenado. - Una de las consecuencias más visuales son piezas incompletas, esto puede ocurrir por distintas causas tales como: insuficiente carga de material, temperaturas bajas de fusión, bajas presiones de inyección, ramales estrechos, entre otros.
- Marcas y deformaciones por expulsión. - Las marcas por expulsión son hendiduras, depresiones o elevaciones notorias en la superficie donde actúan los expulsores. Las causas son: desmoldeo prematuro, fuerza excesiva de los expulsores o grandes diferencias de temperatura entre la superficie del molde y los expulsores.
- Aire atrapado. - El atrapamiento de aire se da cuando convergen los flujos del polímero alrededor de la pieza atrapando burbujas de aire. Debido a esto se produce un llenado y una compactación incompleta. El aire atrapado en las cavidades puede comprimirse, calentarse y provocar marcas de quemadura.
- Marcas de quemadura. - Son pequeñas manchas color negro que se visualiza en la superficie de la pieza cuando existen atrapamientos de aires.

2.5.3 *Parámetros de selección de una máquina inyectora.* –La máquina inyectora es una parte fundamental del proceso de inyección, debido que este determina el tipo y dimensionamiento del molde que pueden ser utilizados en la misma. Los parámetros más importantes a considerar son:

- a) Fuerza de cierre. - Este parámetro es muy importante al momento de determinar el tamaño de la máquina inyectora. Se debe considerar el número de cavidades, la presión necesaria requerida para inyectar, material a inyectar y el tipo de colada, ya que si no son las adecuadas podrían abrir el molde generando defectos en el producto.
- b) Capacidad de inyección. - Es el volumen máximo de inyección que la máquina es capaz de suministrar en una sola inyectada.
- c) Presión de inyección. - Es la presión máxima a la cual se inyecta el polímero en el molde, ya que de este depende la velocidad de llenado y el alcance del polímero hasta las pequeñas secciones de la pieza.
- d) Capacidad de plastificación. - Es la capacidad máxima que es capaz de suministrar el tornillo cuando plastifica el polímero.
- e) Velocidad de inyección. - Es la velocidad máxima con la que el material puede ser inyectado directamente hacia el molde. La velocidad de inyección es importante ya que de esta depende que el molde se llene totalmente antes que el polímero se solidifique.

2.5.4 Polímeros. - Según (Rosas, 2010) los polímeros son macromoléculas formadas por miles de moléculas más pequeñas llamadas monómeros a través de una reacción conocida como polimerización, durante esta reacción los monómeros forman grandes cadenas de formas y propiedades muy diversas. Existen una infinidad de tipos de polímeros cada uno con características diferentes.

2.5.4.1 Clasificación de los polímeros

- a) Según su origen;
 - Polímeros naturales. - Emanan del reino animal o vegetal y pueden ser proteínas, caucho natural, etc.
 - Polímeros semi sintéticos. - Se consiguen por la transformación de los polímeros naturales y se obtienen como el caucho sintético.
 - Polímeros sintéticos. - Se obtiene bajo procesos industriales realizados por el hombre obteniendo productos finales tales como resinas, poliéster, etc.
- b) Según su comportamiento térmico;
 - Elastómeros. -Estos materiales se caracterizan por tener una alta elongación y elasticidad, ya que estos pueden deformarse fácilmente sin perder ni modificar su

estructura. Este tipo de polímero no se lo puede fundir, debido que sometido a elevadas temperaturas pasa a un estado gaseoso.

- Termoestables. –Son un tipo de polímero en el cual sus cadenas poliméricas se encuentran entrecruzadas en forma de red. Esta configuración es la responsable que el material tenga altas propiedades de resistencia mecánica y baja elasticidad. Al aumentar la temperatura de este tipo de materiales no se consigue su fluidez, por el contrario, estos se descomponen haciendo imposible que tomen la forma deseada.
- Termoplásticos. - Su estructura polimérica es alargada y presenta pocos entrecruzamientos entre las cadenas poliméricas que lo conforman. Al elevar su temperatura los termoplásticos son capaces de alcanzar una fase líquida, lo que permite su fácil moldeo por presión y después del enfriamiento recuperan sus propiedades manteniendo la forma deseada, un ejemplo es el polipropileno.

2.5.4.2 Polipropileno. –El polipropileno es un termoplástico semicristalino, que se obtiene a partir de la polimerización del propileno en presencia de catalizadores específicos. Este es uno de los productos termoplásticos más versátiles, debido que no poseen efectos contaminantes y no provocan impacto ambiental. Este material es una de los más usados en la industria del plástico debido que posee características tales como: Según (Gutierrez Daniel, 2006) estas características son:

- Bajo costo (específicamente por unidad de volumen)
- Producto inerte
- Reciclable
- Bajo peso específico
- Fácil de procesar
- Alta dureza y resistente a la abrasión
- Buena resistencia al calor
- Buenas propiedades de resistencia y estética
- Adaptables a muchos métodos de transformación

Debido que posee las características mencionadas y tiene una relación costo beneficio es utilizado en las industrias para la fabricación de tuberías, autopartes, juguetes, fibras, tanques, botellas, entre otras, ya que este permite ser moldeado a la forma deseada.

Tabla 3. Propiedades del polipropileno según norma DIN 16774-UNI 7055

	Método de prueba	Unidades	Valores típicos
Peso específico (densidad)	ASTM D792	g/cm ³	0,9
Densidad aparente	ASTM D954	g/cm ³	-
Absorción del agua (24h-23)	ASTM D570	%	0,01
Temperatura de ablandamiento (VICAT-5 kg)	ASTM D1525	°C	95-115
Dureza Rockwell	ASTM D785	escala M	65-75
Dureza Shore	ASTM D1706	escala	-
Esfuerzo a la tensión (rotura)	ASTM D638	N/mm ²	30-40
Elongación (rotura)	ASTM D638		150-600
Módulo elástico (flexión)	ASTM D790	N/mm ²	1200-1550
Esfuerzo al impacto (con ranura)	ISO 180	mJ/mm ²	6-12
Resistencia dieléctrica	ASTM D149	kV/mm	28-32

Fuente: (Bodini, 1992)

2.5.4.3 Inflamabilidad en los polímeros. - La introducción en la vida diaria de nuevos materiales como son los polímeros, demanda un esfuerzo adicional por parte de técnicos y usuarios para conocer el comportamiento de los mismos frente al fuego. Estos materiales poliméricos constituyen un extenso grupo de materiales formado por una gran variedad de familias, por lo que carece de sentido hablar en forma general de plástico en forma genérica. Los polímeros son ampliamente aceptados en la industria en general debido a; reducido peso, adecuada resistencia mecánica, fácil procesabilidad y conformabilidad, excelente aislación térmica y eléctrica, entre otras ya que redundan en una reducción de costos debido al menor consumo de combustibles, mayor productividad en el ensamblado y especial adaptación a las nuevas técnicas de diseño.

El comportamiento frente al fuego de materiales plásticos, al igual que todas las demás propiedades, es extremadamente diverso, debido que dependen de la forma del producto y del estado de agregación de la materia. Para que se inicie un fuego son necesarios que existan siempre tres elementos; un combustible, oxígeno y una fuente de calor.

Figura 22. Triangulo de fuego



Fuente: (Yáñez, 2013)

A este proceso de combustión de los polímeros se le divide en cinco etapas:

- Calentamiento. - La temperatura de los plásticos aumentan hasta alcanzar su temperatura de descomposición dependiendo del tipo de polímero, estos están entre 180 a 500 °C.
- Descomposición. - Los plásticos se descomponen en productos volátiles de bajo peso molecular.
- Ignición. - Este se produce con oxígeno y cuando las temperaturas de algunas zonas superan el punto de inflamabilidad de los gases producidos durante la descomposición, es ahí cuando se produce la formación de la llama. Por ejemplo.
 - a. Poliestireno 350 °C
 - b. Polipropileno 350 °C
 - c. PVC 450 °C
 - d. Madera 260 °C
- Combustión. - Es el tiempo que transcurre donde va aumentando la llama.
- Propagación. - Es la medida que aumenta la temperatura de los materiales, superando la temperatura de auto-ignición.

Los polímeros se clasifican en diferentes tipos como son:

- Combustibles. - Este término no significa que son fácilmente inflamable. Un material combustible puede ser muy difícil de inflamar. Es así que ciertos plásticos resisten satisfactoriamente la primera fase de un incendio y no contribuyen a la propagación del fuego. Estos plásticos se denominan auto-extinguibles, es decir, se apagan cuando

se retira la fuente de calor. En nuestro país se comercializan polímeros auto-extinguibles tales como el polietileno, polipropileno y el poliestireno.

- Incombustibles. - Los materiales que tienen una alta resistencia a la acción del fuego como la piedra, el ladrillo, el Polifluor-carbono, y difícilmente combustible PVC rígido.

Para poder determinar el grado de inflamabilidad del polipropileno se hace necesario realizar diferentes tipos de ensayos, según requerimientos de la norma ISO 3795 que es aplicado a materiales de autopartes, que tiene por objeto determinar la velocidad de combustión de los materiales utilizados internamente en los vehículos, cuya aplicación va orientada a cumplir lo que establece como requerimientos en las normas y reglamentos técnicos nacionales como son: RTE 043-2010 (Bus interprovincial e intraprovincial) y NTE (Bus urbano) para la certificación de productos de autopartes.

2.5.4.4 Reciclaje del plástico. –Los plásticos son materiales sintéticos obtenidos mediante reacciones de polimerización a partir del petróleo, que poseen distintas propiedades que permiten moldearlos y adaptarlos a diferentes formas y aplicaciones.

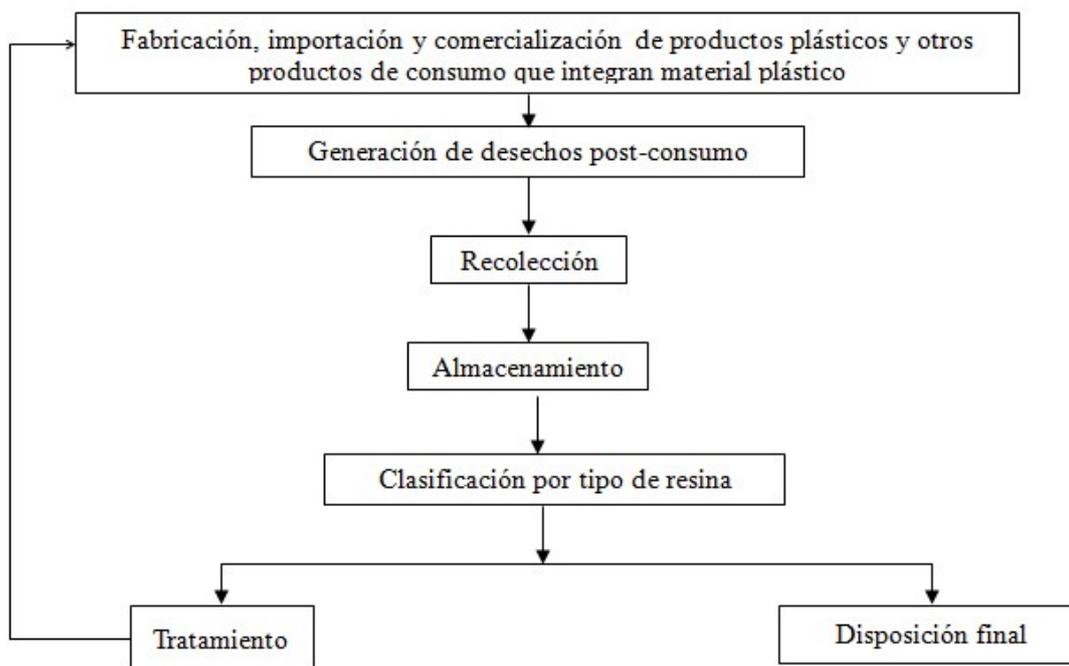
El reciclaje es una estrategia de gestión de los residuos sólidos, debido que se les puede realizar de diferentes maneras. Mediante el reciclaje se protege el medio ambiente debido que:

- Se preservan los recursos naturales
- Se evitan focos de contaminación
- Las industrias ahorran energía y reducen costos de producción minimizando sus residuos.

Para reciclar cualquier material, tiene que poder ser procesado en una materia prima viable y limpia. Esta materia debe convertirse luego en un producto. Por lo tanto, el reciclaje requiere cuatro elementos:

- Recolección
- Selección de materia prima
- Recuperación de la materia prima
- Comercialización de producto reciclado.

Figura 23. Flujo de desechos plásticos post-consumo



Fuente: NTE INEN 2634

- **Codificación.** – Existen más de cien tipos de plásticos, los más comunes son seis, y se los identifica con un número dentro de un triángulo, según SPI (sistema de identificación de plásticos), para facilitar su clasificación para el reciclado, ya que por sus diferentes características los plásticos generalmente exigen un reciclado por separado.

Tabla 4. Clasificación de los plásticos según la SPI

Número	Abreviatura	Nombre
1	PET	Polietilentereftalato
2	PE-AD	Polietileno de alta densidad
3	PVC, V	Vinilo, Policloruro de vinilo
4	PE-BD	Polietileno de baja densidad
5	PP	Polipropileno
6	PS	Poliestireno
7	Otros	Incluye las demás resinas y los materiales multicapa. Poliuretano (PU). Acrilnitrilo-butadienestireno (ABS). Policarbonato (PC). Biopolímeros.

Fuente: NTE INEN 2634

Tabla 5. Usos más comunes de las resinas plásticas

Código de la resina	Descripción	Aplicaciones del producto
	<p>Polietilentereftalato.- Es claro, duro y tiene buenas propiedades de barreras y humedad. Esta resina se utiliza comúnmente en botellas de bebidas y muchos contenedores de productos de consumo elaborados por moldeo, e inyección.</p>	<p>Botellas plásticas para bebidas ligeras, agua, jugo, entre otras. Frascos de comida para aceite de cocina, mermeladas y encurtidos. Además de envases, el mayor uso del PET son los textiles, alfombras y moldura de ingeniería.</p>
	<p>Polietileno de alta densidad. - Es utilizado para elaborar diversos tipos de envases no pigmentados, debido que el HDPE tiene buena resistencia química, se usa para el envasado de muchos productos químicos domésticos e industriales tales como detergente y lejía.</p>	<p>Envases para lácteos, agua, jugo, cosméticos, champú, detergente para platos y lavandería y limpiadores domésticos. Bolsas para alimentos. Funda de cajas de cereales. Contenedores reutilizables. Además de los envases, el mayor uso del HDPE son las aplicaciones en moldeo por inyección, tubería y conducto extruidos.</p>
	<p>Cloruro de polivinilo. - Además de sus propiedades físicas estables, el PVC tiene buena resistencia química, resistencia a la intemperie, características de flujo y propiedades eléctricas estables. Los productos de este material pueden dividirse ampliamente en materiales rígidos y flexibles.</p>	<p>Aplicaciones de embalaje rígido incluyen ampollas y recipientes con bisagras para comida para llevar, tuberías, revestimientos, marcos de ventanas, persianas, pasamanos. El uso de envases flexibles incluye bolsas para ropa de cama y ropa médica, productos médicos tales como bolsas de sangre, tubos médicos. En válvulas, accesorios, grifería, suelas de calzado, tarjeta de crédito y en juguetes</p>
	<p>Polietileno de baja densidad. - Se utiliza principalmente en aplicaciones de película debido a su dureza, flexibilidad y relativa transparencia, y es de uso común en aplicaciones donde es necesario el sellado mediante el calor.</p>	<p>Bolsas y envolturas transparentes o pigmentadas. Termoencogibles y película de estiramiento. Recubrimientos para cartones de leche y vasos de bebida calientes y frías. Juguetes. Recipiente de cosméticos y algunos productos de aseo personal</p>

 <p>5 PP</p>	<p>Polipropileno. - Tiene buena resistencia química, es fuerte y tiene elevado punto de fusión por lo que le da la aptitud para ser llenado con líquidos en caliente. Esta resina se encuentra en embalajes flexibles y rígidos, y grandes piezas moldeadas para automóviles y productos de consumo.</p>	<p>Contenedores para yogurt, margarina, comidas para llevar y alimentos gourmet. Además de los envases, los principales usos están en fibras, artefactos y productos de consumo, incluidas aplicaciones de larga duración como tuberías, accesorios, válvulas partes y accesorios automotrices</p>
 <p>6 PS</p>	<p>Poliestireno. - Es un plástico versátil que puede ser rígido o espumoso. El poliestireno de uso general es claro, duro y quebradizo. Tiene un punto de fusión relativamente bajo. Las aplicaciones típicas incluyen el embalaje de protección, envases de alimentos, botellas</p>	<p>Artículos para servicios de alimentos, tales como tazas, platos, cuencos, cubiertos, envases rígidos para alimentos como envases para yogurt. Cajas de disco compacto y botellas de aspirina. Además, los principales usos se encuentran en bandejas agrícolas, cajas electrónicas, cartucho de cintas y productos médicos y juguetes.</p>
 <p>7 OTROS</p>	<p>Otros. - El uso de este código indica que un paquete/ envase/ embalaje está elaborado con una resina, distinta a las seis anteriormente enlistadas o está compuesta por más de una resina y se utiliza en una combinación de múltiples capas.</p>	<p>Botellas de agua reutilizables de tres y cinco galones, algunas botellas de jugos cítricos y salsa de tomate. Piezas de grifería y vehículos. El PU se emplea principalmente como aislante. El ABS es un plástico duro empleado en perfiles, tuberías, defensas de automóviles y juguetes.</p>

Fuente: NTE INEN 2634

CAPÍTULO III

3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE DE INYECCIÓN

3.1 Diseño del molde

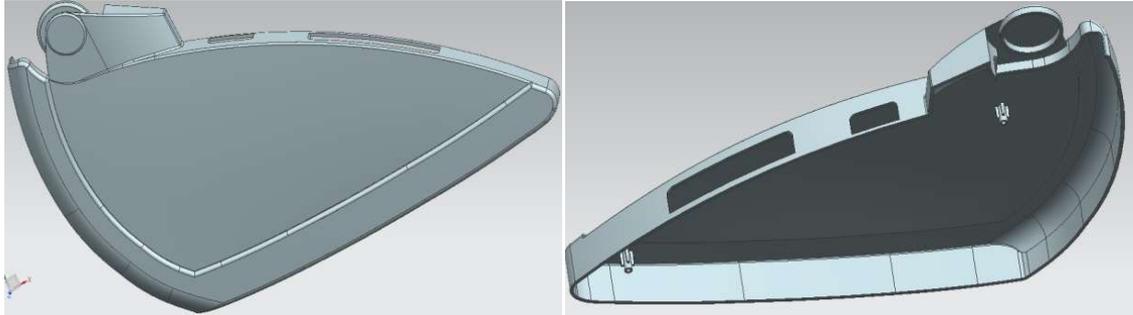
3.1.1 *Selección de la pieza a inyectar.* – En el mercado nacional existen diferentes tipos de diseños y geometrías para este tipo de elemento, podemos encontrar este elemento con diversas características como son: rigidez, resistencia y funcionalidad durante su vida útil. Es importante el análisis de los diferentes tipos de elementos, ya que podemos determinar un diseño sencillo, ergonómico, funcional, y fundamentalmente su fabricación sea de fácil mecanizado y su rentabilidad.

3.1.1.1 *Parámetros de la pieza a inyectar.* – Es necesario considerar todos los aspectos fundamentales al instante de realizar el análisis.

- Tipo de carga. – La carga a la que está expuesta es del tipo distribuida, la magnitud de la carga puntual es de 0.34[N], lo que equivale a 3.25 [kg]. Esto se determinó mediante el peso promedio de un brazo humano que ejerce sobre la codera que está en contacto directo con el lateral que posee el asiento de autobús. Este dato se tomó según requerimientos de la norma INEN 1668.
- Análisis de rigidez. – Se debe analizar el desplazamiento que ocasiona la carga sobre el lateral, no existe datos acerca del desplazamiento máximo que puede sufrir este elemento.
- a) Opción 1. – Se propone un diseño novedoso similar a los existentes en el mercado, se considera un perfil de sección cóncava, logrando un contorno cómodo, ergonómico y resistente, también posee contras que le hacen un modelo demasiado costoso de construir ya que debería utilizarse carros para un óptimo desmoldeo.

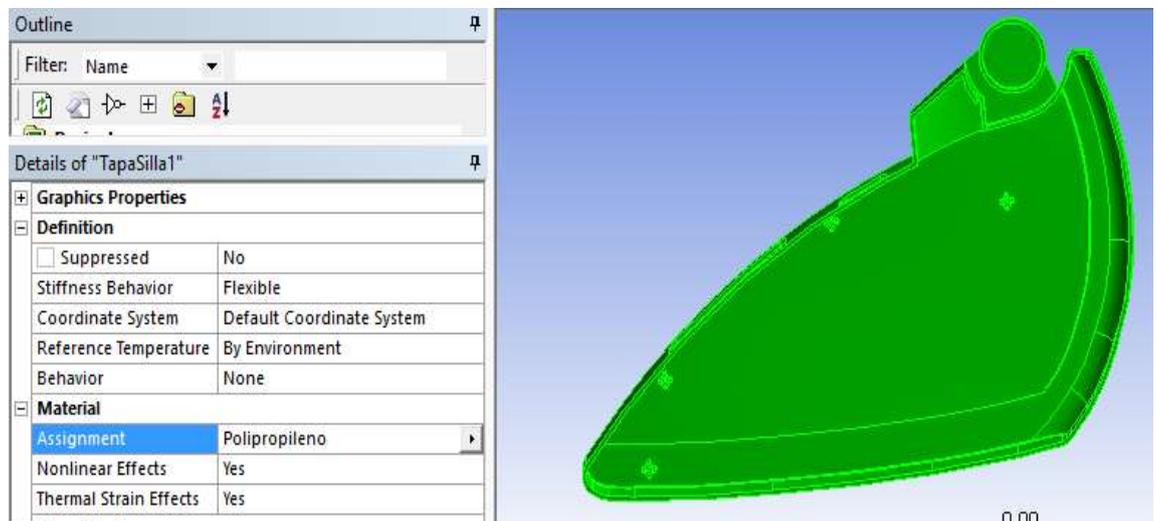
Pre-proceso:

Figura 24. Modelo geométrico lateral 1



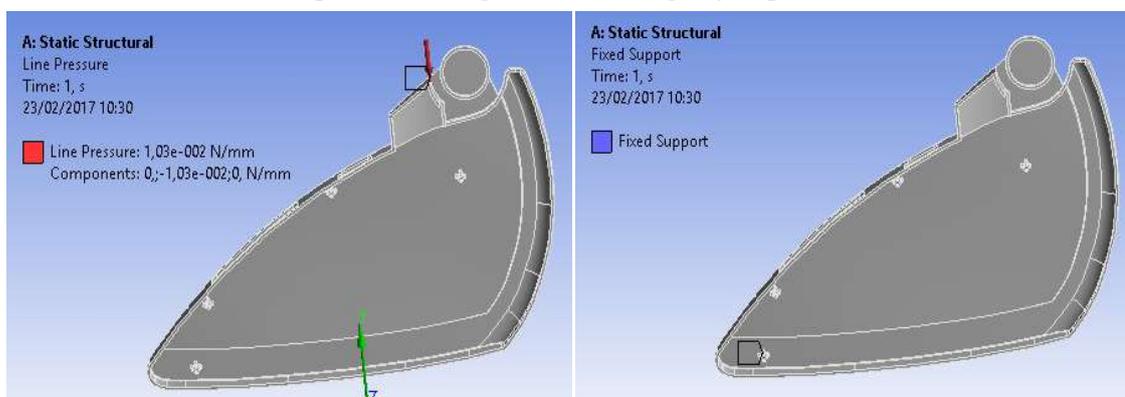
Fuente: Autores

Figura 25. Asignación de material



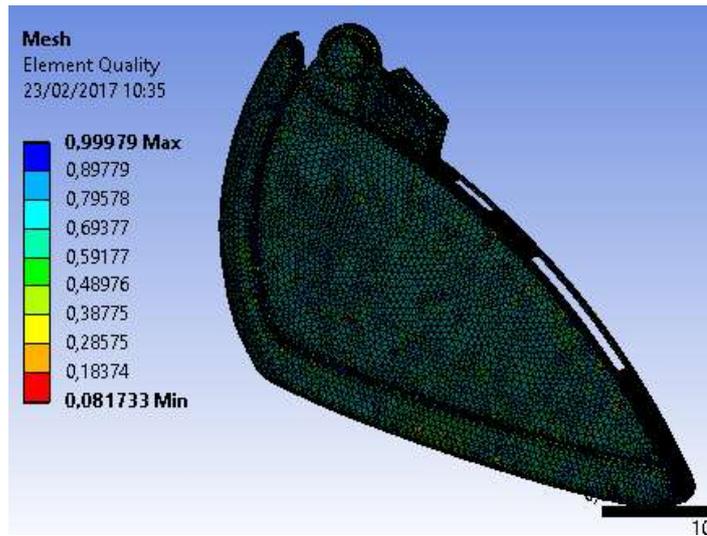
Fuente: Autores

Figura 26. Asignación de cargas y soportes



Fuente: Autores

Figura 27. Calidad de malla

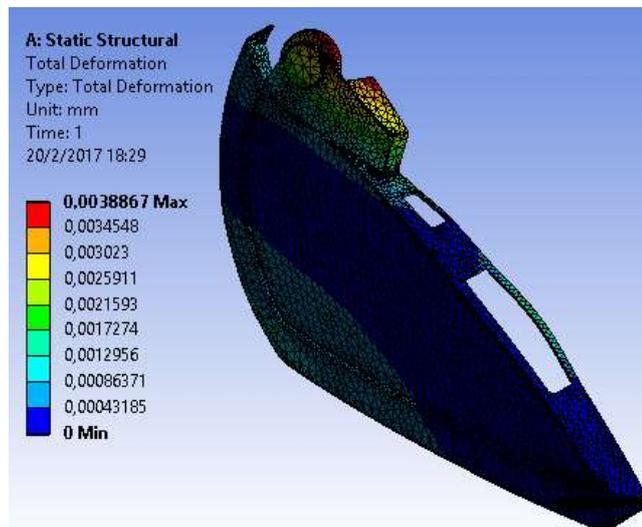


La calidad del mallado es óptima para el análisis realizado

Fuente: Autores

Post-procesado:

Figura 28. Resultados de análisis



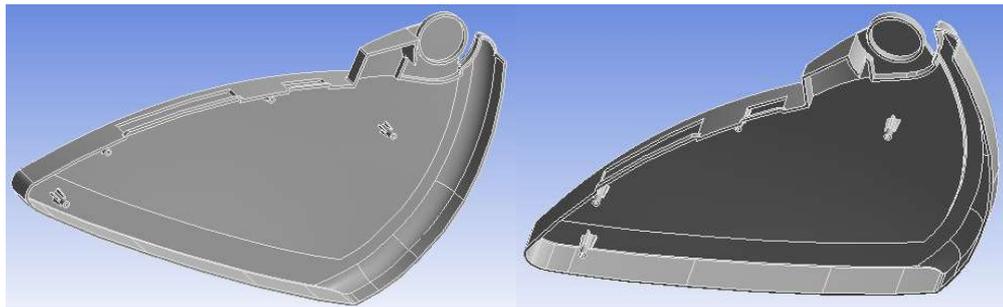
Fuente: Autores

(Desplazamiento máximo = 0,00388 mm)

- a) Opción 2.- Se considera similar al diseño anterior, otorgándole redondeos y evitando aristas vivas, pero el mayor problema sigue siendo su costosa construcción.

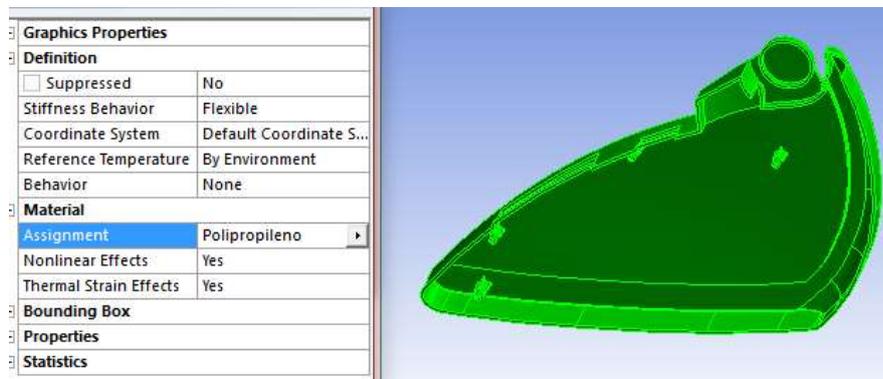
Pre-proceso:

Figura 29. Modelo geométrico lateral 2



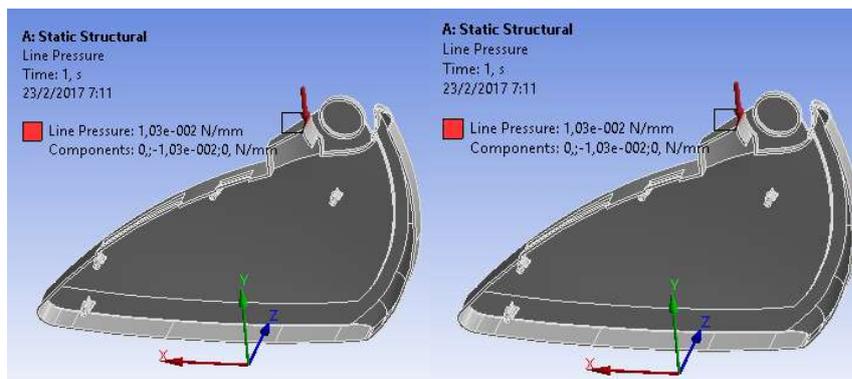
Fuente: Autores

Figura 30. Asignación de material



Fuente: Autores

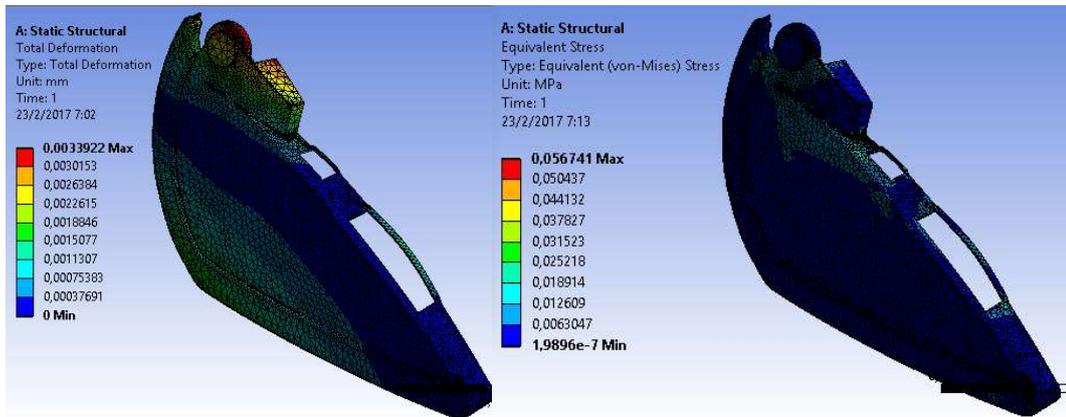
Figura 31. Asignación de cargas y soportes



Fuente: Autores

Post-procesado:

Figura 32. Resultados de análisis



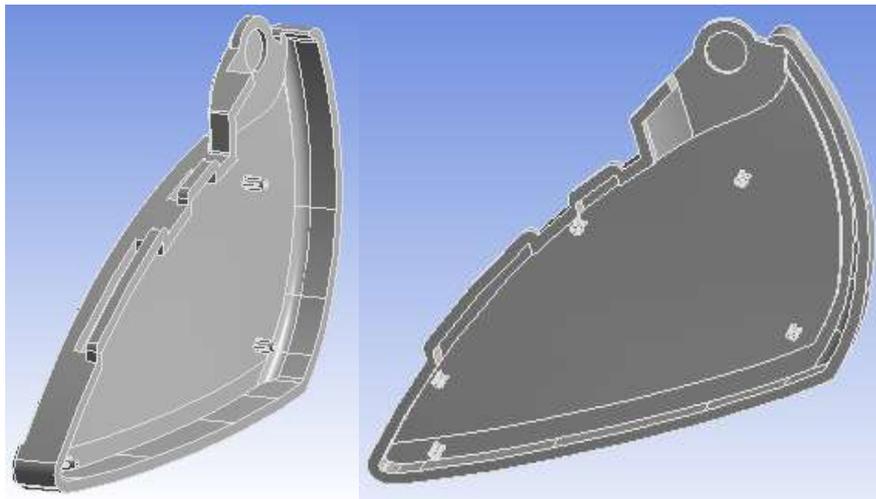
Fuente: Autores

(Desplazamiento máximo = 0,00339 mm)

a) Opción 3. – Para disminuir el desplazamiento se optó por mejorar la distribución de puntos fijos del producto, se diseñó el producto evitando alto costo de maquinado y fácil desmoldeo.

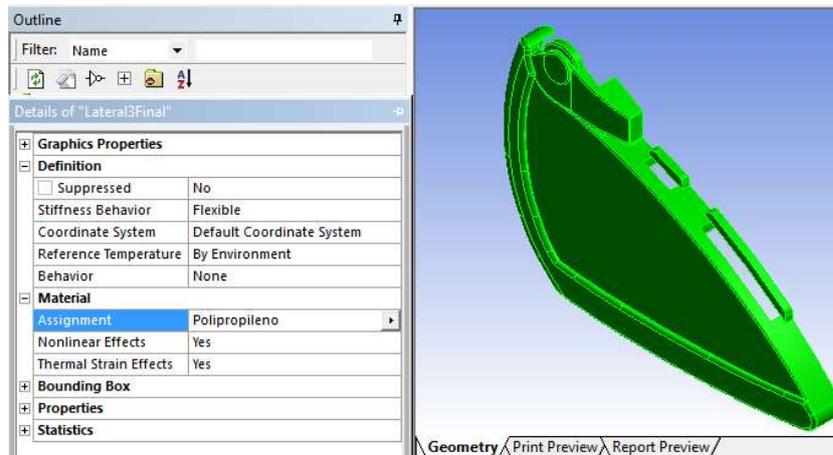
Preproceso:

Figura 33. Modelo geométrico lateral 3



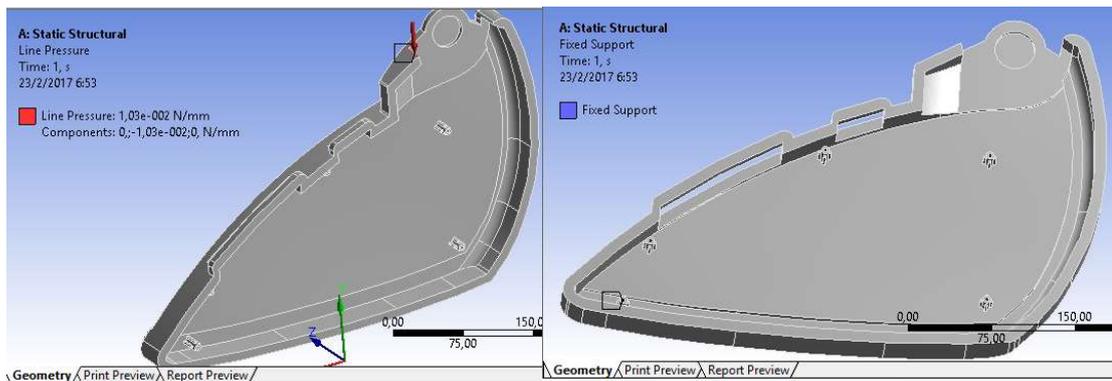
Fuente: Autores

Figura 34. Asignación de material



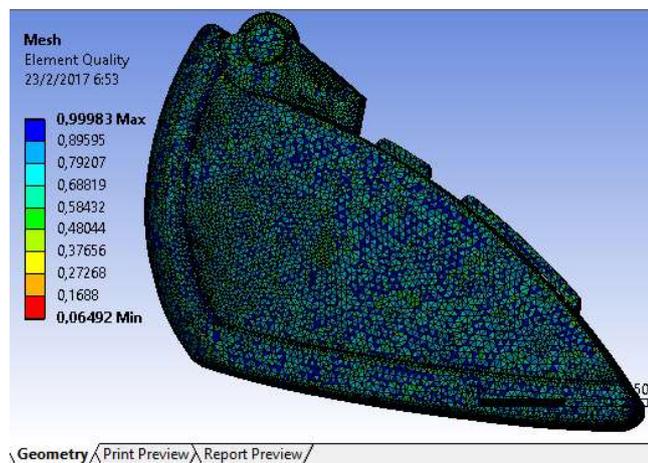
Fuente: Autores

Figura 35. Asignación de cargas y soportes



Fuente: Autores

Figura 36. Calidad de malla

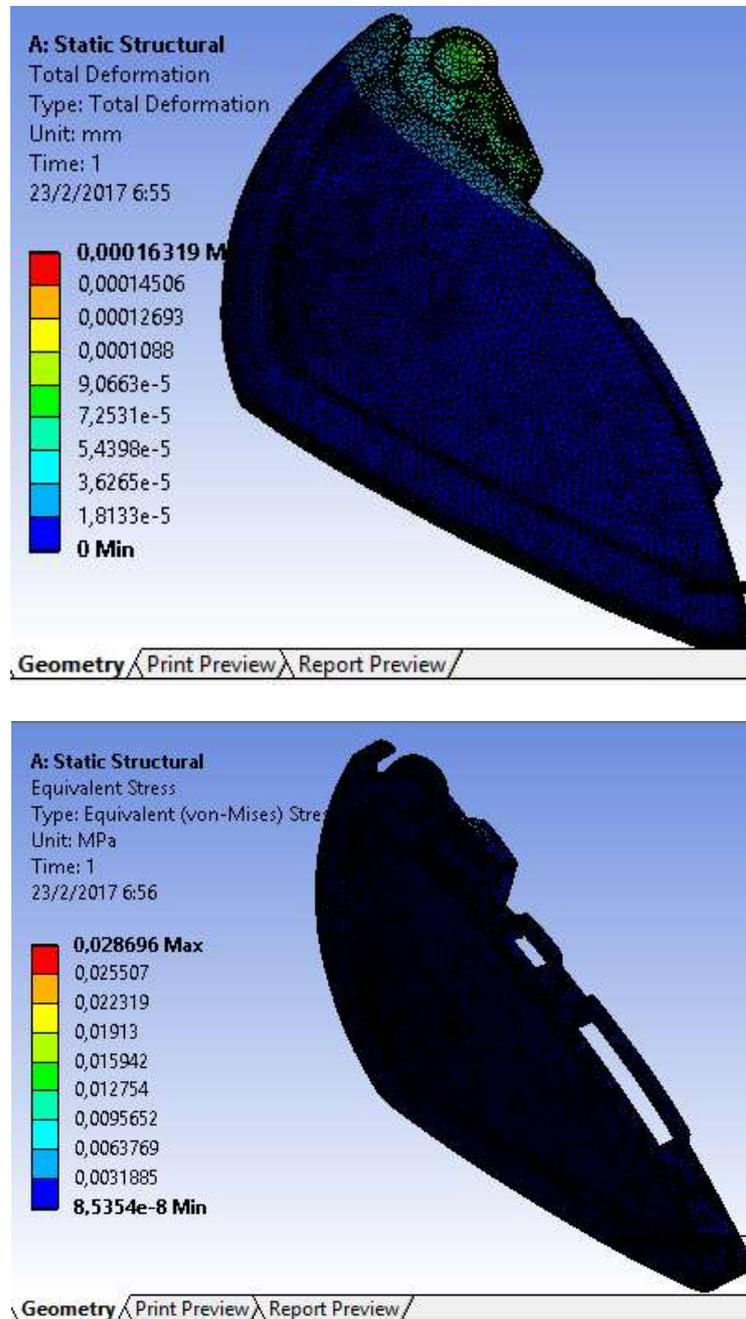


Fuente: Autores

La calidad de la malla es óptima para el análisis efectuado

Post-procesado:

Figura 37. Resultados de análisis



Fuente: Autores

(Desplazamiento máximo = 0,00016 mm)

3.1.1.2 *Selección del modelo de la pieza.* – Con el objetivo de determinar el modelo más conveniente se emplea el criterio de ponderación. A continuación, se listan los criterios de valoración más determinantes sobre este elemento:

- Facilidad de desmoldeo
- Rigidez del producto
- Costo de mecanizado
- Apariencia del producto

Tabla 6. Método de evaluación de soluciones

Criterio	Facilidad de desmoldeo	Rigidez del producto	Costo de mecanizado	Apariencia del producto	$\Sigma + 1$	Ponderación	
Facilidad de desmoldeo		0	0	0	1	0,10	
Rigidez del producto	1		1	0,5	3,5	0,35	
Costo de mecanizado	1	0		0	2	0,20	
Apariencia del producto	1	0,5	1		3,5	0,35	
					ΣT	10	1,00

Fuente: Autores

Rigidez de cubierto > Apariencia > Costo > Facilidad de mecanizado

Tabla 7. Criterio Facilidad de desmoldeo

Facilidad de desmoldeo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación	
Solución 1		0	0	1	0,17	
Solución 2	1		0	2	0,33	
Solución 3	1	1		3	0,50	
				ΣT	6	1,00

Fuente: Autores

Solucion 3 > Solucion 2 > Solucion 1

Tabla 8. Criterio Rigidez del producto

Rigidez del producto	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum + 1$	Ponderación
Solución 1		0,5	0,5	2	0,33
Solución 2	0,5		0,5	2	0,33
Solución 3	0,5	0,5		2	0,33
			$\sum T$	6	1,00

Fuente: Autores

Solucion 3 = Solucion 2 = Solucion 1

Tabla 9. Criterio Costo de mecanizado

Costo de mecanizado	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum + 1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0,50
Solución 2	0		1	2	0,33
Solución 3	0	0		1	0,17
			$\sum T$	6	1,00

Fuente: Autores

Solucion 1 > Solucion 2 > Solucion 3

Tabla 10. Criterio Apariencia del producto

Apariencia del producto	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum + 1$	Ponderación
Solución 1		0	0	1	0,17
Solución 2	1		0	2	0,33
Solución 3	1	1		3	0,50
			$\sum T$	6	1,00

Fuente: Autores

Solucion 3 > Solucion 2 > Solucion

Tabla 11. Solución final

Conclusiones	Facilidad de desmoldeo	Rigidez del producto	Costo de mecanizado	Apariencia del producto	Σ	Prioridad
Solución 1	0,01667	0,11667	0,10000	0,0583	0,2917	3
Solución 2	0,03333	0,11667	0,06667	0,1167	0,3333	2
Solución 3	0,05000	0,11667	0,03333	0,1750	0,3750	1

Fuente: Autores

Solucion 3 > Solucion 2 > Solucion 1

Para realizar el diseño del molde se escaló el producto a una escala normalizada 1:5 según la norma INEN 003, para realizar el diseño y construcción del molde.

3.1.2 Condiciones para el diseño del molde

a) Contracción del polímero. - La contracción es un fenómeno volumétrico el cual se genera principalmente por el cambio de densidad del material, particular para cada polímero. Este interfiere directamente en la diferencia dimensional entre la cavidad de la matriz y las medidas de la pieza moldeada.

La contracción depende de las siguientes variables:

- Material (polímero). - Depende del tipo de polímero que se utilice y de las propiedades mecánicas y físicas del material.
- Geometría del producto. – Esto se refiere a las dimensiones deseadas del producto tomando en cuenta las variaciones de espesor de pared y la forma superficial.
- Diseño del molde. – Se debe tomar en cuenta la contracción en el diseño inicial del producto, particularmente para distribuir el sistema de enfriamiento y canales de alimentación dentro del molde.

- Condiciones de moldeo. – Es el control de los parámetros de la máquina de inyección tales como temperaturas de enfriamiento, velocidades de inyección, presiones de inyección y sostenimiento.
- Máquina de inyección a utilizar. – Es parte fundamental del sistema ya que en ella se produce todo el proceso de transformación del polímero, la mayoría de inyectoras son del tipo universal, es decir que en la misma inyectora se puede montar diferentes tipos de moldes siempre y cuando su diseño se rijan a los parámetros y dimensionamiento de la máquina de inyección.

Tabla 12. Contracción de diferentes materiales

Termoplástico	Contracción (%)
Acrilonitrilo butadieno estireno	0,4-0,8
Acetato de celulosa	0,5
Nylon 6,6	1,4-1,6
Poliacetal	0,1-2,3
Polimetilmetacrilato (PMMA)	0,2-0,7
Policarbonato	0,6
Polietileno de baja densidad	4-4,5
Polipropileno	1,3-1,6
Poliestireno	0,4-0,7
PVC rígido	0,6-1,2
PVC plastificado	1-4,5

Fuente: (Mengues G, 1983)

Calculo de factor a escala

$$f_s = \frac{1}{1 - \left(\frac{\%}{100}\right)} \quad (1)$$

Donde:

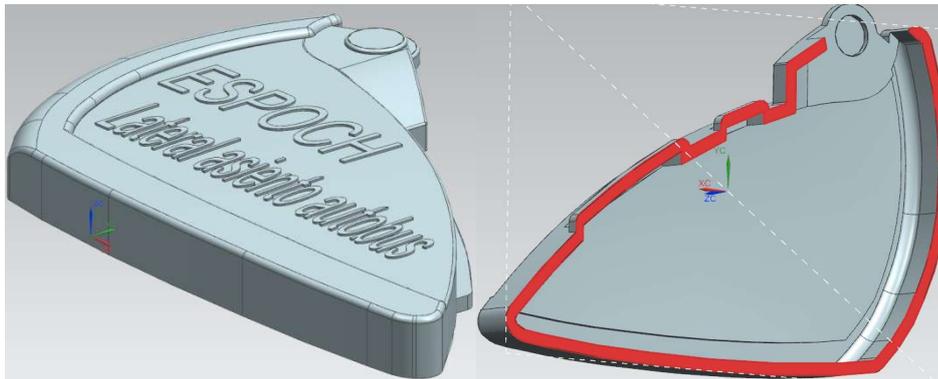
f_s : Factor de escala de las piezas a inyectar.

%: Porcentaje de contracción según el material.

$$f_s = \frac{1}{1 - \left(\frac{1.6}{100}\right)} = 1.0162$$

- b)** Angulo de desmoldeo. – Para evitar atrapamientos y facilitar la expulsión del producto se le asigna un ángulo de desmoldeo o salida a partir de la medida nominal de la pieza, esta puede variar entre 0° a 3° dependiendo de la geometría y tamaño de la pieza. En este caso se optó por tomar un ángulo de desmoldeo 0.5° debido a su geometría simple, tamaño del elemento y fácil desmoldeo.
- c)** Superficie de cierre o partición de la matriz. – Mediante el software SIEMENS NX 11 se determina el cierre del molde tratando de evitar interferencias o contrasalidas en la extracción del producto, como se muestra en las siguientes figuras, donde la parte naranja en la parte de la cavidad o también conocida como la hembra y la parte azul es la parte del núcleo o también conocida como el macho.

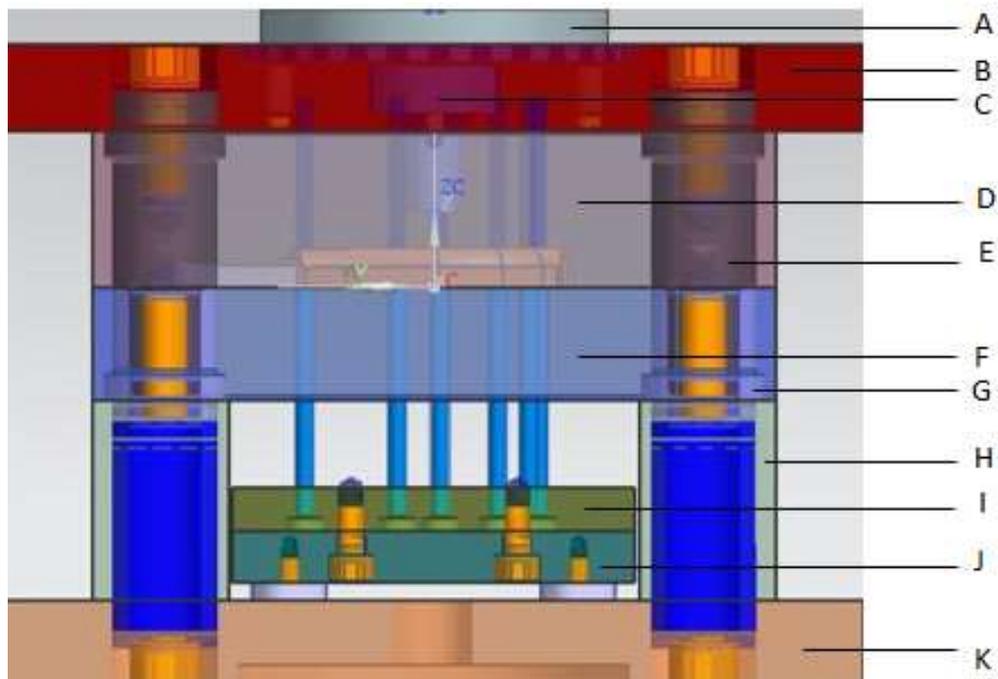
Figura 38. Superficie de partición de la cavidad y núcleo



Fuente: Autores

3.1.2.1 *Bosquejo de la estructura de la matriz.* - Teniendo en cuenta los diferentes tipos de moldes normalizados de distintos fabricantes se procede a la selección del molde adecuado mediante el análisis dimensional.

Figura 39. Partes constitutivas de un molde



Fuente: Autores

Tabla 13. Partes del molde

A	Disco centrador
B	Placa sujeción fija
C	Boquilla de inyección
D	Placa cavidad fija
E	Columna guía
F	Placa núcleo móvil
G	Buje guías
H	Paralelas
I	Placa expulsora principal
J	Placa expulsora de respaldo
K	Placa sujeción móvil

Fuente: Autores

3.1.2.2 Cálculos generales para la construcción molde

Determinación de la fuerza de cierre. -La fuerza de cierre es la fuerza que entrega la máquina de inyección al molde para mantenerlo completamente cerrado durante el proceso de inyección. Según (Rosato, y otros, 2000) los parámetros necesarios para determinar la fuerza de cierre son:

- a) Tipo de material a inyectar.
- b) Superficie de la pieza proyectada en cm^2 (AP).
- c) Longitud de recorrido de flujo en mm (LR).
- d) Presión específica en la cavidad del molde (P_i).

- Tipo de material a inyectar. – El material seleccionado para la inyección del producto es el polipropileno. Este material es un polímero versátil parcialmente cristalino con buena procesabilidad y buenas propiedades químicas, de resistencia y transparencia con una baja viscosidad. Sus características principales son:

1. Contracción 1.3 – 1.6 %
2. Densidad $0.9 \frac{g}{cm^3}$

- Superficie de la pieza proyectada. – La superficie de proyección consta tanto de los canales de alimentación, así como del producto a moldearse. Mediante el software SIEMENS NX 11 se obtiene un área proyectada de $114,68 cm^2$. Como se puede observar en la figura 41.

- Longitud del recorrido del flujo. – La longitud del recorrido del flujo se mide desde el inicio del cono del bebedero hasta la superficie de la pieza a inyectar. En este caso se llegará solamente hasta la superficie del producto, esto es porque no constan de canales de alimentación ya que la matriz tiene solamente una cavidad, Mediante el software SIEMENS NX 11 se obtuvo la longitud del flujo de 99,293 mm.

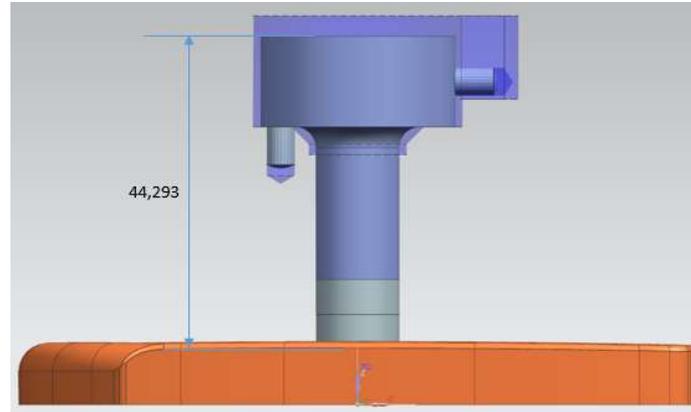
$$LR = 55 + 44,293 = 99,293 mm$$

Figura 40. Área proyectada de la pieza a inyectar y el canal de distribución



Fuente: Autores

Figura 41. Longitud del bebedero y del flujo



Fuente: Autores

- Espesor de promedio medio. – El diseño preliminar no cuenta con un espesor constante por lo que se considera un espesor promedio de la pieza a inyectar. Según el análisis en el software SIEMENS NX 11 el espesor promedio es de 1,59 mm.

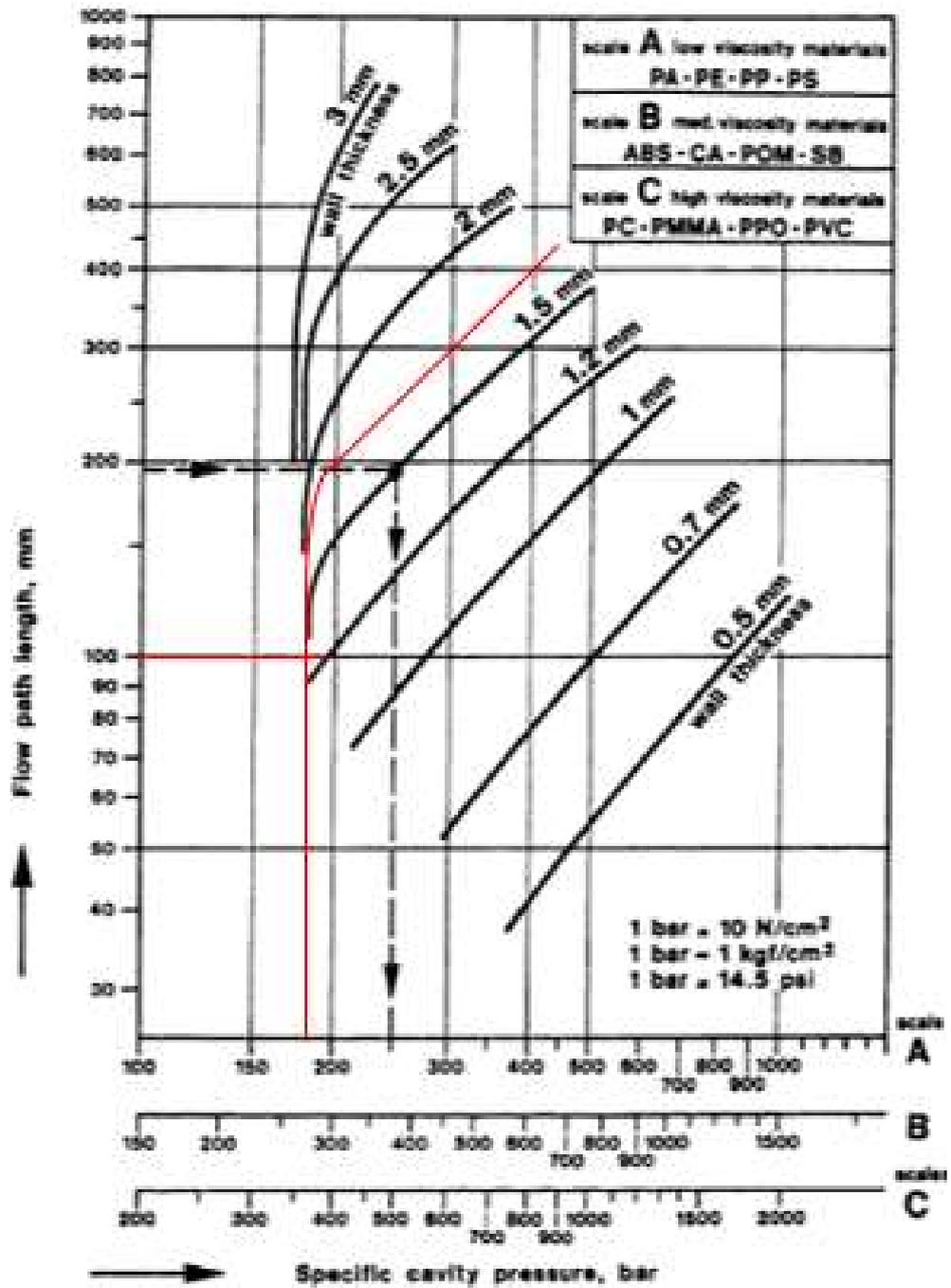
Figura 42. Espesor de pared promedio



Fuente: Autores

- Presión específica en la cavidad del molde. – Para hallar el valor de la presión específica en la cavidad del molde se utiliza el monograma de la figura 44, la cual permite encontrar la presión específica conociendo la longitud de recorrido y el espesor promedio. Para utilizar el nomograma primero se ubica en el eje vertical la longitud del recorrido y se traza una horizontal hasta cortar con la curva del espesor medio correspondiente, posterior a esto se traza una perpendicular que corte con el eje horizontal el cual marcará la presión específica en la cavidad del molde según el grado de viscosidad del polímero, cada escala corresponde a diferentes tipos de polímeros y en nuestro caso tenemos escala A ya que indica el valor de presión específica respecto al polipropileno. Se encontró una presión específica en el molde de 190 Bar en el nomograma.

Figura 43. Diagrama para calcular la presión de la cavidad en el molde



Fuente: (Rosato, y otros, 2000)

- Cálculo de la fuerza de cierre. – Para encontrar la fuerza de cierre del molde necesaria para que, durante la inyección de la pieza, tanto la parte fija y la parte móvil no se separen se utiliza la siguiente fórmula en la cual se utiliza la superficie de la pieza

proyectada y a presión específica en la cavidad. Es recomendable que la fuerza de cierre sea 20% mayor a la calculada, para dar a un factor de seguridad al cierre de las cavidades.

$$F_c = AP * P_i \quad (2)$$

Donde:

- Superficie de la pieza proyectada en cm^2 (P).
- Presión específica en la cavidad del molde (P_i).

$$P_i = 190 \text{ Bar} = 19 \text{ MPa}$$

$$AP = 114,68 \text{ cm}^2 = 0,011468 \text{ m}^2$$

$$F_c = 0,011468 \text{ m}^2 * 19 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} = 217,892 \text{ KN}$$

$$F_c = 22 \text{ toneladas}$$

Fuerza de cierre recomendada:

$$F_{\text{recomendada}} = \frac{22 * 20}{100} + 22 = 26 \text{ toneladas}$$

3.1.2.3 Especificaciones de la máquina inyectora.

Figura 44. Máquina inyectora



Fuente: Autores

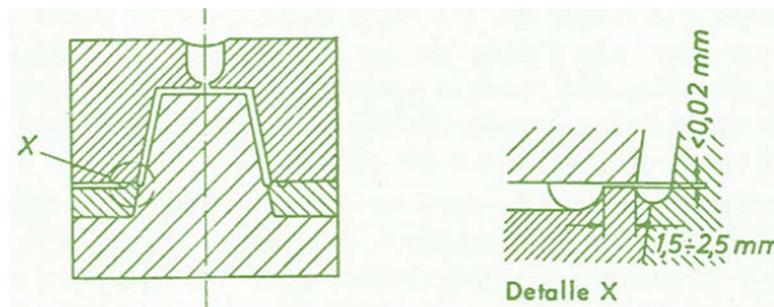
Tabla 14. Especificaciones técnicas de inyectora TRUBOR

TRUBOR 75-RS-51/2		
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
UNIDAD DE INYECCIÓN	VALOR	UNIDADES
Capacidad máxima de inyección	125	gr
Desplazamiento teórico	132	cm ³
Presión máxima de inyección	1639	Bar
Velocidad de inyección	133	cm ³ /s
carrera del tornillo de inyección	130	mm
Diámetro del tornillo	36	mm
Radio del tornillo L/D	20	L/D
Velocidad del tornillo	333	rpm
Torque del tornillo	676	Nm
Capacidad de plastificación	16	gr/s
No. De pirómetros (Barril/Boquilla)	3/1	qty
Capacidad calorífica total	7.3	KW
UNIDAD DE CIERRE	VALOR	UNIDADES
Fuerza de cierre	90	toneladas
Carrera del cierre	310	mm
Altura del molde (min/máx.)	150/400	mm
Tamaño del plato	610x565	mm
Distancia entre barra	405x360	mm
Diámetro de las barras	70	mm
Carrera máxima del cilindro expulsor	120	Mm
Fuerza del cilindro expulsor	2.5	toneladas
UNIDAD DE POTENCIA	VALOR	UNIDADES
Motor eléctrico	18	HP
Dimensiones de las máquinas (L * W * H)	3.8x1.4x2.1	m
Peso de la máquina	3152	kg
Capacidad total del aceite	220	L

Fuente: Catalogo TRUBOR

Salida de aire. - La salida de aire son aberturas que ayudan a desalojar el aire que queda dentro de las cavidades cuando esta se abre y cierra. Para el dimensionamiento de las salidas de aire no existen medidas definidas porque el aire escapa por la partición entre los botadores. Como recomendación se suele utilizar este dimensionamiento:

Figura 45. Salida de aire



Fuente: (Mengues G, 1983)

Bebedero. – Generalmente en los moldes de una sola cavidad está constituido por una sola entrada la cual se denomina bebedero cónico o mazarota cónica, evitando así el uso de los canales de alimentación. Es necesario analizar el cálculo del diámetro mínimo de la entrada a la cavidad a partir de la siguiente ecuación:

$$d_{min} = n * C_{sz} * \frac{\sqrt{A}}{30} \quad (3)$$

Donde:

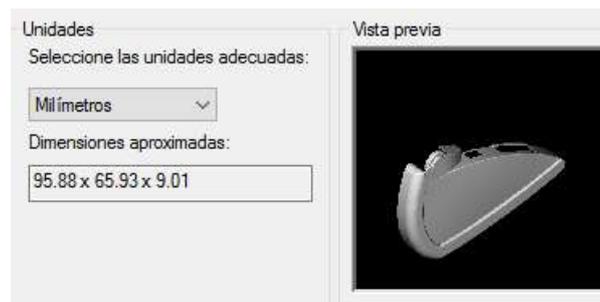
d_{min} : Diámetro mínimo de la entrada (mm)

C_{sz} : Constante en función del espesor máximo de la pieza

A : Área de la pieza (mm^2) = 6321,3684 mm^2

n : Constante en función del tipo de material

Figura 46. Dimensionamiento de la pieza



Fuente: Autores

Tabla 15. Valores del coeficiente C_{sz} según espesor de la pieza

e (mm)	0,76	1,02	1,27	1,52	1,78	2,03	2,54	10
C_{sz}	0,18	0,21	0,24	0,26	0,28	0,29	0,33	1,2

Fuente: (Noelvis, 2015)

Para encontrar el valor de C_{sz} interpolamos ya que el espesor máximo de la pieza es de 9,01 mm. Se tiene que:

e	C_{sz}
2,54	0,33
9,01	C_{sz}
10	1,2

$$C_{sz} = \frac{(9,01 - 2,54) * (1,2 - 0,33)}{(10 - 2,54)} + 0,33 \quad (4)$$

$$C_{sz} = 1,085$$

Tabla 16. Valores de n en función del tipo de polímero

Materiales	n
Polietileno (PEAD) (PEBD)	0,6
Poliestireno (PSAI) (PSUG)	0,6
Polipropileno (PP)	0,7
Acetato de celulosa	0,7
Poliamida (PA)	0,8
Cloruro de polivinilo (PVC)	0,9

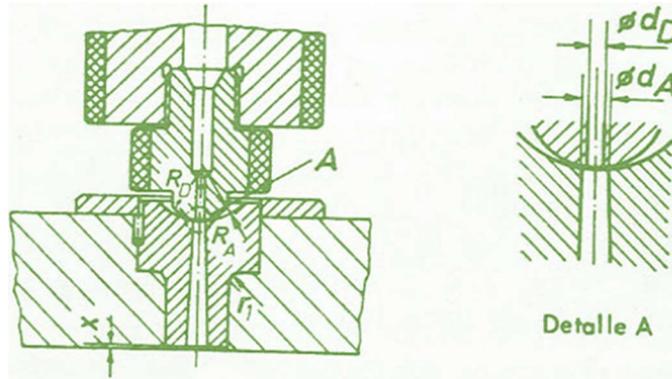
Fuente: (Noelvis, 2015)

$$d_{min} = 0,7 * 1,085 * \sqrt{6321,3684} / 30$$

$$d_{min} = 2,018 \text{ mm}$$

Según (Mengues G, 1983), para el dimensionamiento de estas variables se aplica la siguiente formula:

Figura 47. Superficie de contacto entre la boquilla y el bebedero



Fuente: (Mengues G, 1983)

$$R_D + 1 \leq R_A \quad (5)$$

$$d_D + 1 \leq d_A \quad (6)$$

Donde:

R_D = Radio de curvatura del extremo de la boquilla

R_A = Rd de la concavidad del bebedero

d_D = Diametro del orificio de la boquilla

d_A = Diametr del orificio del bebedero

$$R_D = 10 \text{ mm}$$

$$R_A = 15,5 \text{ mm}$$

$$d_D = 2 \text{ mm}$$

$$d_A = 3 \text{ mm}$$

$$R_D + 1 \leq R_A$$

$$10 + 1 \leq 15,5$$

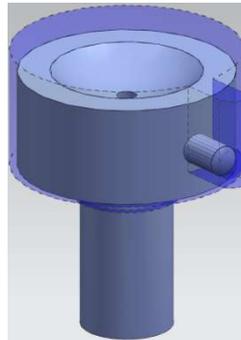
$$11 \text{ mm} \leq 15,5 \text{ mm}$$

$$d_D + 1 \leq d_A$$

$$2 + 1 \leq 3$$

$$3 \text{ mm} \leq 3 \text{ mm}$$

Figura 48. Bebedero



Fuente: Autores

El ángulo de conicidad debe estar en un rango de 1 a 2°, ya que se debe evitar una esquina aguda entre la mazarota y la pieza.

Longitud del bebedero

$$L_b = \frac{d_A - d_D}{2} * \frac{1}{\text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (7)$$

Donde:

L_b : Longitud del bebedero

α : Ángulo de conicidad

$$L_b = \frac{3 - 2}{2} * \frac{1}{\text{tg}\left(\frac{1.36}{2}\right)}$$

$$L_b = 42.13 \text{ mm}$$

3.1.2.4 *Deflexiones en el molde* – La deflexión en el molde es de gran importancia, ya que mediante este podemos determinar el comportamiento de los elementos ante la presión ejercida de la máquina de inyección sobre los mismos.

- Placa de sujeción fija. – Las medidas exteriores de la placa superior generalmente son las mismas de la base inferior y estas deben ser adecuadas para que puedan entrar en

los platos de la máquina inyectora. En lo que respecta, el espesor de esta placa debe soportar todas las fuerzas que ha de absorber. La placa fija tiene varios alojamientos como son el anillo centrador, pernos de sujeción, parte del bebedero y bujes guías. El material empleado es el acero AISI 1045 con el cual se garantiza resistencia, tenacidad y dureza.

$$\delta_{max} = \frac{K * w * L^4}{E * t^3} \quad (8)$$

Donde:

δ_{max} : Máxima deformación en el molde (m)

W: Fuerza aplicada por unidad de área (Pa)

L: Largo de la pieza (m)

E: Modulo de elasticidad (GPa)

t: Espesor de la placa

k: Factor de condición de soporte de la placa

Despejando tenemos que el espesor es igual a:

$$t = \sqrt[3]{\frac{K * w * L^4}{\delta_{max} * E}} \quad (9)$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{0,026 * 19MPa * (0,098)^4 m^4}{0,00001m * 200000MPa}}$$

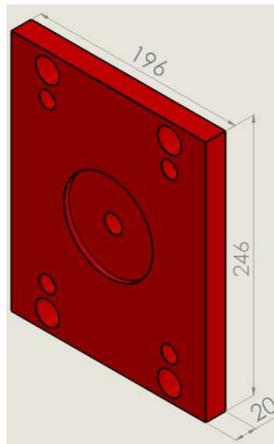
$$t = 0,01816 m$$

$$t = 18,167 mm$$

El espesor seleccionado es de 20 mm debido que se trata de espesores normalizados, que se rigen a la construcción de moldes bajo normas estándares, considerando los cálculos realizados. Como se observa en la figura 50, donde se puede apreciar el espesor normalizado de las placas porta cavidad y porta núcleo.

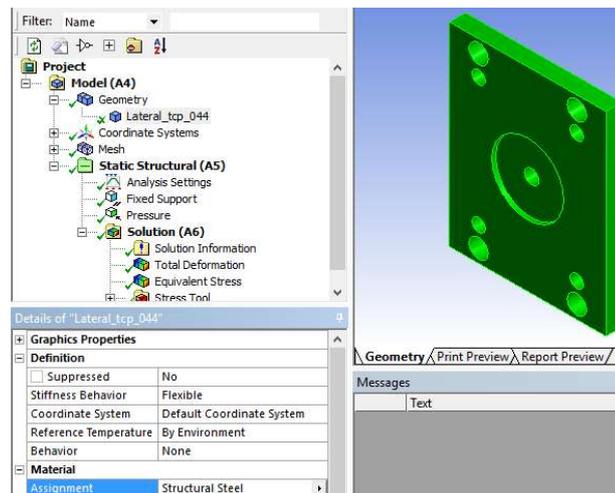
Preproceso:

Figura 49. Modelo Geométrico placa fija y móvil



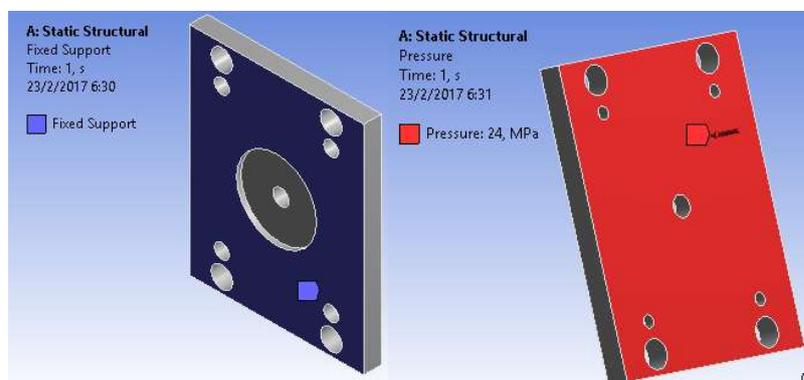
Fuente: Autores

Figura 50. Asignación de material



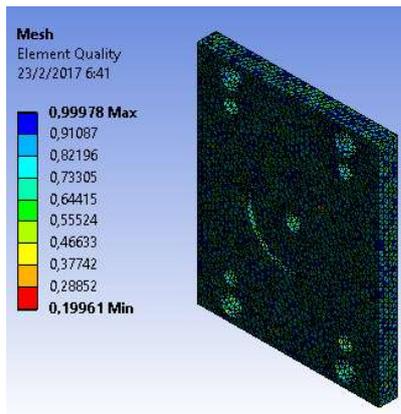
Fuente: Autores

Figura 51. Asignación de cargas y soportes



Fuente: Autores

Figura 52. Calidad de malla

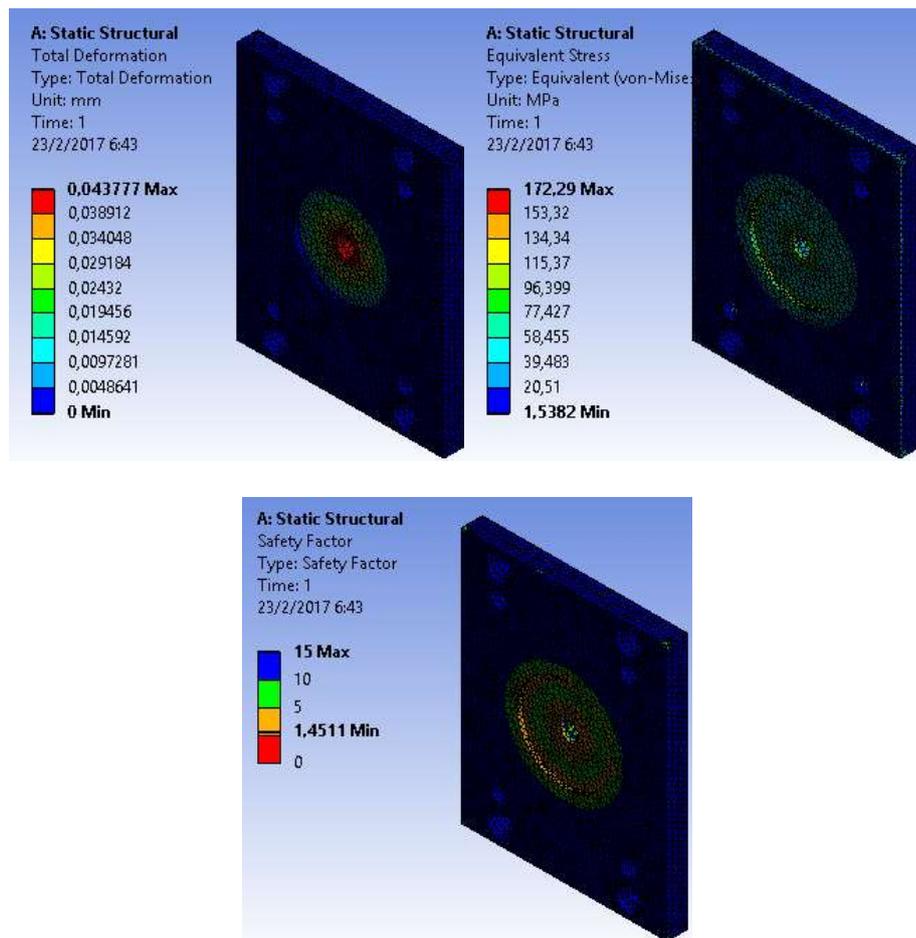


El tipo de malla es alta, debido que este permite tener una mayor confiabilidad

Fuente: Autores

Postprocesado:

Figura 53. Resultado de análisis



Fuente: Autores

Al realizar el análisis se observa que no supera el límite de elasticidad del acero con el espesor seleccionado, el cual garantiza su funcionalidad y durabilidad.

- Placas paralelas. – Las paralelas son de gran importancia, ya que estas deben tener el suficiente espacio para alojar el conjunto expulsor y la carrera adecuada de expulsión. La forma de trabajar estas placas son del tipo viga apoyada en sus extremos una carga uniformemente distribuida a lo largo de ellas. La fórmula de calcular su deformación es la siguiente:

$$\delta_{max} = \frac{5 * W * L^3}{384 * E * I} \quad (10)$$

Donde:

δ_{max} : Máxima deflexión en el molde (m)

W : Carga total aplicada (N)

L : Largo de la viga (m)

E : Modulo de elasticidad (GPa)

I : Momento de inercia (m^4)

Despejando el momento de inercia tenemos que es igual a:

$$I = \frac{5 * W * L^3}{384 * E * \delta_{max}} \quad (11)$$

El momento de inercia de una sección rectangular es igual a:

$$I = \frac{b * h^3}{12} \quad (12)$$

Donde:

b : Espesor (m)=31mm=0.031m

h : Altura (m)

$$I = \frac{0.031 * h^3}{12} \quad (13)$$

Se igualan las ecuaciones (8) y (10)

$$I = \frac{5 * W * L^3}{384 * E * \delta_{max}} = \frac{0.031 * h^3}{12} \quad (14)$$

Se despeja la altura y se tiene que es igual a:

$$h = \sqrt[3]{\frac{60 * W * L^3}{11.904 * E * \delta_{max}}} \quad (15)$$

La carga total aplicada es:

$$P_{iny} = \frac{W}{A_{molde}} \quad (16)$$

Donde:

P_{in} : Presión inyección

W : Carga total aplicada (N)

A_{molde} : Área del molde (m^2) = 0.03075 m^2

Despejando la ecuación (13) se tiene que:

$$W = P_{iny} * A_{molde} \quad (17)$$

$$W = 19 \frac{MN}{m^2} * 0,03075 m^2$$

$$W = 307500 N = 307.5 KN$$

La carga total aplicada va estar soportada por dos paralelas simétricas entonces la carga se divide para el número de paralelas que se utilicen:

$$W = \frac{307500 N}{2} = 153,75 KN$$

Reemplazando en la ecuación (12) se tiene que:

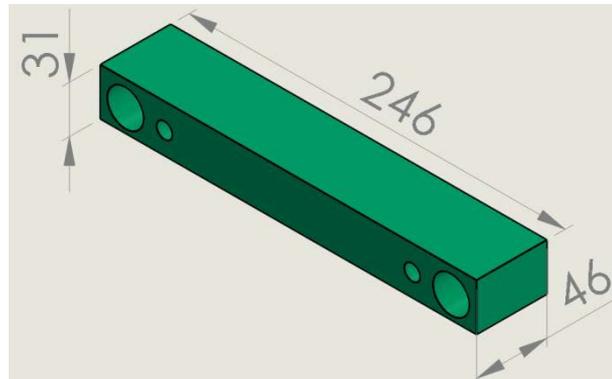
$$h = \sqrt[3]{\frac{60 * 153750 N * 0.246 m}{11.904 * 200 GPa * 0.00001 m}}$$

$$h = 0.04568 m = 45.68 mm$$

Se consideró la altura de 46 mm, debido a que son medidas normalizadas considerando el cálculo realizado. Considerando el espesor de la placa soporte y la altura de las paralelas se realizó el análisis en conjunto para verificar la resistencia y deformación máxima de las placas.

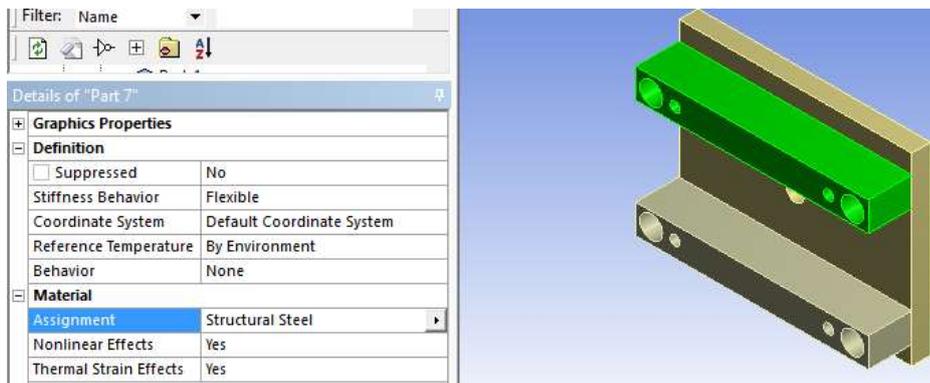
Preproceso:

Figura 54. Modelo geométrico placas paralelas



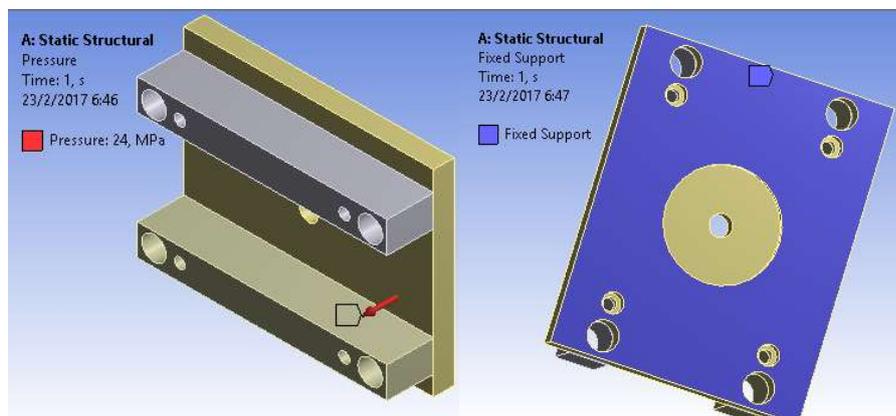
Fuente: Autores

Figura 55. Asignación de material



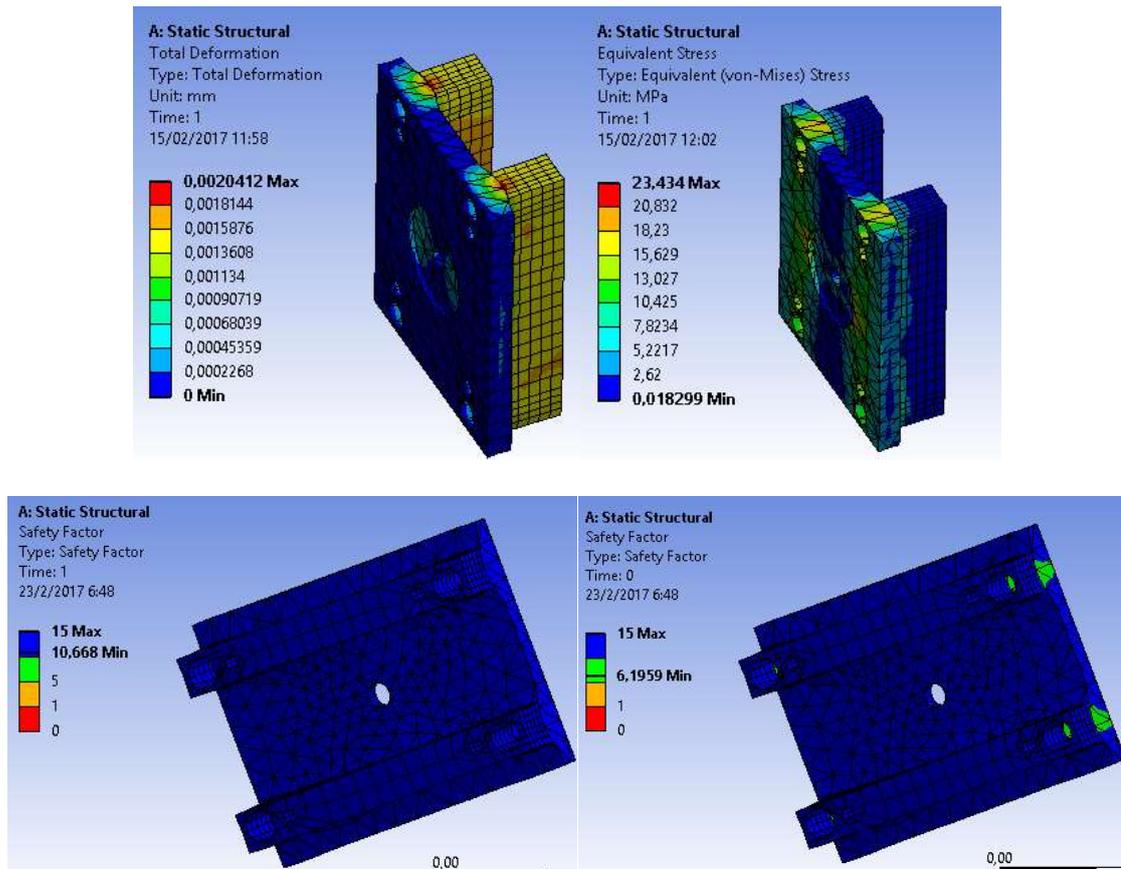
Fuente: Autores

Figura 56. Asignación de cargas y soporte



Fuente: Autores

Figura 57. Resultado de análisis



a) Factor de seguridad estático, b) Factor de seguridad a fatiga.

Fuente: Autores

Finalizado el análisis se observa que no supera el límite elástico del acero y cumple con la deformación máxima permisible, garantizando su funcionalidad.

Expulsores. - Son los encargados de desmoldar las piezas inyectadas, la presión superficial sobre la pieza a expulsar debe ser la mínima para evitar la deformación. El tipo de expulsor seleccionado es de vástago cilíndrico con cabeza cilíndrica. Para este tipo de expulsores se recomienda diámetros de vástagos de 3 a 16 mm hasta una longitud máxima de 400 mm. El acero utilizado para la fabricación de los expulsores es el acero plata K150. Es importante conocer la longitud mínima de pandeo del expulsor para evitar posibles problemas durante el desplazamiento del sistema expulsor.

$$L_p = \pi * \sqrt{\frac{m * E * I_g}{F}} \quad (18)$$

Donde:

L_p : Longitud de pandeo de la columna

m : Constante que depende de las condiciones de fijación de los extremos de los expulsores

E : Modulo de elasticidad=22000 kg/mm²

F : Fuerza del cilindro del expulsor=2.5 Toneladas

I_g : Momento de inercia

$$I_g = \frac{\pi}{64} * d^4 \quad (19)$$

Donde:

d : Es el diámetro= 4 mm

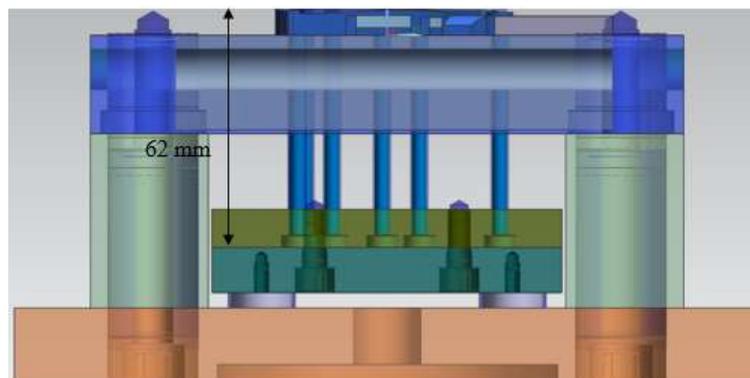
$$I_g = \frac{\pi}{64} * 4^4 = 12.56 \text{ mm}^4$$

$$L_p = \pi * \sqrt{\frac{4 * 22000 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} * 12.56 \text{ mm}^4}{2500 \text{ kg}}}$$

$$L_p = 86,707 \text{ mm}$$

La longitud de los expulsores es medida desde la placa de expulsión inferior hasta llegar a la cavidad, como se muestra en la figura:

Figura 58. Longitud de los expulsores

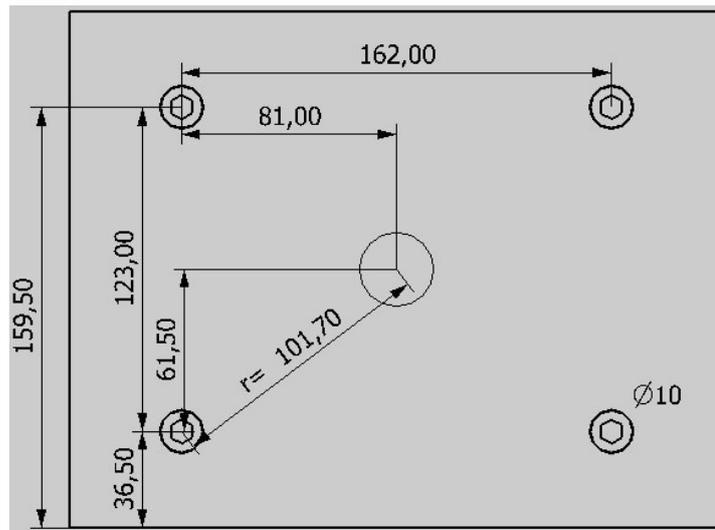


Fuente: Autores

Al determinar la longitud de pandeo y conociendo la longitud de los expulsores que es de 62 mm, se puede garantizar que no sufrirá deformaciones ante la fuerza de expulsión de la máquina que ejerce sobre los mismos.

- Pernos sometidos a corte. – Es fundamental determinar el comportamiento de los pernos y la resistencia del mismo.

Figura 59. Distribución de los pernos de la placa fija, parte móvil.



Fuente: Autores

Los pernos van estar sometidos al peso total que ejerce el molde sobre ellos.

W_{pf} :Peso de la parte fija del molde = 12,5798 kg = 123,28 N

W_{pm} :Peso de la parte móvil del molde = 28,84 kg = 282,61 N

W_t :Peso total del molde = 41.417 kg = 405,89 N

La carga primaria de los pernos es:

$$F' = \frac{W_{pm}}{n} \quad (20)$$

Donde:

n :Numero de pernos

$$F' = \frac{282,61 \text{ N}}{4} = 70,65 \text{ N}$$

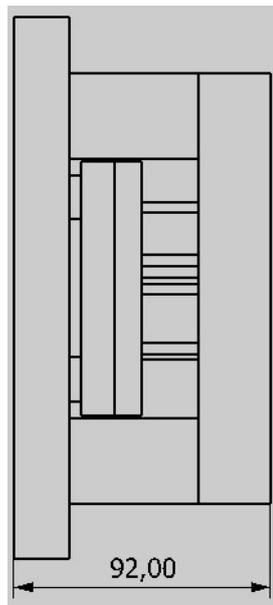
La carga secundaria se genera debido al momento flector el cual se determina a partir de:

$$M_f = W_{pm} * L \quad (21)$$

Donde:

L : Longitud de la parte móvil del molde

Figura 60. Parte móvil del molde



Fuente: Autores

$$M_f = 282,61 * 92 = 26000 \text{ N. mm}$$

El momento flector genera tracción en los pernos de sujeción, y este es igual a:

$$F'' = \frac{M_f * r_2}{\sum r^2} \quad (22)$$

$$F'' = \frac{26000 \text{ N. mm} * 159,5 \text{ mm}}{(36,5 \text{ mm})^2 + (159,5 \text{ mm})^2} = 154,9 \text{ N}$$

La tracción en cada perno es de:

$$P = \frac{F''}{n} \quad (23)$$

Donde:

P : Fuerza de tracción en cada perno

$$P = \frac{154,9 \text{ N}}{2} = 77,45 \text{ N}$$

Debido al cálculo que se realiza se requiere encontrar la fuerza de pretensión la cual se determina mediante la siguiente ecuación:

$$F_i = 0,85 * F_p \quad (24)$$

Donde:

F_i : Fuerza de pretensión

F_p : Fuerza de presión

$$F_p = A_t * S_p \quad (25)$$

Donde:

A_t : Área transversal = $78,54 \text{ mm}^2$

Para moldes normalizados se usa pernos Clases 8.8 grado SAE 5 cuyas características son:

$S_p = 586 \text{ MPa}$

$S_y = 634 \text{ MPa}$

$S_{ut} = 827 \text{ MPa}$

$$F_p = 78,54 \text{ mm}^2 * 586 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 46024,44 \text{ N}$$

$$F_i = 0,85 * 46024,44 \text{ N} = 39120,774 \text{ N}$$

Constante de rigidez del sujetador es igual a

$$k_b = \frac{A_t * A_d * E}{A_d * l_t + A_t * l_d} \quad (26)$$

Como $A_t = A_d$ se simplifica la ecuación:

$$k_b = \frac{A_t * E}{l_t + l_d} \quad (27)$$

Donde:

A_t : Área de esfuerzo a tensión = $95,03 \text{ mm}^2$

A_d : Área del diámetro mayor del sujetador

l_t : Longitud de la parte roscada de agarre

l_d : Longitud de la parte sin rosca de agarre = 80 mm

E: Módulo de elasticidad del perno = 206 GPa

Para encontrar la longitud de la parte roscada de agarre se utiliza la siguiente tabla:

Figura 61. Longitud de rosca para pernos

LONGITUD DE LA ROSCA PARA PERNOS	
$L_r = \begin{cases} 2d+6 & L \leq 125 \\ 2d+12 & 125 < L \leq 200 \\ 2d+25 & L > 125 \end{cases}$	
Donde L es la longitud del perno. La longitud de la rosca para pernos estructurales Es ligeramente menor a la que indica.	
Las resistencias mínimas son las resistencias excedidas por 99% de los sujetadores.	

Fuente: (Budynass Richard, 2011)

$$l_t = 2d + 6 \quad (28)$$

$$l_t = 2 * (10mm) + 6 = 26 mm$$

$$k_b = \frac{95,03 mm^2 * 206 GPa}{26 mm + 80 mm} = 184,68 x 10^9 N/mm$$

Constante de rigidez del elemento es igual:

$$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{k_{m1}} + \frac{1}{k_{m2}} + \frac{1}{k_{m3}} \quad (29)$$

$$K_m = \frac{0.577 * \pi * E * d}{\ln \frac{(1.5*t+D-d)*(D+d)}{(1.5*t+D+d)*(D-d)}} \quad (30)$$

$$D = 16 mm$$

$$d = 10 mm$$

$$K_{m1} = \frac{0.577 * \pi * 206GPa * 10}{\ln \frac{(1.5*10+16-10)*(16+10)}{(1.5*10+16+10)*(16-10)}} = 4683.58x10^9 N/mm$$

$$K_{m2} = \frac{0.577 * \pi * 206GPa * 10}{\ln \frac{(1.5*70+16-10)*(16+10)}{(1.5*70+16+10)*(16-10)}} = 2870,95 x10^9 N/mm$$

$$K_{m3} = \frac{0.577 * \pi * 206GPa * 10}{\ln \frac{(1.5*26+16-10)*(16+10)}{(1.5*26+16+10)*(16-10)}} = 3398,9 x10^9 N/mm$$

Reemplazando en la ecuación (29) se tiene que:

$$\frac{1}{k_m} = \left(\frac{1}{4683.58 \times 10^9} + \frac{1}{2870,95 \times 10^9} + \frac{1}{3398,9 \times 10^9} \right) mm/N$$

$$\frac{1}{k_m} = 8,560 \times 10^{-13} mm/N$$

$$k_m = 1,16 \times 10^{12} N/mm$$

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m}$$

$$C = \frac{184,68 \times 10^9 N/mm}{184,68 \times 10^9 N/mm + 1,72 \times 10^{12} N/mm}$$

$$C = 0,1365$$

$$F_b = F_i + C * n * P \quad (31)$$

$$F_b = S_y * A_t \quad (32)$$

Igualando las ecuaciones (31) y (32) se tiene que:

$$F_i + C * n * P = S_y * A_t$$

Despejando n el factor de seguridad se tiene que:

$$n = \frac{S_y * A_t - F_i}{C * P} \quad (33)$$

$$n = \frac{(634 MPa * 61.87 mm^2) - 39120,774 N}{0,1365 * 77,45 N}$$

$$n = 9.91$$

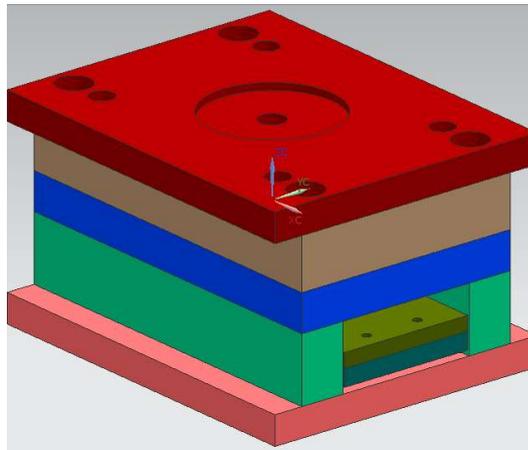
Mediante el cálculo se verifica que los pernos no fallaran durante el ciclo de trabajo, pero están sobredimensionados debido que estos soportan cargas en voladizo al instante del cierre y apertura de la máquina inyectora en el proceso de inyección del producto.

3.1.2.5 *Análisis del molde.* - Mediante el análisis del conjunto del molde se observó el comportamiento del mismo aplicando las cargas a la cual va trabajar, verificando su resistencia, funcionalidad y confiabilidad de los elementos constitutivos del molde.

- Análisis del molde aplicado la fuerza de cierre de la máquina

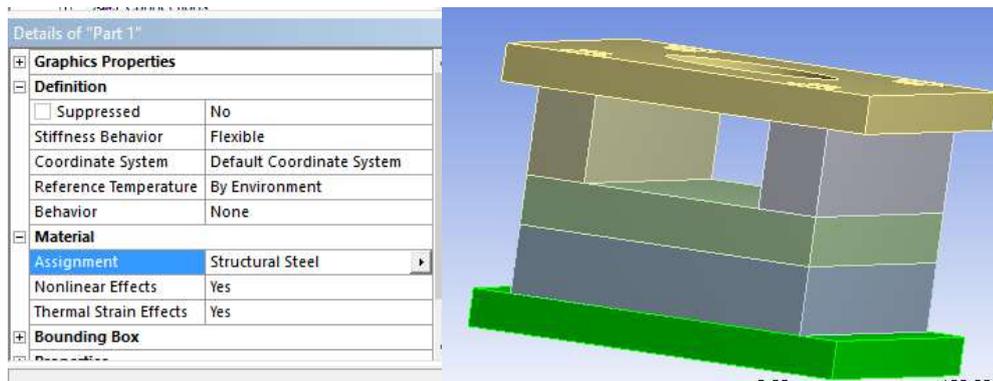
Preproceso:

Figura 62. Modelo geométrico del molde



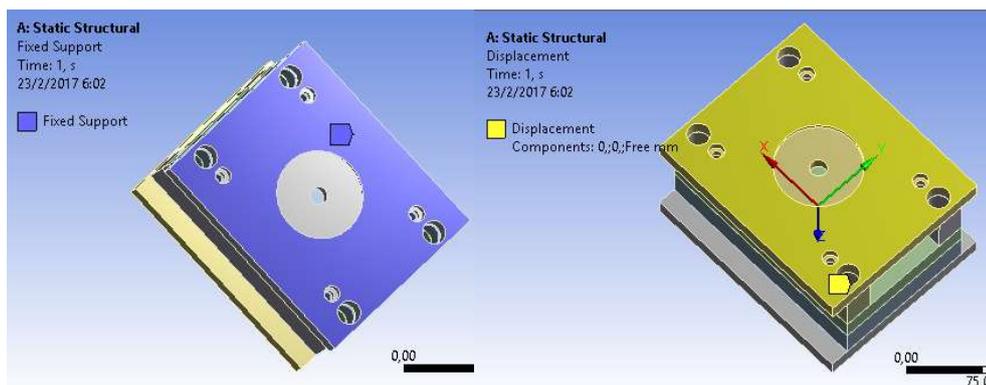
Fuente: Autores

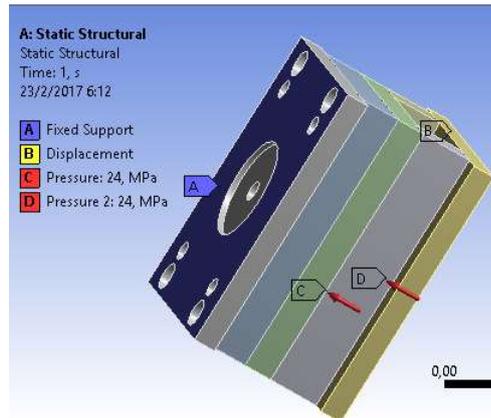
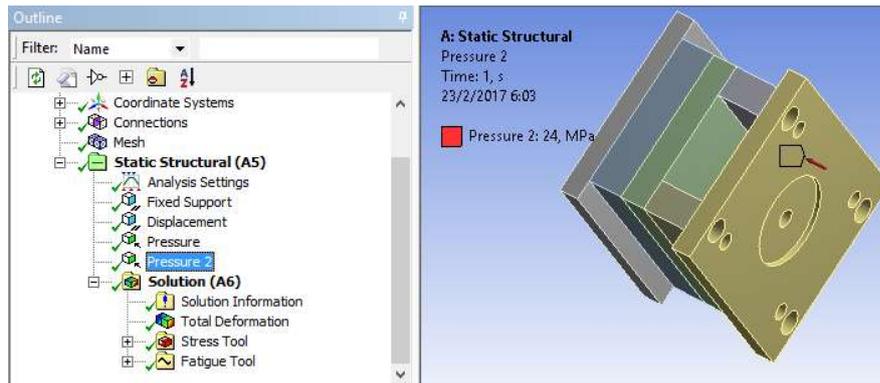
Figura 63. Asignación del material



Fuente: Autores

Figura 64. Asignación de cargas y soportes

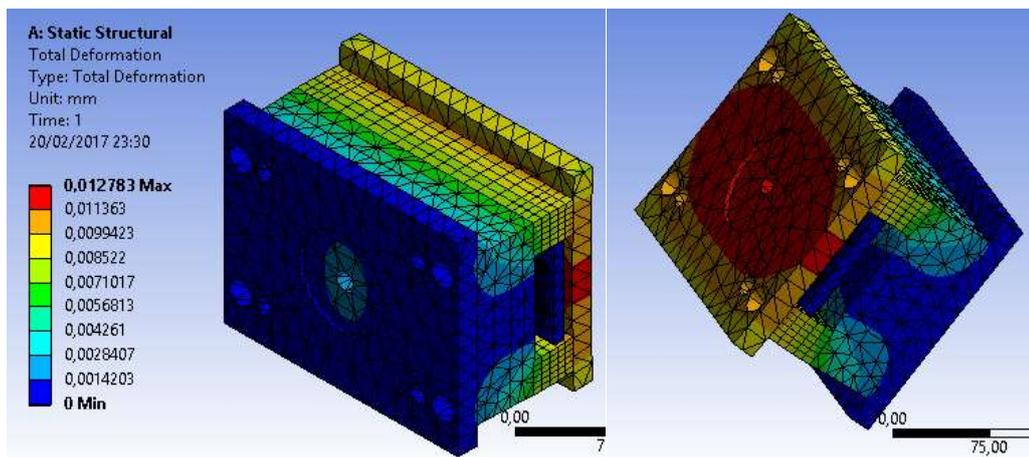




Fuente: Autores

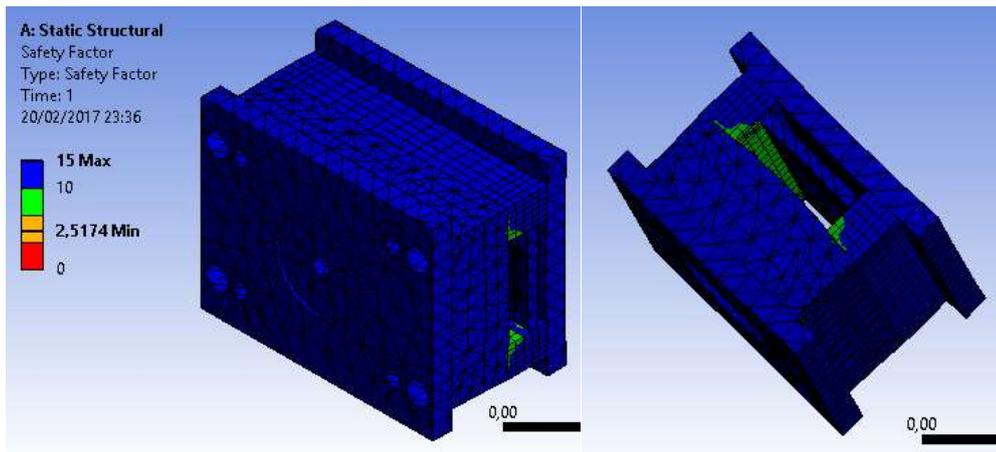
Postprocesado:

Figura 65. Resultados de análisis deformación máxima



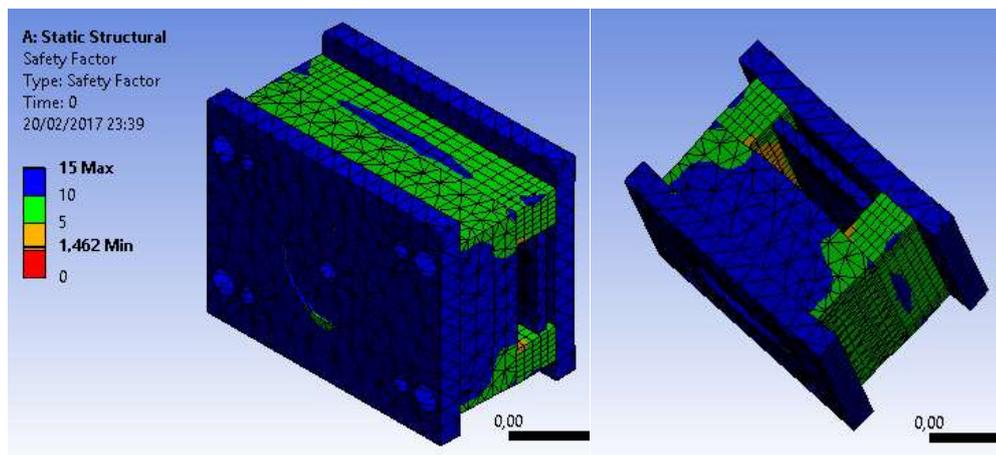
Fuente: Autores

Figura 66. Factor de seguridad estático



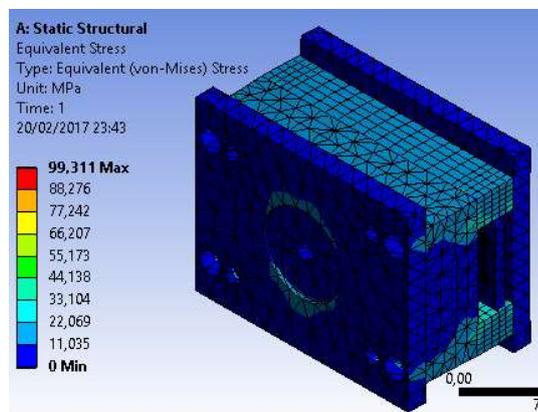
Fuente: Autores

Figura 67. Factor de seguridad a fatiga



Fuente: Autores

Figura 68. Máximo esfuerzo

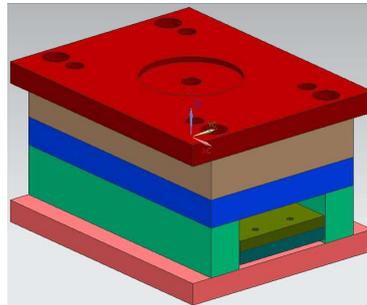


Fuente: Autores

- Análisis del molde aplicado la fuerza de inyección

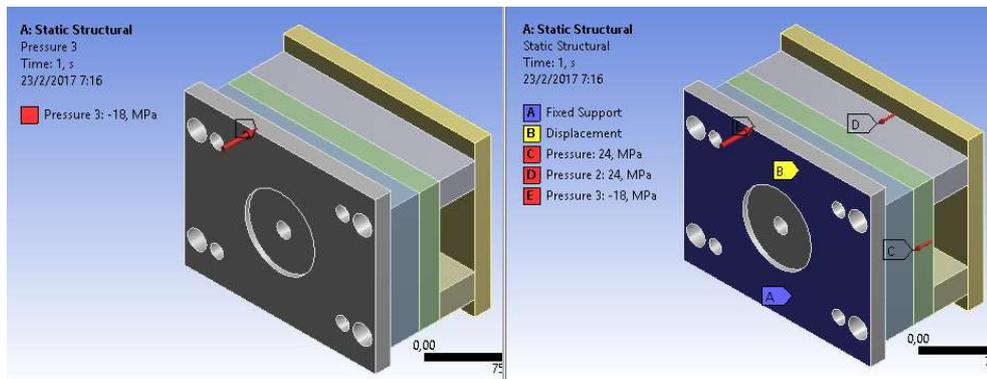
Preproceso:

Figura 69. Modelo geométrico del molde



Fuente: Autores

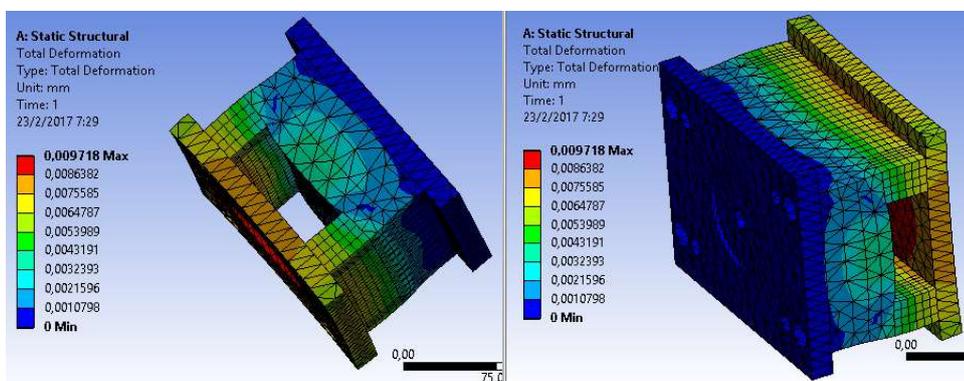
Figura 70. Asignación de cargas



Fuente: Autores

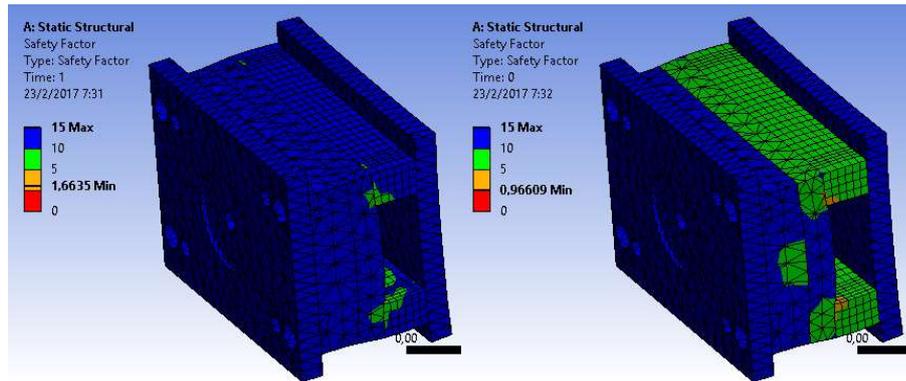
Postprocesado:

Figura 71. Resultado de análisis deformación máxima



Fuente: Autores

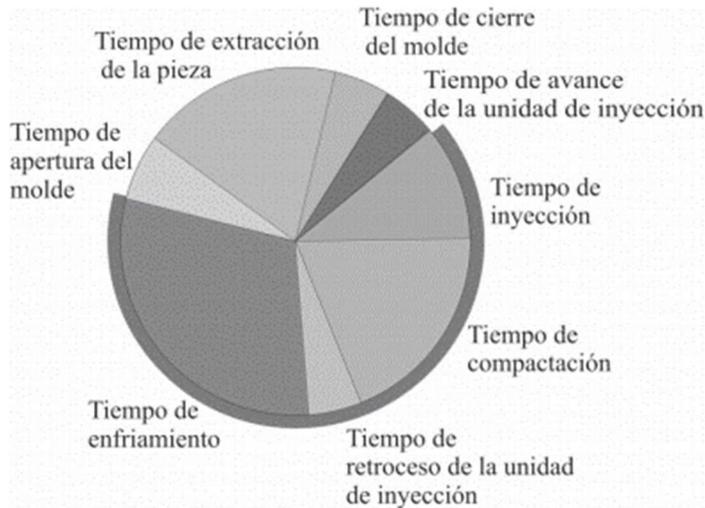
Figura 72. Factor de seguridad estático y a fatiga



Fuente: Autores

3.1.3 *Cálculos de los parámetros de inyección.* – Es importante tener en cuenta los parámetros que intervienen en el proceso de inyección, debido que de estos dependerá el buen funcionamiento del molde y la versatilidad del producto final.

Figura 73. Duración total del ciclo de inyección en una máquina inyectora



Fuente: (Beltran M)

Disposición de canales de enfriamiento. – Es necesario obtener una distribución uniforme de la temperatura en la pared del molde, es importante que la diferencia entre la temperatura de entrada y salida del refrigerante es nuestro caso agua sea menor de 6°C .

Además, se debe considerar la distancia necesaria entre los canales de enfriamiento con respecto a las paredes del molde.

$$a_{kk} \approx (2,5 \text{ a } 3,5) * D \quad (34)$$

$$s_{kk} \approx (0,8 \text{ a } 1,5) * a_{kk} \quad (35)$$

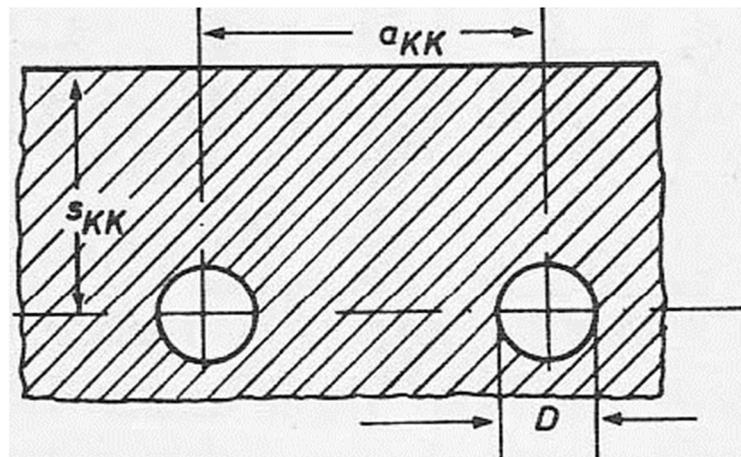
Donde:

D: Diámetro del canal de enfriamiento

a_{kk} : Distancia entre canales

s_{kk} : Distancia entre el canal y la pared de la matriz

Figura 74. Disposición de los canales de enfriamiento



Fuente: (Mengues G, 1983)

$$a_{kk} \approx (2,5 \text{ a } 3,5) * D \quad (34)$$

$$s_{kk} \approx (0,8 \text{ a } 1,5) * a_{kk} \quad (35)$$

Donde:

D: Diámetro del canal de enfriamiento

a_{kk} : Distancia entre canales

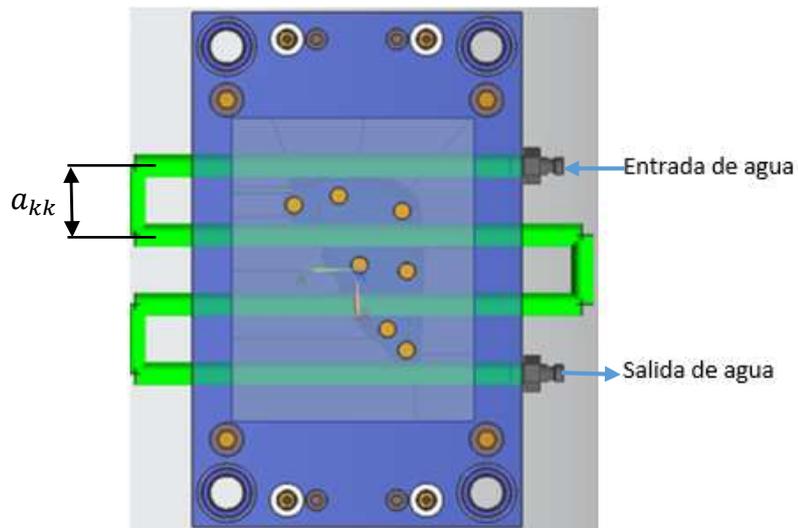
s_{kk} : Distancia entre el canal y la pared de la matriz

$$a_{kk} \approx 3,5 * 9 = 31,5 \text{ mm}$$

$$s_{kk} \approx 1,5 * 31,5 = 47,25 \text{ mm}$$

Es importante considerar que los canales de enfriamiento no deben pasar por los agujeros del conjunto expulsor, como se observa en la figura.

Figura 75. Distribución de los canales de enfriamiento



Fuente: Autores

Tiempo de enfriamiento. – Para determinar el tiempo de enfriamiento se considera que el campo de temperatura es no estacionario con una conductividad térmica unidimensional, donde dependerá de diferentes variables. Estas variables son las siguientes:

- Temperatura de la masa θ_M
- Temperatura del molde θ_W
- Temperatura de desmoldeo θ_E
- Conductividad del material a inyectar α
- Espesor de la pared de las piezas e

Donde:

$$\theta_M = 220^\circ\text{C}$$

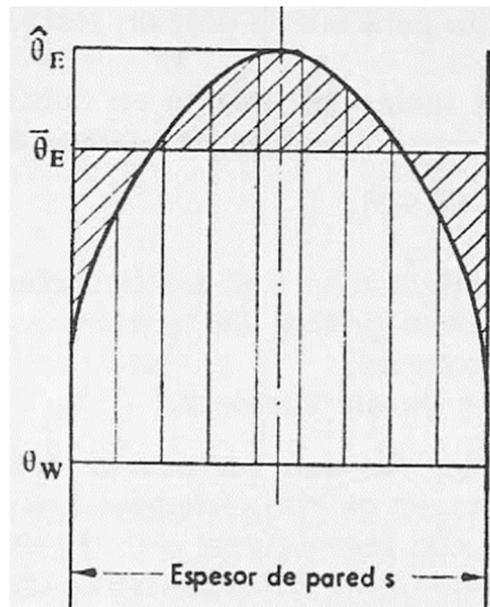
$$\theta_W = 60^\circ\text{C}$$

$$\theta_E = 70^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 7,6 * 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$e = 1.59 \text{ mm}$$

Figura 76. Zonas de temperatura en la pieza inyectada



Fuente: (Mengues G, 1983)

Tabla 17. Difusividad térmica de masas de diferentes polímeros

Material	Difusividad térmica (cm^2/s)
Polietileno de alta densidad(PEAD)	$7,4 * 10^{-4}$
Polietileno de baja densidad(PEBD)	$7,7 * 10^{-4}$
Polipropileno (PP)	$7,6 * 10^{-4}$
Poliestireno (PSAI) (PSUG)	$8,3 * 10^{-4}$
Cloruro de polivinilo (PVC)	$4,8 * 10^{-4}$

Fuente: (Mengues G, 1983)

$$\bar{T} = \frac{\theta_M - \theta_W}{\theta_E - \theta_W} \quad (36)$$

$$\bar{T} = \frac{(220 - 60)^{\circ}\text{C}}{(70 - 60)^{\circ}\text{C}} = 15$$

Para calcular el tiempo de enfriamiento se utiliza el nomograma de la figura 82, en el cual se debe trazar una línea que una el valor de la conductividad térmica del tipo de polímero correspondiente con el espesor de la pieza a inyecta, después se traza una línea con la temperatura obtenida de la ecuación (36), hasta que intersequen las dos líneas trazadas y obtendremos el tiempo de enfriamiento aproximado. Donde evaluar el nomograma nos da un tiempo de enfriamiento de 12 segundos.

También optamos por determinar el tiempo de enfriamiento a través de la siguiente ecuación:

$$t_e = \frac{e^2}{\alpha * \pi^2} * \ln\left(\frac{8}{\pi^2} * \frac{T_f - T_c}{T_e - T_c}\right) \quad (37)$$

Donde:

T_f : Temperatura de fundido = 220 °C

T_e : Temperatura de expulsión = 101 °C

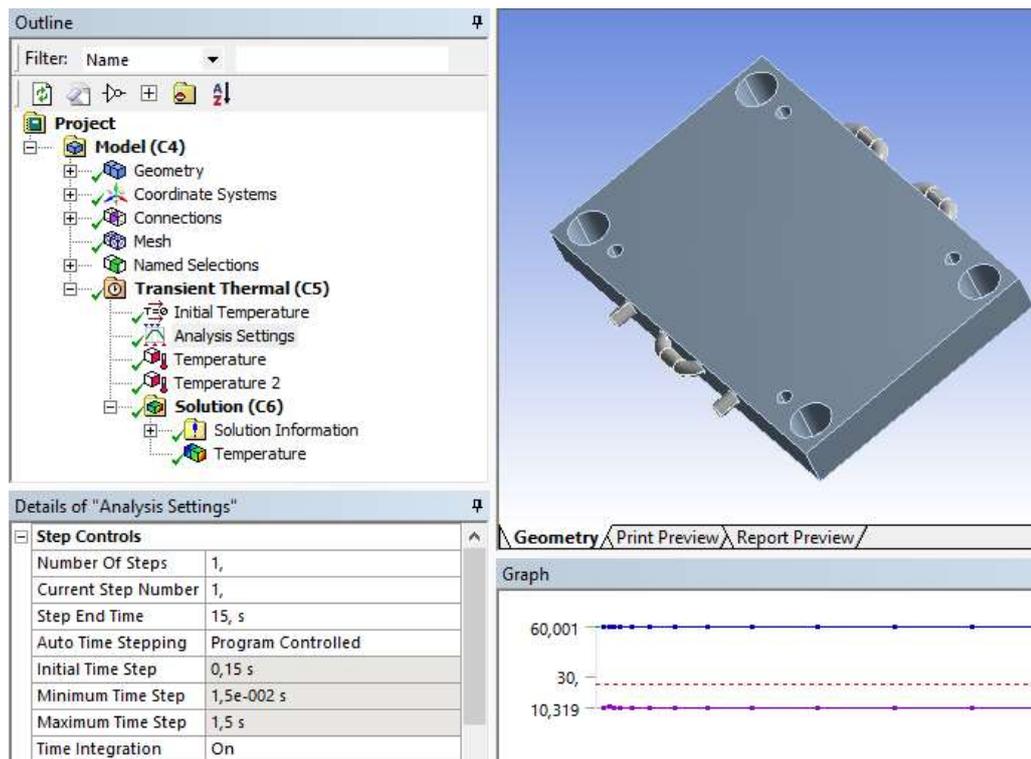
T_c : Temperatura de enfriamiento = 60°C

$$t_e = \frac{(0,00168)^2}{(7,6 \times 10^{-8}) * \pi^2} * \ln\left(\frac{8}{\pi^2} * \frac{220 - 60}{101 - 60}\right)$$

$$t_e = 12,1805 \text{ seg}$$

Para calcular el tiempo de enfriamiento en el software se optó por obviar los acoples que conectan los orificios de refrigeración con las mangueras, ya que estos no tienen mayor incidencia en el análisis del sistema de refrigeración.

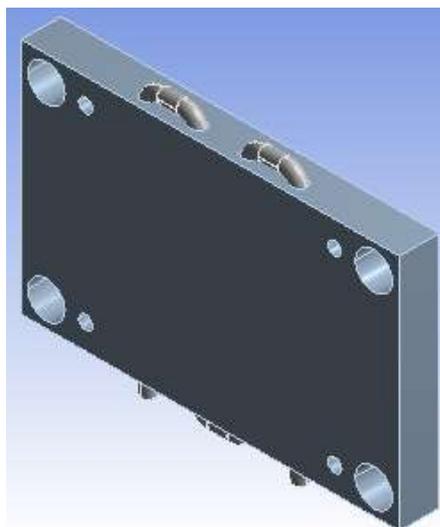
Figura 77. Tiempo de enfriamiento en el núcleo



Fuente: Autores

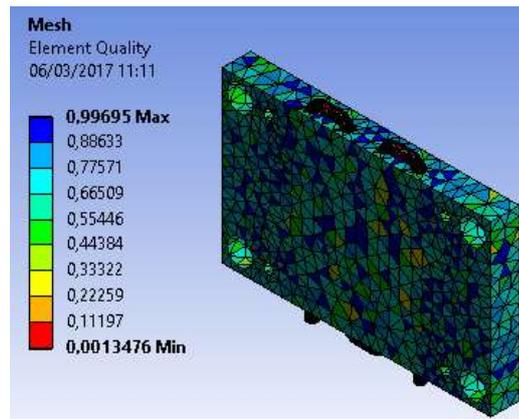
Preproceso:

Figura 78. Modelo geométrico del núcleo



Fuente: Autores

Figura 79. Asignación de mallado

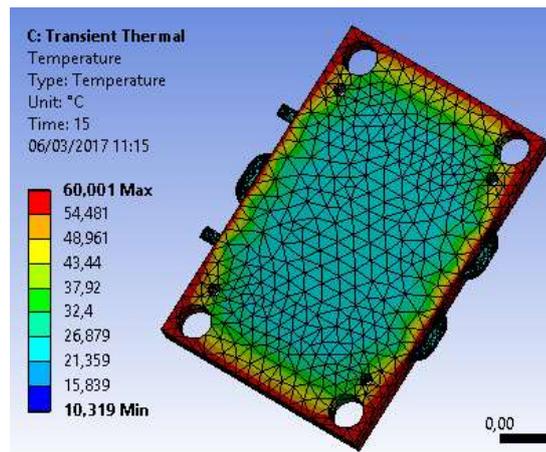


La calidad de mallado es alta debido que se requiere análisis más exactos

Fuente: Autores

Postprocesado:

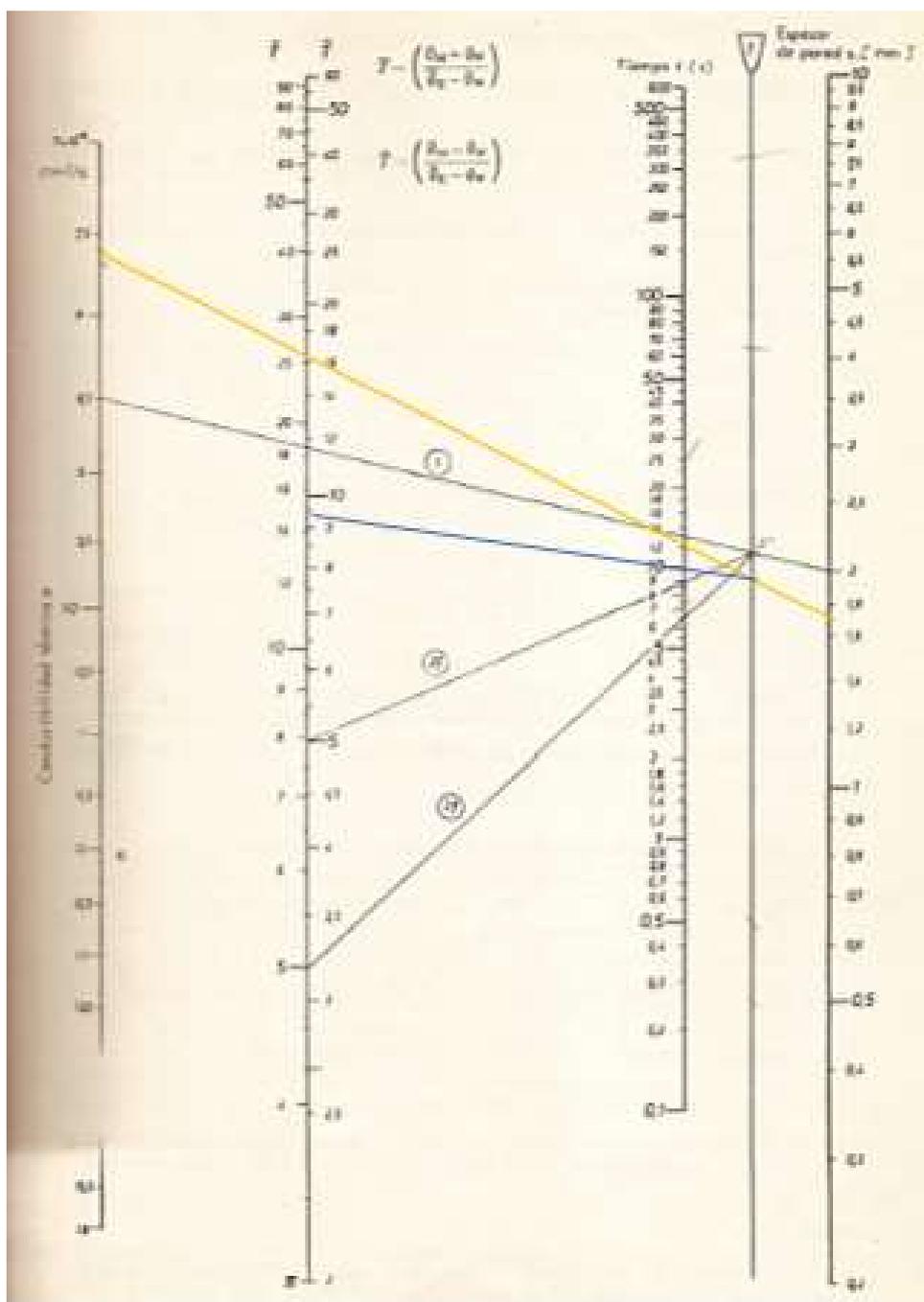
Figura 80. Análisis de disipación de temperatura



Fuente: Autores

Tiempo en vacío. – Este tiempo está comprendido en la apertura y cierre del molde. Este tiempo está comprendido entre 3 a 5 segundos, y este depende del tamaño del molde y el tipo de máquina inyectora utilizada. El tiempo obtenido es de 5 segundos.

Figura 81. Nomograma del tiempo de enfriamiento



Fuente: (Mengues G, 1983)

Tiempo de inyección. – Es el tiempo necesario para que el material llene las cavidades. En este tiempo el molde se llena con el polímero inyectado. El tiempo obtenido es de 0,32 seg.

$$t_i = \frac{m_t}{V_i} \quad (38)$$

Donde:

m_{pieza} : Peso total (gr)

V_i : Capacidad de inyección en (gr) = 55gr

$$m_t = m_p + m_m(39)$$

Donde:

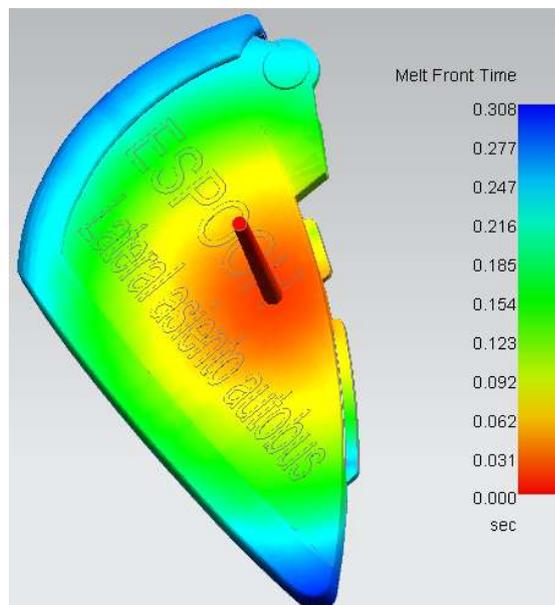
m_p : Peso de la pieza (gr)

m_m : Peso de la mazarota (gr)

$$m_t = 12,8 + 5 = 17,8 \text{ gr}$$

$$t_i = \frac{17,8 \text{ gr} * s}{55 \text{ gr}} = 0,3218 \text{ s}$$

Figura 82. Tiempo de llenado del polímero



Fuente: Autores

Tiempo de aplicación de la presión de sostenimiento. – Es el tiempo en el cual deja de inyectar el polímero a la cavidad en incrementa la presión para sostenerla durante el enfriamiento. Este tiempo permite que el polímero se enfríe en el molde.

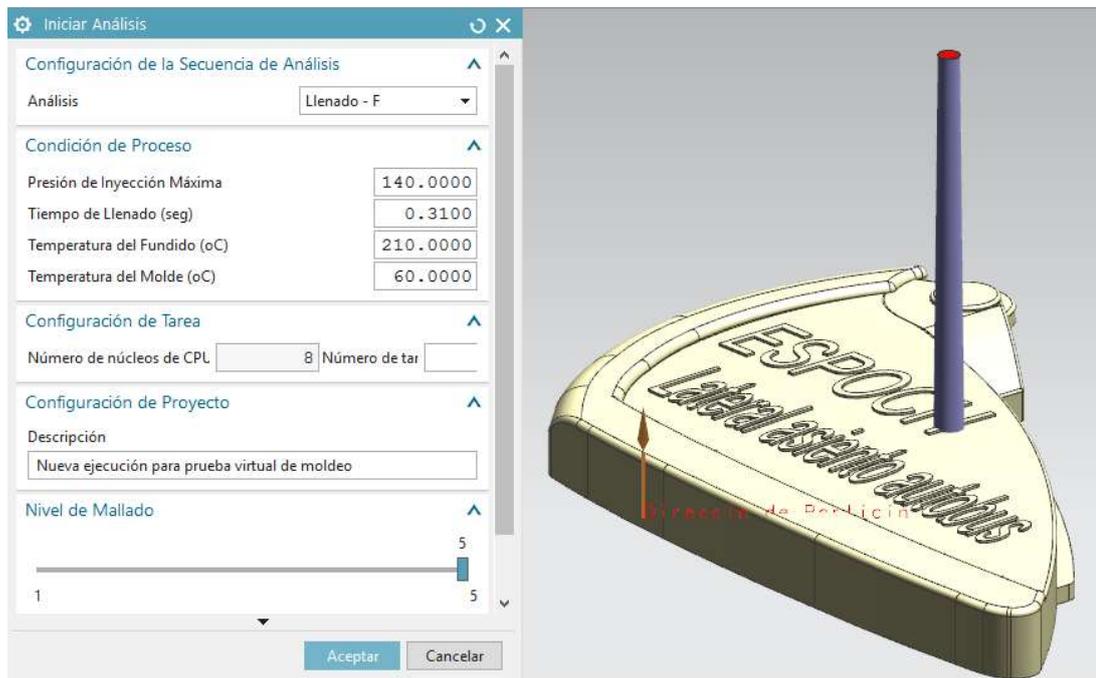
Tiempo total de ciclo. - Se define como la suma de todos los tiempos que se producen durante el ciclo de inyección para obtener una pieza de alta calidad.

EL tiempo total del ciclo depende de cada una de las etapas, donde: el tiempo para cerrar el molde y para el avance de la unidad de inyección es de 2s, tiempo de inyección 0,3218s, tiempo de compactación 4,31s, tiempo de enfriamiento 12s, tiempo de apertura del molde 3s, tiempo de extracción de la pieza 3s.

$$t_{tc} = t_v + t_i + t_e + t_s \quad (40)$$
$$t_{tc} = 9 + 0,3218 + 12 + 4,31 = 25,64 \text{ s} \approx 26 \text{ s}$$

Para realizar el análisis de llenado se tomó en consideración las siguientes variables y un tipo de malla alta para garantizar la confiabilidad de llenado del mismo.

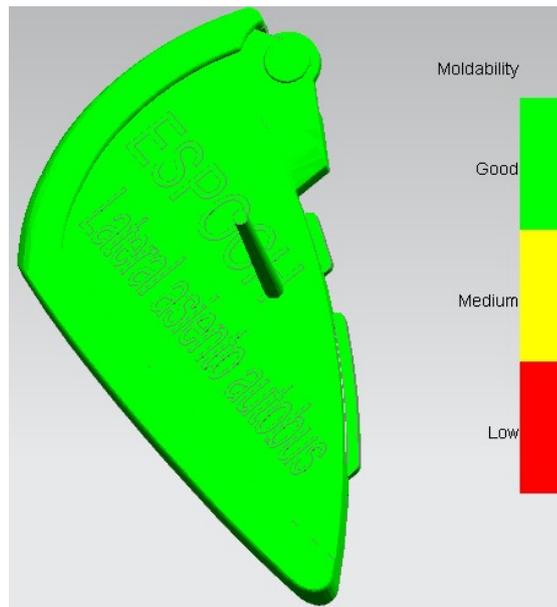
Figura 83. Parámetros de inyección y tipo de malla



Fuente: Autores

Confianza de llenado. - Indica el llenado satisfactorio de la cavidad del molde. El color verde indica alta confianza en el llenado.

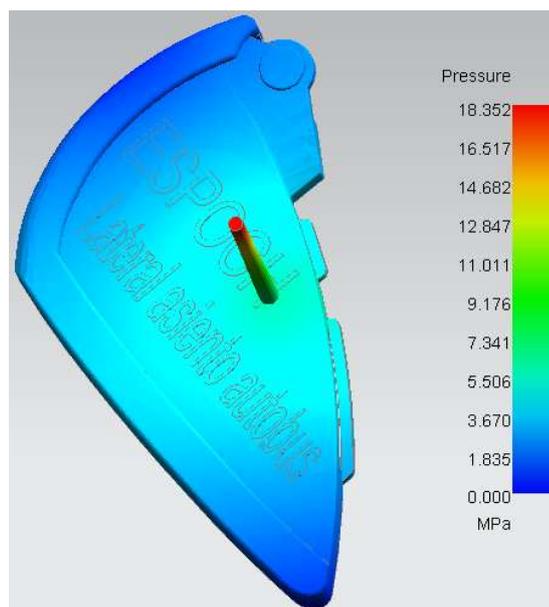
Figura 84. Moldeabilidad de la pieza inyectada



Fuente: Autores

Presión de inyección. – Esta simulación permite diferenciar la presión desde el punto de inyección hasta la última zona de llenado que es la presión máxima de 20 MPa, la cual no sobrepasa la presión máxima proporcionada de la máquina inyectora.

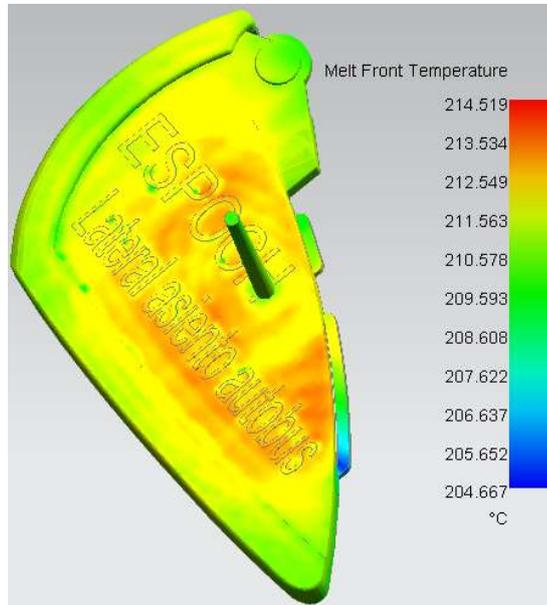
Figura 85. Análisis de presión de inyección



Fuente: Autores

Temperatura de frente al flujo. – En el diseño se puede observar que la temperatura en el lateral permanece casi constante durante la inyección.

Figura 86. Análisis de la temperatura frente al flujo



Fuente: Autores

Atrapamientos de aire. – Puede darse el caso que exista atrapamiento de aire dentro de la cavidad. Estos pueden ocasionar oquedades y defectos en la superficie.

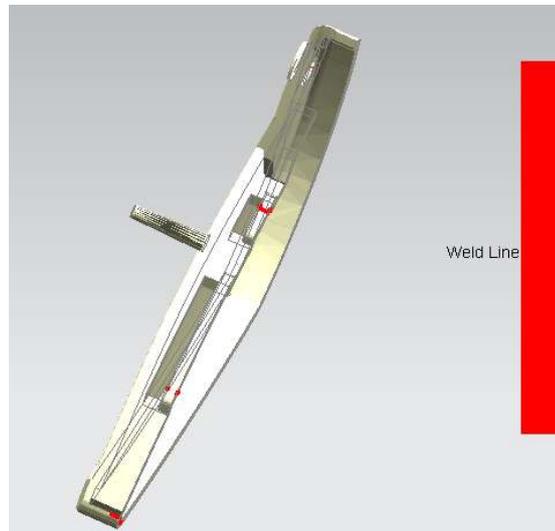
Figura 87. Análisis de aire atrapado



Fuente: Autores

Líneas de soldadura. – Pequeñas líneas aparecen en la zona del lateral, debido que estas zonas son las ultimas en llenarse, ya que son zonas críticas donde puede darse una fragilidad estructural o un defecto superficial

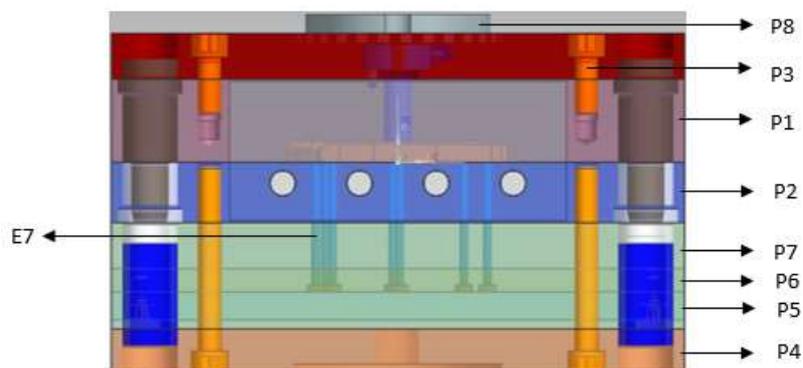
Figura 88. Líneas de soldadura en el lateral



Fuente: Autores

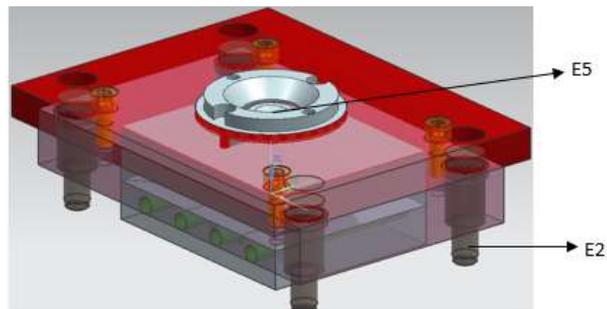
Existen diferentes defectos que se pueden generar en una pieza inyectada, estos dependen del tipo de material, de la máquina inyectora, del diseño de la pieza, entre otros el cual podemos solucionar de diferentes maneras como, por ejemplo: aumentando el tiempo de llenado, aumentando la temperatura de plastificación, entre otras esto se debe realizar con el fin de entregar un producto de calidad al mercado.

Figura 89. Matriz completa del lateral



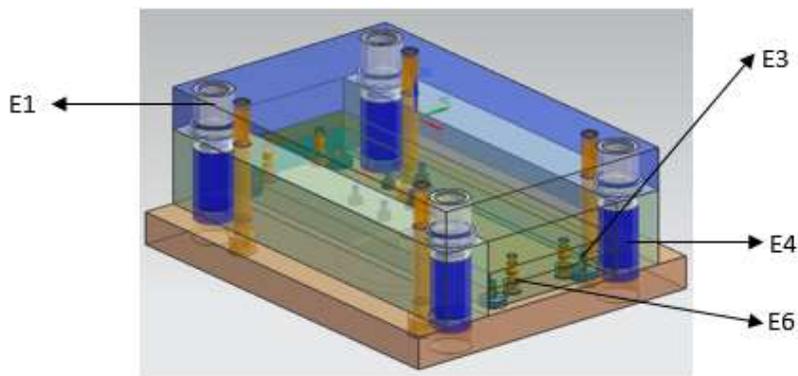
Fuente: Autores

Figura 90. Parte fija de la matriz



Fuente: Autores

Figura 91. Parte móvil de la matriz



Fuente: Autores

Tabla 18. Placas para la construcción de la matriz

PLACAS							
CÓD.	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANT.	DIMENSIONES (mm)			PESO (kg)
P1	Placa cavidad fija	P20	1	246	156	36	17,1
P2	Placa cavidad móvil	P20	1	246	156	26	7,36
P3	Placa sujeción fija	AISI 1045	1	246	156	20	6,89
P4	Placa sujeción móvil	AISI 1045	1	246	156	20	6,89
P5	Placa de expulsión respaldo	AISI 1045	1	246	92	12	2,1
P6	Placa de expulsión principal	AISI 1045	1	246	92	10	1,75
P7	Paralelas	AISI 1045	2	246	31	46	2,36
P8	Anillo centrador	AISI 1045	1	101,1	101,1	12	2,69

Fuente: Autores

Tabla 19. Ejes para la construcción de la matriz

EJES			
CÓD.	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANT
E1	Bujes guías	V155 (BOHLER)	4
E2	Columnas guías	AISI 1045	4
E3	Distanciadores	AISI 1045	4
E4	Bujes centradores	V155 (BOHLER)	4
E5	Boquilla	V155 (BOHLER)	1
E6	Guías de expulsión	V155 (BOHLER)	4
E7	Varillas de expulsión	ACERO PLATA	7

Fuente: Autores

3.1.4 *Proceso de fabricación del molde.* – La fabricación de un molde es relativamente compleja, pues comprende de varias etapas, después de haber realizado el diseño del molde con respecto a las exigencias requeridas del producto a fabricar. En el cual los procesos requeridos son:

- Torneado. – Proceso de mecanizado por arranque de material mediante una herramienta de corte que se aproxima a la pieza mientras esta se encuentra rotando.

El avance es definido como la velocidad de penetración de la herramienta en el material.

$$F \left(\frac{mm}{min} \right) = N(rpm) * F \left(\frac{mm}{rev} \right) \quad (41)$$

La velocidad de corte se define como la velocidad lineal en periferia de la zona deseada a mecanizar. Se determina por el material de la herramienta, el tipo de material entre otras. La velocidad de corte de la punta viene dada por:

$$V_c = \pi * n * \frac{d_w + d_m}{2} (mm/min) \quad (42)$$

Donde:

n : Velocidad del husillo

d_w : Diámetro de trabajo

d_m : Diámetro de mecanizado

El tiempo de mecanizado es el tiempo que se tarda la herramienta en efectuar una pasada y viene dado por:

$$t_m = \frac{L_w}{f * n} (min) \quad (43)$$

Donde:

L_w : Largo de mecanizado de corte

f : Avance

- Fresado. – Proceso de mecanizado de arranque de viruta, mientras la pieza esta fija en la bancada. El avance viene determinado por:

$$f = \frac{V_f}{n} (mm/rev) \quad (44)$$

Donde:

V_f : Velocidad de avance

f : Avance de la pieza

- Rectificado. – Es el proceso en el cual se elimina material por abrasión, obteniendo acabados superficiales de baja rugosidad y tolerancias de gran calidad. Es importante determinar el tiempo que tarda ya que está relacionado directamente con el costo.

$$t_m = \frac{b_w}{2 * f * n} + t_s (min) \quad (45)$$

$$t_p = t_m + t_a (min) \quad (46)$$

Donde:

t_s :Tiempo que transcurre hasta que deja de realizar la chispa

n : Frecuencia de alternación
 f : Avance lateral por carrera
 t_m : Tiempo de proceso
 t_a : Tiempo del cambio de herramienta

- Roscado. - Este proceso consiste en crear una trayectoria helicoidal cilíndrica creando agujeros o ejes por medio del uso de brocas. Le velocidad viene dado por:

$$V = \frac{\pi * D * n}{1000} (m/min) \quad (47)$$

Donde:

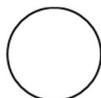
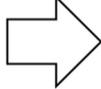
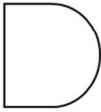
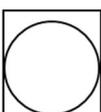
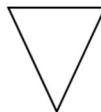
D: Diámetro (mm)
 n : Velocidad de giro (rpm)
V: Velocidad de corte (m/min)

El tiempo de mecanizado será:

$$t_m = \frac{L_w}{f * n} (\text{min}) \quad (48)$$

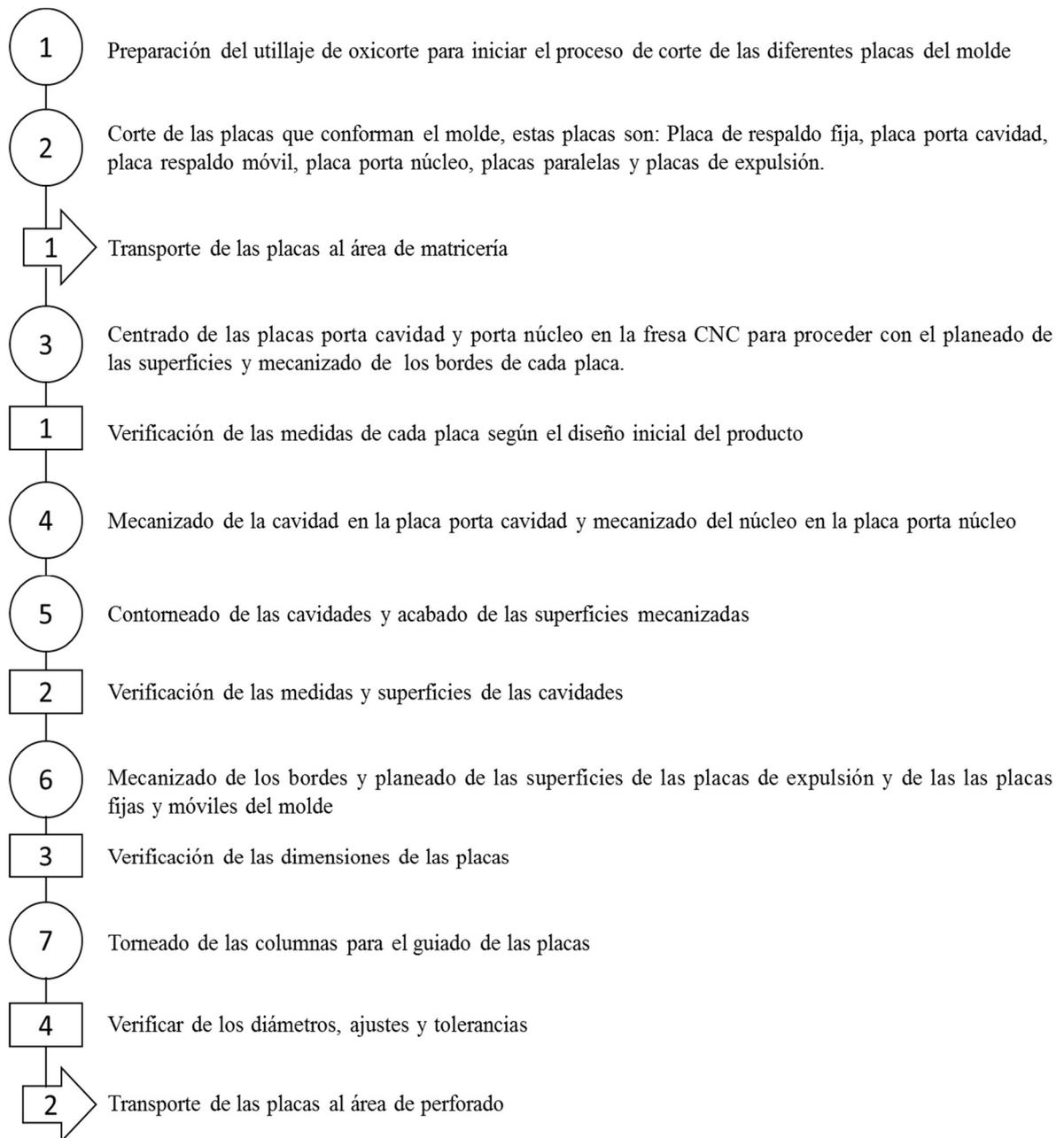
Para poder realizar este tipo de operaciones se debe considerar procedimientos a seguir como es el flujograma del proceso de construcción según la norma ASME. Para describir de una manera más detallada y comprensible el proceso de construcción de las distintas placas que conforman el molde, se realizó un flujograma con todos los pasos y procesos de mecanizado, transportación y verificación de medidas tal como indica la norma antes mencionada. Para realizar todo el proceso de mecanizado del molde se debe regir a un concepto ya que este permite ganar tiempo con mejores estrategias de mecanizado, el cual genera mayores ganancias.

Figura 92. Simbología de procesos según Norma SAE

	Operación: indica las fases del proceso
	Inspección: Verificación de calidad y/o cantidad
	Desplazamiento o transporte: Movimiento de empleados, material Y equipo de un lugar a otro
	Depósito provisional o espera: Indica demora en el desarrollo de los hechos
	Almacenamiento permanente: Indica deposito de un documento o información dentro de un archivo u objeto cualquiera en un almacén
	Origen de una forma o documento: Indica el hecho de elaborar una forma o producir un informe
	Decisión o autorización de un documento: Representa el acto de tomar una decisión o bien el momento de efectuar una autorización
	Entrevistas: indica el desarrollo de una entrevista entre dos o mas personas
	Destrucción de documento: Indica el hecho de destruir un documento o parte de él, o bien la existencia de un archivo muerto

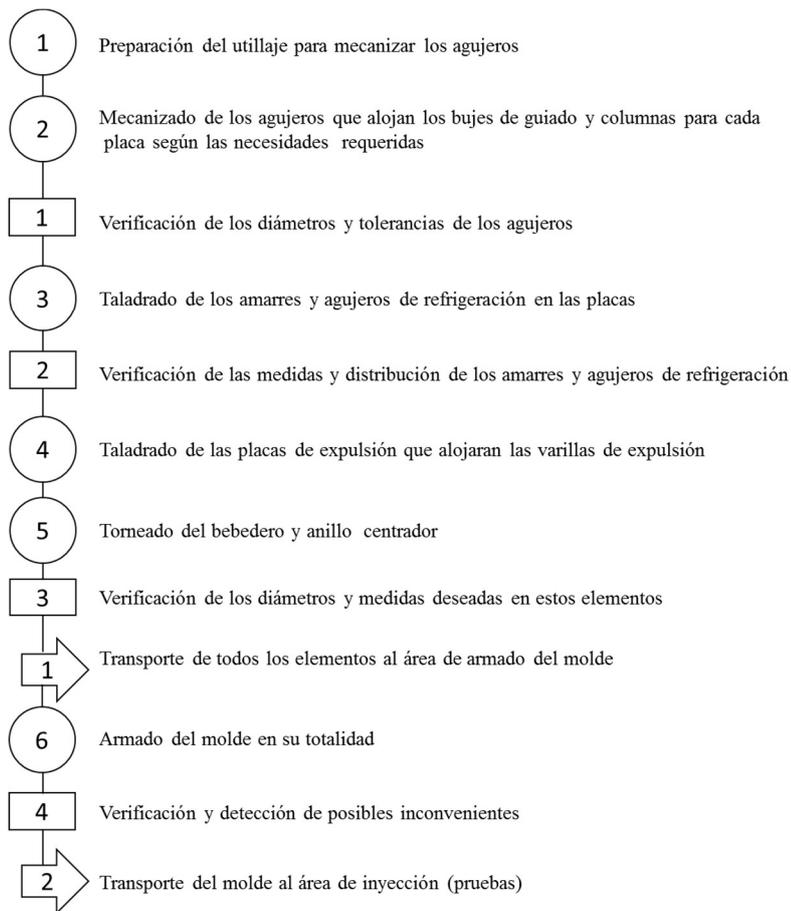
Fuente: Norma ASME

Figura 93. Flujograma de mecanizado de las placas



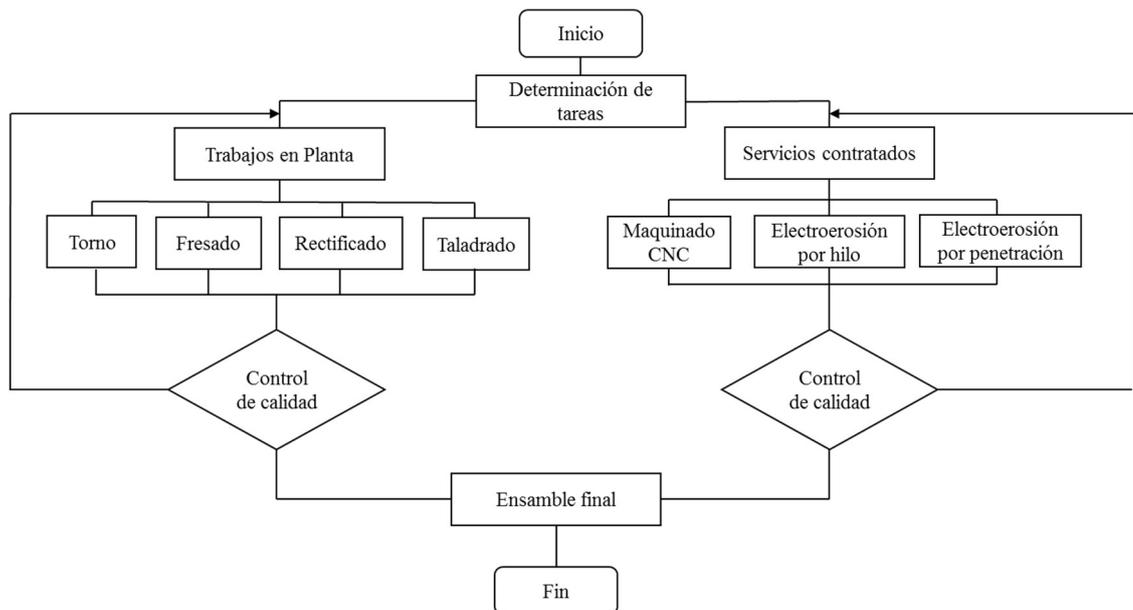
Fuente: Autores

Figura 94. Flujograma de mecanizados finales



Fuente: Autores

Figura 95. Procesos derivados del maquinado de las piezas



Fuente: Autores

- Placa respaldo fija. – Esta placa va unida a la placa porta cavidad, la placa de respaldo fija es la encargada de dar soporte a todo el conjunto fijo del molde.
- Placa porta cavidad. - Esta placa alberga principalmente la cavidad en donde ingresara el polímero para poder ser moldeado. Para iniciar el mecanizado de la placa, primero se cuadra sus bordes, para dejarlos en forma rectangular con las medidas requeridas según el diseño virtual del molde. Posterior a esto se procede a planear la placa para rectificarla y lograr una superficie plana y uniforme con un cierre perfecto.

Figura 96. Escuadrado de las placas



Fuente: Autores

Figura 97. Planeado de las superficies de la cavidad.



Fuente: Autores

Figura 98. Mecanizado de la cavidad.



Fuente: Autores

- Placa porta núcleo. - Esta placa es la encargada de alojar el núcleo del elemento a moldear. El procedimiento a realizarse es el mismo realizado anteriormente para la placa porta cavidad, el cual consiste en realizar un escuadrado y planeado de las diferentes partes de la placa.

Figura 99. Planeado de placa móvil



Fuente: Autores

Figura 100. Mecanizado del núcleo



Fuente: Autores

- Placas paralelas. -En todas las partes constitutivas del molde siempre es necesario realizar un escuadrado y planeado de los bordes y superficies de los elementos. En particular realizamos los mismos trabajos de mecanizado para las placas paralelas.

Figura 101. Mecanizado de los bordes y planeado de las placas paralelas.



Fuente: Autores.

- Placa expulsora. - Las placas expulsoras recibieron también mecanizados de planeado de sus superficies, hasta llegar a las medidas deseadas obtenidas en el diseño digital inicial.

Figura 102. Mecanizado de bordes de las placas de expulsión.



Fuente: Autores.

Figura 103. Planeado de las superficies.



Fuente: Autores.

Finalmente se mecanizan las perforaciones para el sistema de guiado de las placas, refrigeración y orificio donde se alojará el bebedero y anillo centrador.

Figura 104. Mecanizado de las perforaciones para el guiado



Fuente: Autores.

Figura 105. Mecanizado de perforaciones que alojan al bebedero.



Fuente: Autores.

Figura 106. Perforaciones del sistema de refrigeración



Fuente: Autores

3.1.5 *Montaje de la matriz*

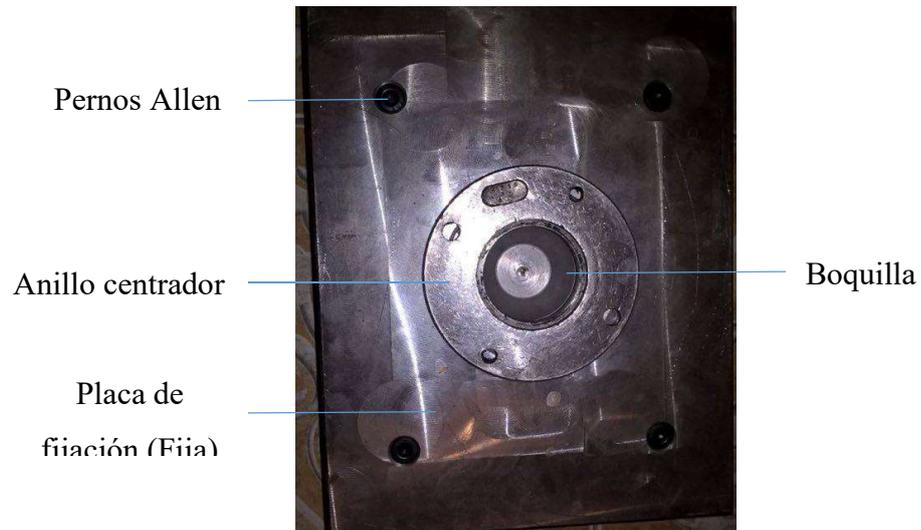
Para ensamblar todos los componentes de la matriz primero se colocan los diferentes elementos en la parte móvil de la placa, en esta placa se pueden distinguir diferentes partes tales como: placas paralelas, placa de sujeción móvil, pernos de sujeción, resortes etc. Todos estos elementos forman el conjunto móvil del molde, el mismo que aloja la mayor parte de elementos y por lo mismo es el más robusto y fuerte de todo el molde. Se le llama conjunto móvil porque todo este conjunto va a estar asegurado a la placa móvil de la inyectora, por lo cual tendrá movimiento libre durante el cierre y apertura de la máquina de inyección. Así mismo también se procede al ensamble de la parte fija del molde que consta de diferentes partes, tales como: Placa porta cavidad, placa de fijación fija, anillo centrador y boquilla de inyección. Este conjunto fijo es el encargado de recibir directamente al cañón de la inyectora y posteriormente el plástico fundido.

Figura 107. Ensamble de la parte fija del molde.



Fuente: Autores

Figura 108. Ensamble de elementos adicionales.



Fuente: Autores

Como parte final se colocan los acoples de refrigeración en la placa porta núcleo y posteriormente se realizará el ensamblaje final de todo el conjunto como veremos a continuación.

Figura 109. Montaje total de la matriz



Fuente: Autores

3.1.6 Pruebas y análisis de resultados

Para comprobar el funcionamiento del molde de inyección es necesario realizar pruebas que determinen el estado óptimo y funcionalidad de la matriz del molde. Las pruebas deben ir encaminadas a verificar el funcionamiento desde el instante del montaje del molde, hasta las pruebas de funcionamiento durante el proceso de inyección., es por esto que las pruebas tendrán los siguientes aspectos relevantes a tomar en cuenta:

- Montaje del molde de inyección en la máquina inyectora.
- Pruebas de funcionamiento en vacío.
- Pruebas de inyección durante el proceso de inyección de la máquina.

Montaje del molde de inyección en la máquina inyectora. - El montaje del molde en la máquina inyectora representa una de las partes más importantes dentro de todo el proceso. Es aquí en esta etapa del montaje en donde se asegura las diferentes placas de sujeción del molde en las placas fijas y móviles de la máquina de inyección.

Como primera parte procedemos a la fijación de todo el conjunto que contiene el núcleo del lateral del asiento de autobús hacia la placa móvil de la máquina de inyección. Para lograr un correcto agarre y fijación de las placas se usan bridas de sujeción, las cuales ayudan a mantener la posición requerida del molde.

Figura 110. Montaje del conjunto móvil.



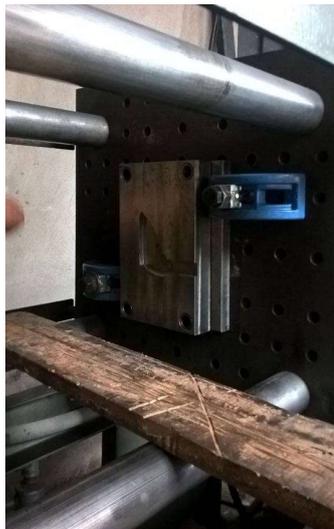
Fuente: Autores.

Figura 111. Sujeción del conjunto móvil a la placa de la inyectora.



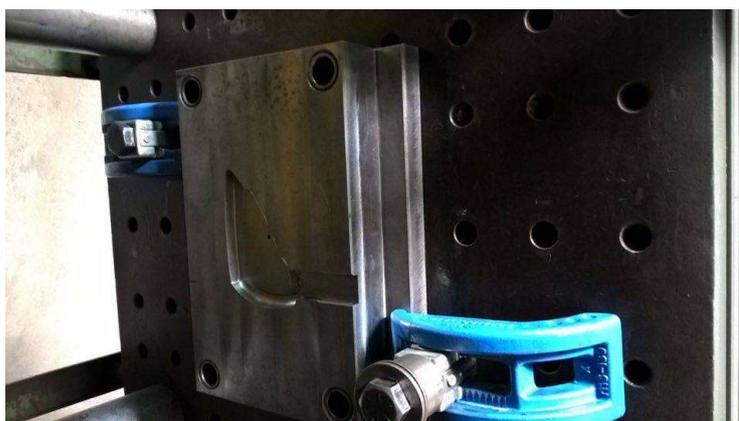
Fuente: Autores.

Figura 112. Montaje del conjunto fijo del molde a la placa de la inyectora.



Fuente: Autores.

Figura 113. Sujecion de la placa fija.



Fuente: Autores.

Prueba de funcionamiento en vacío. - Una vez terminado el proceso de sujeción de las placas del molde en los platos de la máquina de inyección, es importante verificar el guiado de las mismas. Para esto se procede a realizar movimientos leves.

Tabla 20. Resumen de actividades en el montaje

Nº	Actividad	Instrumentos	Personal a cargo	Lugar	Observaciones
1	Verificar los ajustes de las diferentes partes del molde y correcto engrasado de los elementos.	Juego de llaves Allen	Asistente de matricería	Taller de inyección	Se realizó los ajustes finales sin registrar ninguna novedad en esta instancia
2	Colocar el molde totalmente cerrado en la placa fija de la máquina de inyección.	Manualmente	Asistente de matricería	Taller de inyección	El molde se mantuvo cerrado con el fin de mantener el guiado de las columnas
3	Asegurar el molde en la placa fija de la máquina inyectora mediante bridas de agarre.	Manualmente	Asistente de matricería	Taller de inyección	En esta etapa se optó por utilizar bridas de agarre especiales que den una mejor sujeción
4	Realizar un desplazamiento manual de la placa móvil de la	Manualmente	Asistente de matricería	Taller de inyección	El desplazamiento de la placa móvil debe ser lenta y manual para

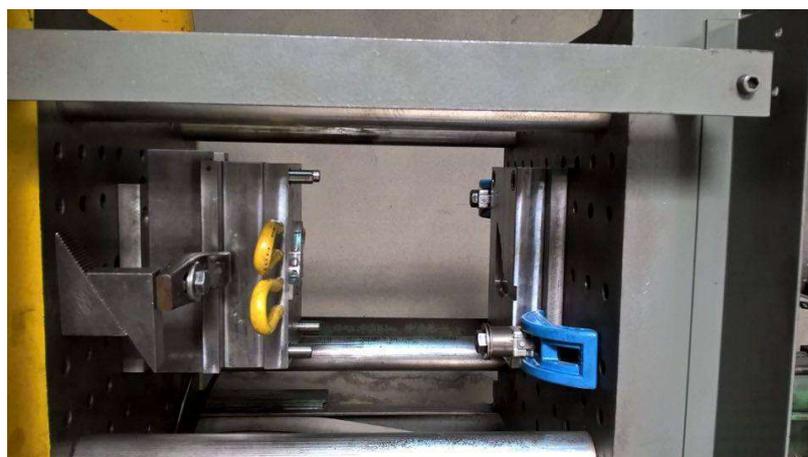
	máquina de inyección hasta llegar a presionar el molde completamente entre las placas.				evitar posibles impactos fuertes
5	Mientras las placas del molde se encuentran en contacto con las placas de la máquina inyectora se procede con el ajuste del conjunto móvil del molde.	Manualmente	Asistente de matricería	Taller de inyección	En esta instancia se procede a asegurar el molde con bridas de sujeción en la parte móvil. Este proceso ayuda a mantener el guiado del elemento

Fuente: Autores

- Prueba de funcionamiento en vacío. - Una vez terminado el proceso de sujeción de las placas del molde en los platos de la máquina de inyección, es importante verificar el guiado de las mismas. Para esto se procede a controlar manualmente la máquina de inyección y realizamos movimientos de cierre y apertura leves, con el fin de evitar posibles daños a las columnas guías y bujes.

Una vez terminado el centrado de las placas se procede a realizar un ajuste final de las bridas de sujeción para asegurar todo el conjunto móvil y fijo. A continuación, se procede a calibrar la máquina de inyección con los parámetros de calculados anteriormente.

Figura 114. Apertura del molde



Fuente: Autores

Figura 115. Matriz cerrada



Fuente: Autores

Tabla 21. Resumen de actividades

Nº	Actividad	Instrumentos	Personal a cargo	Lugar	Observaciones
1	Verificar el guiado de las columnas dentro de los bujes	Manualmente	Asistente de matricería	Taller de inyección	El guiado se mantuvo en todo el sistema
2	Comprobar el correcto cierre del conjunto móvil y fijo que conforman el molde de inyección	Visualmente	Asistente de matricería	Taller de inyección	No se detectaron interferencias que puedan afectar el cierre del molde
3	Introducir los parámetros de inyección previamente calculados y verificados mediante análisis MEF	Manualmente	Asistente de matricería	Taller de inyección	Los parámetros a introducir fueron los previamente calculados mediante análisis computacional

Fuente: Autores

- Pruebas de inyección durante el proceso de trabajo de la máquina. -Para realizar las pruebas de inyección es necesario ingresar los parámetros de inyección previamente

calculados, algunos de los parámetros más importantes son: tiempo de ciclo, presiones y temperaturas en los distintos tramos del barril de inyección.

Figura 116. Ingreso de parámetros de inyección en la máquina



Fuente: Autores

Figura 117. Guiado del cañón de inyección hacia la entrada del bebedero



Fuente: Autores

Figura 118. Conformado del polipropileno dentro de las cavidades



Fuente: Autores

Tabla 22. Actividades en el ensayo de pruebas

N°	Actividad	Instrumentos	Personal a cargo	Lugar	Observaciones
1	Guiar el cañón de inyección hacia la entrada del bebedero para iniciar el proceso de inyección.	Manualmente	Asistente de matricería	Taller de inyección	Para realizar esta actividad primero se cambió la boquilla de inyección por una más adecuada
2	Inyectar el polímero dentro de las cavidades para verificar la presión de inyección y presión de cierre de la máquina	Automático	Asistente de matricería	Taller de inyección	Se verifico las presiones de cierre y de inyección calculadas analíticamente anteriormente
3	Comprobar el llenado de las cavidades	Automático	Asistente de matricería	Taller de inyección	Se verifico las presiones de mantenimiento posibles defectos en el producto final
4	Comprobar el funcionamiento del conjunto de expulsión.	Automático	Asistente de matricería	Taller de inyección	El conjunto de expulsión funcionó de manera correcta de acuerdo con establecido en cálculos

Fuente: Autores

- Ensayo 1: Pruebas de funcionamiento en la inyección.

En el primer ensayo se registró resultados aproximados a los deseados, ya que se produjo un cierre satisfactorio del molde y tiempos de ciclo de inyección aproximados a los calculados, dando como problema el atrapamiento de gases. Así mismo en este ensayo se pudo evidenciar grietas sobre la superficie del elemento moldeado, estas grietas se produjeron debido a que en las cavidades todavía quedaban restos de marcas procedentes del trabajo de mecanizado.

Figura 119. Lateral de asiento de autobús primera prueba



Fuente: Autores

Tabla 23. Resultados prueba 1

Prueba numero 1					
	Dimensiones de diseño	Dimensiones reales	Defectos superficiales	Resultado	Observaciones
Longitud	95,87	95,82	<ul style="list-style-type: none"> Superficie rugosa con ralladuras Rebabas en un punto específico 	No cumple	La superficie no es uniforme debido a falta de pulido en las superficies de las cavidades
Altura	65,90	65,83			
Profundidad	9,01	8,95			

Fuente: Autores

- Ensayo 2: Pruebas de funcionamiento en la inyección.

En la segunda prueba se procede a ajustar los parámetros de inyección a los calculados, y se verifica el correcto conformado del elemento. Para realizar esta prueba también se realizó un pulido más fino y detallado en todas las superficies del elemento, logrando así una superficie más uniforme y sin imperfecciones visuales. Finalmente, en esta prueba logramos obtener un producto final que cumple con las diferentes características propuestas en el diseño virtual.

Figura 120. Producto final



Fuente: Autores

Tabla 24. Resultados prueba 2

Prueba numero 2					
	Dimensiones diseño (mm)	Dimensiones reales (mm)	Defectos superficiales	Resultado	Observaciones
Longitud	95,87	95,82	Ninguno	Conforme	Los defectos superficiales desaparecieron y las rebabas se redujeron en un alto porcentaje al variar en un bajo rango la presión de cierre del molde
Altura	65,90	65,83			
Profundidad	9,01	8,95			

Fuente: Autores

- Análisis de Resultados

Una vez terminadas las pruebas de inyección procedemos a realizar un análisis y verificación de medidas y aspecto del producto final.

- Verificación de las dimensiones del producto.

Para este tipo de verificación tomaremos las medidas finales de los productos inyectados para proceder a comparar con las medidas iniciales del diseño original.

Figura 121. Medición de la longitud del lateral de asiento de autobús



Fuente: Autores

Figura 122. Medición de la altura del lateral de asiento de autobús



Fuente: Autores

Figura 123. Medición de la profundidad del lateral de asiento de autobús



Fuente: Autores

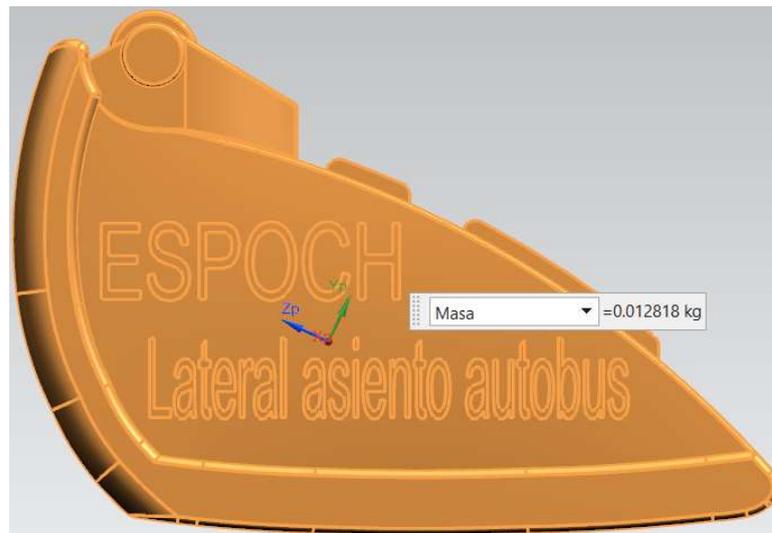
En la tabla siguiente se procede a realizar una comparación de las dimensiones entre el diseño inicial y el producto final producido después de la inyección.

Tabla 25. Verificación de las dimensiones

Variables a medir	Dimensiones de diseño (mm)	Dimensiones medidas (mm)	Aceptación Si / No
Longitud	95,87	95,82	Si
Altura	65,90	65,83	Si
Profundidad	9,01	8,95	Si

Fuente: Autores

Figura 124. Producto final teórico



Fuente: Autores

Tabla 26. Comparación teórica-experimental en el proceso de inyección

Material: Polipropileno				
VARIABLES EN EL PROCESO DE INYECCIÓN	VARIABLES TEÓRICAS	VARIABLES EXPERIMENTALES	PORCENTAJE DE ERROR	RESULTADO
Cantidad de piezas inyectadas	1	1	0	<p>Se puede ver que las variables calculadas tanto teóricamente como mediante el uso del software NX 11 tienen una gran aproximación a las variables reales utilizadas, por lo que los resultados que muestra el programa son confiables en un proceso de inyección real de cualquier tipo de elemento.</p> <p>Para iniciar el proceso de inyección real se utilizaron las variables calculadas, las cuales sirvieron de gran aproximación para empezar el proceso de inyección, con esto se evitó el desperdicio de tiempo, material, horas máquina y otros bienes que influyen directamente en el costo final del producto.</p>
Peso inyectado (gr)	12.802	12	3.24	
Prestión de inyección (MPa)	18.352	18	1.91	
Fuerza de cierre (Ton)	26	24	8.33	
Temperatura de inyección (°C)	218.896	220	1	
Tiempo total del ciclo (s)	25.64	28	8.42	
Tiempo de llenado (s)	0.308	0.35	9.5	

Fuente: Autores

Figura 125. Producto final experimental



Fuente: Autores

CAPÍTULO IV

4 COSTOS

En el desarrollo del presente proyecto, se toma en cuenta los costos de la materia prima, mano de obra entre otros. Especificando que los materiales utilizados para la construcción del mismo.

4.1 Costos directos

4.1.1 *Costos materia prima.* - En las siguientes tablas se presentan los costos de la materia prima en el cual se especifican las dimensiones y el tipo de acero para cada elemento necesario para la construcción del molde.

Se detalla en la tabla 27 los costos de las placas y ejes utilizados en la construcción del molde.

Tabla 27. Costos de placa

Denominación	Material	cantidad	Peso (kg)	Costo \$/(Kg)	Total (USD)
Placa cavidad fija	P20	1	17,1	14	239,4
Placa cavidad móvil	P20	1	7,36	14	103,04
Placa sujeción fija	AISI 1045	1	6,89	6	41,34
Placa sujeción móvil	AISI 1045	1	6,89	6	41,34
Placa de expulsión respaldo	AISI 1045	1	2,1	6	12,6
Placa de expulsión principal	AISI 1045	1	1,75	6	10,5
Placa paralelas	AISI 1045	2	2,36	6	14,16
Anillo centrador	AISI 1045	1	2,69	6	16,14
				Total	478,52

Costos de ejes

Denominación	Material	CANT	Peso (Kg)	Costo \$/Kg	Total (USD)
Bujes guías	V155 (BOHLER)	4	3,3	6,5	21,45
Columnas guías	AISI 1045	4	3,3	6	19,8
Distanciadores	AISI 1045	4	3,46	6	20,76
Bujes centradores	V155 (BOHLER)	4	3,3	6,5	21,45
Boquilla	V155 (BOHLER)	1	0,83	6,5	5,395
Guías de expulsión	V155 (BOHLER)	4	1,25	6,5	8,125
Varillas de expulsión	ACERO PLATA	7	0,04876	2,86	0,13945
Total					97,1195

Fuente: Autores

En la tabla 28, como se puede observar el detalle total del costo de la materia prima tanto de las placas como de los ejes, ya que estos son los materiales más importantes al instante de la construcción de la matriz.

Tabla 28. Costos placas y ejes de materia prima

	Subtotal (USD)
Costos de placas	478,52
Costos de ejes	97,1195
Total	575,6395

Fuente: Autores

Costos de elementos normalizados. – La Tabla 29. muestra los costos de los pernos Allen que son elementos normalizados y de libre comercio, necesarios para el amarre de la matriz.

Tabla 29. Costos de elementos normalizados

Elementos normalizados	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Perno allen M6x12	4	0,3	1,2
Perno allen M10x25	4	0,5	2
Perno allen M10x80	4	1	4
Perno allen M8x25	4	0,38	1,52
		Total	8,72

Fuente: Autores

4.1.2 *Costos maquinaria.* - Para los costos de mano de obra se debe tener en cuenta las horas hombre máquina empleados en la fabricación de los elementos y los diferentes procesos utilizados que se muestran a continuación

Tabla 30. Costos máquina

Máquinas/ Herramientas	Costo (hora)	Horas máquina	Costo (USD)
Fresadora CNC	35	30	1050
Fresadora	14	15	210
Torno	16	10	160
Rectificadora	12	4	48
Oxicorte	7	4	28
		TOTAL	1496

Fuente: Autores

4.1.3 Costos directos totales

Tabla 31. Costos directos totales

Costos por	Valor (USD)
Materia prima	584,36
Mano de obra	1496
TOTAL	2080,36

Fuente: Autores

4.2 Costos indirectos

Tabla 32. Costos indirectos

Detalles	Valor (USD)
Ingenieriles (Diseño y supervisión)	150
Imprevistos	250
TOTAL	450

Fuente: Autores

4.3 Costo total

El costo total equivale a la suma de los costos directos más los costos indirectos, sumados estos dos valores se tiene el valor del costo total como se indica en la tabla 33, como se puede observar a continuación:

Tabla 33. Costo total

Costos	Total (USD)
Directos	2080,36
Indirectos	450
	2530,36

Fuente: Autores

4.4 Costo producto

Tabla 34. Costo materia prima polímero

Materia prima	Costo (USD/Kg)	Requerimiento para el producto (gr)	Subtotal (USD)
Polipropileno / PP Virgen densidad de 0,9 gr/cm ³ Contracción máxima de 1.6%	5	12	0,06
Retardante de llama (Reogard 2000 permite cumplir con la norma UL 94 V-0 en polipropileno)	12,5	0,5	0,00625
		Total	0,06625

Fuente: Autores

Tabla 35. Costo producción producto

	Costo USD/h	Tiempo requerido para el producto (s)	Subtotal (USD)
Máquina de inyección (incluyen servicios básicos de la máquina)	50	28	0,39
Mano de obra (técnico capacitado y montaje)	10	28	0,08
		Total	0,47

Fuente: Autores

Tabla 36. Costo total producto

Denominación	Total
Mano de obra/Máquina	0,06625
Materia prima	0,47
Costo por unidad	0,54

Fuente: Autores

El costo del producto es de 0,54 ctvs. debido que es necesario el uso de retardante de llamas, ya que esta es una autoparte y se requiere con las mejores características para una seguridad del autobús y personas.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran de forma detallada el diseño y construcción de un molde de inyección, de una manera metódica y planificada, esto se obtiene al aplicar una secuencia de trabajo según las normas DIN E 16 750 y el uso de softwares. Estos ayudan a predecir posibles problemas y defectos de forma anticipada en el diseño y construcción del molde y solucionarlos de manera inmediata ahorrando dinero, tiempo y demás factores que influyen directamente en el costo final del producto, sin observarse los problemas comunes del método prueba y error.

Para cualquier diseño de un molde de inyección es indispensable adaptarse al producto que debe moldearse, el material y la máquina de inyección a utilizar, ya que esto influye directamente en la calidad de las piezas, dimensiones y defectos superficiales.

La información normativa de moldes es limitada, algunas de las referencias son empíricas o basadas en métodos de prueba y error, por lo que se hace necesario el uso de softwares especializados en el diseño y fabricación de moldes, los cuales tienen en su base de datos información estandarizada de diferentes proveedores de moldes normalizados.

Finalizado el diseño, simulación y construcción del molde de inyección a escala se llegó a obtener los parámetros más importantes que intervienen en el proceso de inyección de plásticos, permitiéndonos así la comparación entre los resultados teóricos y experimentales. Los resultados obtenidos muestran la alta confiabilidad que nos proporciona el análisis y simulación del proceso de inyección con respecto a los datos experimentales.

Como resultado del correcto uso de los parámetros de inyección se obtuvo un producto de alta calidad obteniéndose así una buena apariencia física sin defectos superficiales y con un dimensionamiento adecuado de acuerdo al diseño establecido.

RECOMENDACIONES

Diseñar elementos con materiales existentes en el mercado, así también tomar en cuenta las limitaciones en herramientas y maquinaria ya que esto ahorra tiempo y recursos al momento de fabricarlos y producirlos.

Tomar en cuenta las características del material polimérico a trabajar, debido que las temperaturas y presiones varían considerablemente con el tipo de material.

Se recomienda realizar una simulación de transferencia de calor tomando en cuenta todas las variables y procesos que inciden en la inyección de polímeros, para esto se hace necesario la utilización de una herramienta computacional de alta gama (Workstation), la cual entregara resultados más reales.

Se recomienda realizar una revisión periódica de los expulsores y contra expulsores, por ser elementos susceptibles a romperse.

Para mantenerla vida útil de un molde mantenga siempre lubricadas las partes deslizantes, así como también proteja las superficies de la corrosión.

BIBLIOGRAFÍA

ACCESS CADD. *Manufactura asistida por computador*. [En línea] España. [Consulta: 22 de Diciembre de 2016]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/herovalrey/cadcamcaecappaqa>.

AREIZAGA Javier, & CORTAZAR Milagros. *Polímeros*. España: Síntesis, 2002, pp. 158-164.

APAZA ARTETA Elizabeth. Diseño de un molde con postizos intercambiables para diferentes espesores y entradas de placas [En línea] (tesis)(ingeniería). Universidad Simón Bolívar. Sartenejas. 2007. pp. 12-14-16-22. [Consulta: 12 de Diciembre de 2016]. Disponible en: <http://159.90.80.55/tesis/000141615.pdf>.

ASCAMM. *Temperatura de desmolde* [En línea]. México D.F. [Consulta el: 20 de Noviembre de 2016.] Disponible en: <http://www.ascamm.com>.

BODINI Gianni. *Moldes y máquinas de inyección para la transformación de plásticos*. 2da ed. Italia-Millán : McGRAW-HILL, 1983. pp. 135-155.

BUDYNASS Richard & KEITH Nisbett. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. 8va ed. Mexico-Monterrey : McGRAW-HILL, 2011. pp. 400-435.

DAQULEMA BURBANO Christian Ivan. *Diseño de molde de 4 cavidades para la construcción de rejilla y tapon de 50mm de PVC reutilizando placas normalizadas existentes*. [En línea] (tesis)(ingeniería). Universidad Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil. 2010. pp. 42-44-76-77. [Consulta: 27 de noviembre de 2016]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/10746>.

DUPONT. *Procesos de inyección*. [En línea] España. [Consulta: 13 de Diciembre de 2016.] Disponible en: <http://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/plastics-polymers-and-resins/thermoplastics/documents/Delrin/Delrin%20Molding%20Guide.pdf>.

FISCHER Jerry. *Handbook of molded part shrinkage and warpage*. Estados Unidos: Elsevier Advanced Technology, 2003, pp. 157-166.

Groover, Mikell P. *Fundamentos de la manufactura moderna*. México: McGraw-Hill Interamericana, 2007. pp. 549-581.

GUTIERREZ Daniel & OÑATE Cristian. *Sistema de inyección con colada caliente aplicado en la industria del plástico como herramienta de competitividad*. [En línea] (tesis)(ingeniería). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca (México). 2006.pp. 28-29. [Consulta: 27 de Diciembre de 2016]. Disponible en: <http://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10548/Sistema%20de%20inyeccion%20con%20colada%20caliente.pdf?sequence=1>.

HANS & GASTROW. *Moldes de inyección para plásticos en 100 casos prácticos*. 2da-ed. España-Barcelona: Plasic Comunicación. S. L, 1992. pp. 1-10.

CAMPOS Irving. *Proceso de diseño, fabricación y pruebas de funcionalidad de un molde de inyección para un producto plástico*. [En línea] (tesis) (ingeniería). Universidad Autónoma del Estado de México. Tianguistenco (México). 2014. pp. 33-34. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/30063>.

KALPAKJIAN & SCHIMD S. *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. 5ta-ed. México-Estado de México: Pearson Educación, 2008, pp. 674-778.

LARBURU Nicolas. *Máquinas prouuario técnicas máquinas herramientas*. España-Madrid : S. A. EDICIONES PARANINFO, pp. 212-290.

RICHARDSON Terry & LOKENSGARD Erik. *Industria del plástico*. España: S. A. EDICIONES PARANINFO, 2000. pp.165-230.

LÓPEZ & RAMÍREZ. *Manufactura de un molde de inyección de un plástico para fabricar cabos de paleta de hielo utilizando la tecnología CNC*. España. 2009, pp. 47-48.

MENGUES G & MOHREN G. *Moldes para inyección de plástico*. México: Calypso S. A, pp. 22-120.

GONZALEZ Noelvis. *Metodología para el diseño de placas porta cavidad de molde de inyección de plásticos de una cavidad*. [En línea] (tesis)(ingeniería). Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Cuba-Santa Clara. 2015. pp. 34-90. Disponible en: <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/handle/123456789/6513>.

ROSAS Juan Robledo. *Modelo piloto para inyección de plásticos.* México-Morelia Michoacan. Calypso S. A. 2010. pp. 35-37-40.

ROSATO Dominick. *Injection Molding Handbook.* 3ra-ed. Inglaterra-Londres : Kluwer Academic Publishers, 2000. pp. 118-248.

YÁNEZ Flor María. *Diseño de un sistema contra incendios en base a la normativa NFPA, para la empresa metalúrgica ecuatoriana ADELCA C.A.* [En línea] (tesis)(ingeniería). Escuela Superior Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador-Riobamba, 2013. pp. 13-14-15. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2694/1/85T00253.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A

DATOS TÉCNICOS DEL POLIPROPILENO

FICHA TÉCNICA 600

FIBERCON MICROFIBRA

Fibercon

MICROFIBRA

DESCRIPCIÓN :

FIBERCON MICROFIBRA es una fibra de polipropileno en forma de multifilamentos (fibras sueltas), diseñadas específicamente como refuerzo secundario en el concreto y morteros, cuya finalidad principal es la de reducir los agrietamientos por contracción plástica en el estado fresco y por temperatura en estado endurecido del concreto.

Las fibras FIBERCON MICROFIBRA están elaboradas de polipropileno 100% virgen y tratadas con un dispersante, por lo que su distribución en el concreto es rápida y homogénea, requiriendo de 3 a 5 minutos de mezclado.

BENEFICIOS :

Concreto Plástico :

- Reduce los agrietamientos por contracción plástica
- Reduce la segregación.
- Reduce el agua de sangrado.
- Es un refuerzo tridimensional en comparación con el bidimensional de la malla electrosoldada.

Concreto Endurecido :

- Reduce el agrietamiento por temperatura.
- Reduce la permeabilidad.
- Incrementa la resistencia a la flexión. (siendo substancialmente mayor el modulo de ruptura)
- Incrementa la resistencia a la tensión directa.
- Incrementa la resistencia al corte y a la torsión.
- Incrementa la resistencia al impacto.

Otros :

- Reduce el costo de colocación, comparado con el concreto armado con malla electrosoldada.
- Permite desmoldar con mayor rapidez.
- Fácil de usar, ya que puede agregarse a la mezcla de concreto en cualquier momento, ya sea en la planta dosificadora ó bien en la olla revolvedora al llegar a la obra.
- Se logra una superficie limpia y pulida (libre de "pelusa"); a diferencia de otras fibras que por su forma (fibrilada) no se dispersan tan fácilmente y dejan las superficies completamente "peludas".

INFORMACIÓN TÉCNICA :

- | | |
|----------------------------|------------------------------|
| • Material polipropileno | 100% virgen |
| • Longitud de la fibra | 19 mm. (¾ ") |
| • Denier | 3 |
| • Número de fibras | 90 millones / m ³ |
| • Tipo de fibra | multifilamentos |
| • Gravedad específica | 0.9 |
| • Densidad | 48.5 kg. M ³ |
| • Color | natural |
| • Absorción | cero |
| • Resistencia a la tensión | 5,626 kg. / cm ² |
| • Modulo de elasticidad | 38,690 kg. / cm ² |
| • Punto de ignición | 590° C |
| • Punto de fusión | 160° - 163° C |
| • Conductividad térmica | baja |
| • Conductividad eléctrica | baja |



DIFICONSA, S.A. DE C.V.

ANEXO B

HOJAS TÉCNICAS DE MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE DE INYECCIÓN.

MANUAL DE ACEROS ESPECIALES - 2011

BÖHLER V 945

Tipo de aleación: C 0.45 Si 0.25 Mn 0.65 %

Color de identificación: Blanco
Estado de suministro: Recocido 180 HB

A51 - 1046
 DIN, C45
 No. Mat. 1.1181

PROPIEDADES:

Acero al carbono de alta calidad, de mayores propiedades mecánicas que el acero de transmisión, puede mejorar sus propiedades mecánicas si es bonificado.

EMPLEO:

Para la fabricación de partes de maquinaria sometida a esfuerzos normales, como: árboles de transmisión, ejes, pernos, tuercas, ganchos, pines de sujeción, pasadores, cuñas, chavetas, portamatrios.

TRATAMIENTO TÉRMICO:

Forjado:	1100 - 1200 °C
Recocido:	820 - 750 °C
Temperado normalizado:	840 - 870 °C
Normalizado:	840 °C
Temple:	750 - 840 °C
Tratamiento con agua, aceite (pines, pasadores), aceite	750 - 840 °C
Durezas obtenibles:	54 - 60 HRC
Revenido: ver en el diagrama de bonificación la temperatura requerida	
Atmósfera: en baño de sales	540 °C

PROPIEDADES MECÁNICAS

Estado	Diámetro nominal	Límite de fluencia (N/mm ²)	Resistencia a la tracción (N/mm ²)	Alargamiento (Juntas) (máx. %)	Contracción (máx. %)
Recocido	35 - 100	240	600 - 700	17	30
	100 - 250	230	580 - 700	16	—

DIAGRAMA DE BONIFICACIÓN

1 - Resistencia a la tracción
2 - Límite de fluencia

Temperatura de revenido en °C

ACERO PLATA

Tipo de aleación: C 1.18 Cr 0.70 V 0.10 W 0.55 %

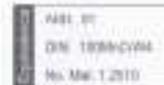
Color de identificación:

Estado de suministro:

Acabado:

Recocido 175 - 210 HB (máx.)

Pulido h8f



PROPIEDADES:

Acero redondo de gran precisión dimensional que se suministra con tolerancia h8 rectificado y pulido. De superficie perfectamente lisa, exenta de todo defecto y descarbonización. Excelente mecanizado.

EMPLEO:

Se utiliza preferentemente para la confección de pequeñas herramientas y de piezas mecanizadas que exigen ante todo una gran precisión dimensional tales como brocas, machos para roscar, eyectores, troqueles, escaradores, avellanadores, cuños, marcadores y en general diversas herramientas para corte y estampado.

PRESENTACIÓN:

	Desde:	Diámetro	2,00	mm
	Hasta:	Diámetro	28,50	mm

BÖHLER V 155

Tipo de aleación: C 0.34 Si 0.30 Mn 0.50 Cr 1.50 Mo 0.20 Ni 1.50 %

Color de identificación: Blanco - verde
Estado de suministro: Bonificado 600 - 1300 N/mm² (240 - 380 HB)
Acabado: Laminado en caliente

ATE - 434E
 DIN 24360AA4
 EN 10081-1-2008

PROPIEDADES:

Acero especial bonificado aleado al cromo - níquel - molibdeno especialmente apto para altas exigencias de resistencia y tenacidad en secciones grandes, como tracción, torsión y flexión. Gracias a su contenido de molibdeno es insensible a la fragilidad del revenido. Su estado de suministro permite en la mayoría de los casos su aplicación sin necesidad de un tratamiento térmico adicional.

EMPLEO:

Para la fabricación de partes y piezas de mayores dimensiones como: aviones, maquinaria pesada, ejes para hélices, cigüeñales, bombas de torsión, ejes de leira, ejes de bombas, pernos y tuercas de alta tensión, rodillos para transportadoras, vástagos y pines, brazos de dirección, ciertos engranajes sometidos a grandes esfuerzos, discos de embrague.

TRATAMIENTO TÉRMICO:

Temperatura:	800 - 850 °C
Recocido:	600 - 700 °C
[El tratamiento recocido al vacío (DIN 24360AA4)]	
Normalizado:	600 - 650 °C
Dilatación:	600 °C
Temple:	970 - 980 °C
[Tratamiento al vacío hasta 400 °C (DIN 24360AA4)]	
Dureza mínima:	34 - 35 HRC
Revenido: ver en el diagrama de revenido de aceros aleados	540 - 620 °C
Temperatura: en baño de sal fundida	550 °C

PROPIEDADES MECÁNICAS

Diámetro mm	Límite de fluencia R _{0.2} MPa	Resistencia a la tracción R _m MPa	Elongación A ₅ en %			Reducción de área Z ₅ en %			Resistencia a la fatiga R _{0.2} [σ] ₇ / MPa		
			L	Q	T	L	Q	T	L	Q	T
7.5	350	1200 - 1400	9	-	-	43	-	-	35	-	-
1.5 - 2.40	350	1100 - 1300	10	-	-	43	-	-	35	-	-
2.45 - 3.150	350	1000 - 1200	11	-	-	38	-	-	35	-	-
3.160 - 3.180	350	900 - 1100	12	-	-	35	-	-	35	-	-
3.180 - 3.220	350	800 - 950	13	-	-	33	-	-	35	-	-

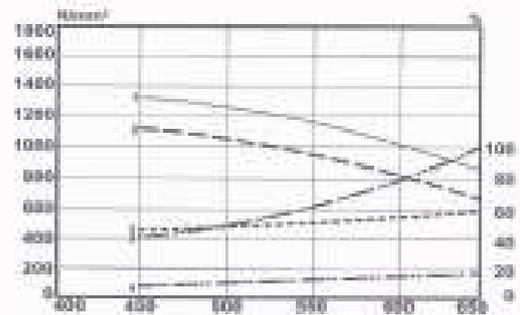
L: longitudinal
 Q: transversal
 T: tangencial

Los valores para otras dimensiones pueden ser establecidos por relación.

DIAGRAMA DE BONIFICACIÓN

- 1.- Resistencia a la tracción
- 2.- Límite de fluencia
- 3.- Reducción de área
- 4.- Elongación
- 5.- Resistencia al impacto

Temperatura de temple: 240°C
Sección: ø60 mm


SOLDADURA DE REPARACIÓN

Electrodo recomendado: UTP 6020 ó UTP 63

Precauciones:

Con UTP 6020

Pre calentamiento a 250 °C; después de soldar dejar enfriar uniforme y lentamente.

Si es necesario realizar un post-tratamiento térmico, esto deberá realizarse a una temperatura de 550-600 °C.

Con UTP63

Ninguna

PRESENTACIÓN:

REDONDO 	Desde:	Diámetro	19,05	mm
	Hasta:	Diámetro	500,00	mm

High Tensile Steel: →



High Tensile Steel AISI P20

Product Shortname: MOLD, MLDF (Flat)

**Supplied Hardened, Tempered and Stress Relieved
Supplied Black or Premachined
Flats, Squares and Rounds**

Specifications: AISI P20
DIN 1.2311/1.2738

Typical Analysis:

C	Mn	Cr	Mo	Ni (2738)
0.40%	1.5%	1.9%	0.2%	1.0%

Mechanical Properties: UTS approx 950-1100MPa

Colour Code: 2311 Red
2312 Red/White
2738 Red/Yellow

Characteristics: Although predominantly used in tooling applications in the plastic mould industry, these steels are also suited for use in applications where a high tensile strength is the prime requirement. These steels are supplied in the hardened and tempered condition with a tensile strength of 950-1100MPa. Further heat-treatment can produce tensile strength of 1400MPa in sections up to 100mm (4") and 1200MPa in sections as large as 200mm (8"). In the as-supplied heat-treated condition this grade possesses excellent toughness and endurance strength and is therefore also ideally suited for high tensile applications such as heavy duty shafts, gears, axles, etc. It may be nitrided to produce a surface hardness of 60 Rockwell 'C' and flame or induction hardened to 58 Rockwell 'C'.

Applications: High tensile applications such as heavy duty shafts, gears, axles, etc.

Size Range:

Rounds - Metric (mm)								
25	35	45	50	65	80	90	100	110

Flats (mm)										
25	35	45	50	70	75	80	100	130	150	200

Metric - Flats (mm)

We can cross cut to your specific requirements.

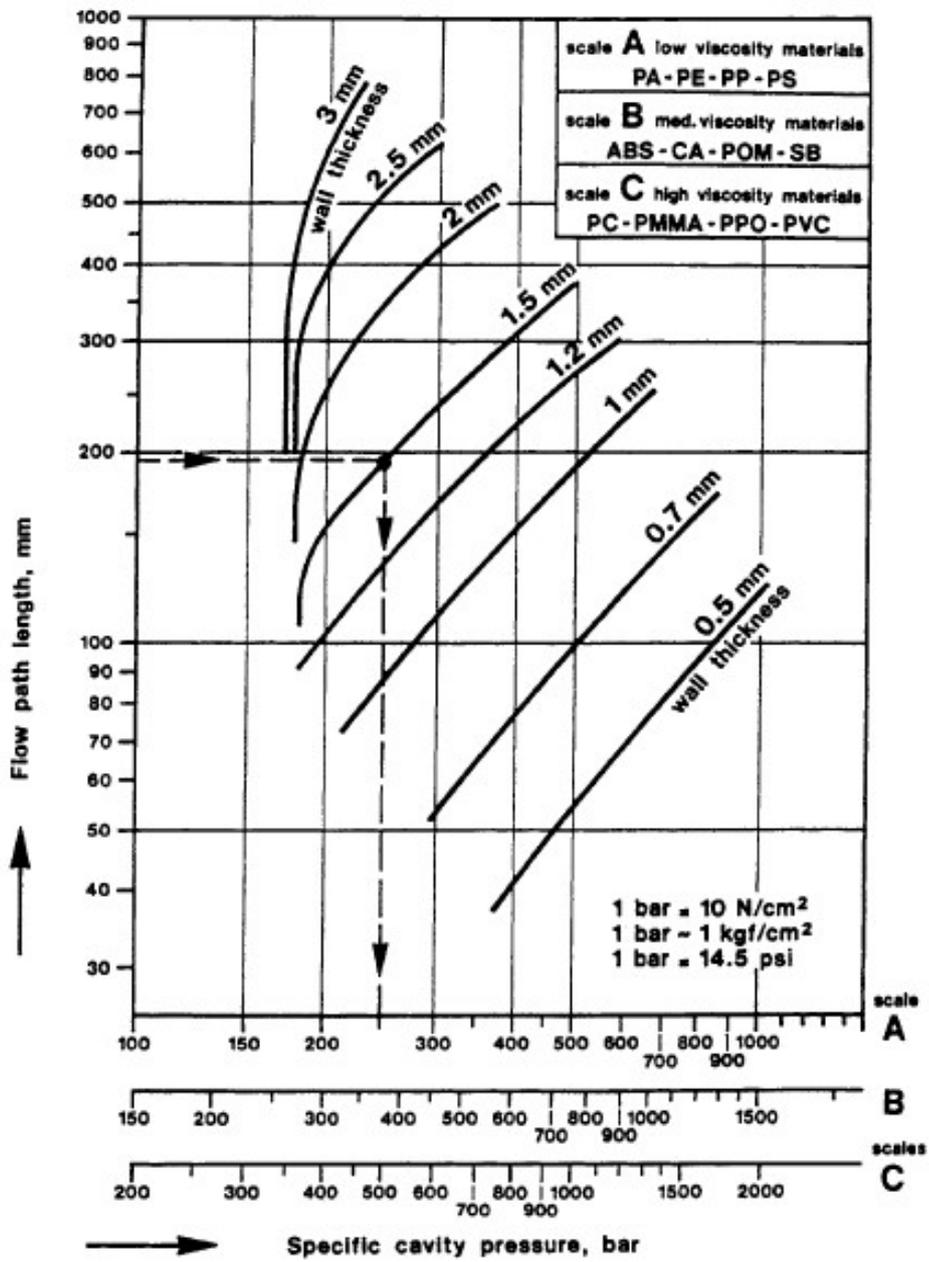
Physical Properties:

Density	0.284 lb/in ³ (7861 kg/m ³)
Specific Gravity	7.86
Modulus of Elasticity	30 x 10 ⁶ psi (207 GPa)
Thermal conductivity	24 Btu/ft/hr/°F 41.5 W/m/°K
Machinability	60-65% of a 1% carbon steel

Coefficient Of Thermal Expansion			
Temperature °F	in/in°F x10 ⁶	Temperature °C	mm/mm°Cx10 ⁶
70-200	6.7	21-93	12.0
70-500	7.2	21-260	12.9
70-1000	7.6	21-538	13.7

ANEXO C.

RELACIÓN ENTRE LA PRESIÓN INTERIOR DEL MOLDE



ANEXO D

TABLAS DE AJUSTES

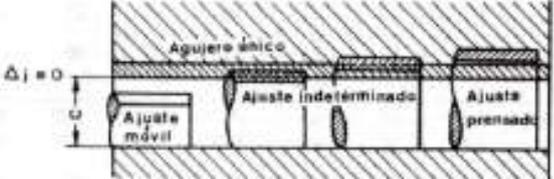
Tolerancias de medida		TOLERANCIAS DE MEDIDA										
<p>Medidas y tolerancias</p> <p>Medida nominal es la que se emplea para identificar a una pieza; medida constructiva es la nominal con expresión de las tolerancias, siendo éstas las que señalan los valores máximos y mínimos que la dimensión puede alcanzar, para que la pieza construida con dimensión práctica comprendida entre dichos valores, sirva para el fin propuesto. Las tolerancias se expresan en micras, $1 \mu = 0,001 \text{ mm}$, representando su máximo la desviación superior de la medida constructiva, y su valor mínimo la desviación inferior, ambos valores con relación a la medida constructiva.</p>												
<p>La unidad de tolerancia tiene por valor:</p> $i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D + 0,001} \cdot D$ <p>obteniéndose i en micras, representando D la medida constructiva en milímetros, siendo esta unidad variable, según el valor de D.</p> <p>Para cada dimensión se ha establecido 18 calidades o series de tolerancia fundamentales, correspondiendo a cada serie un número de tolerancias, como se especifica en la Tabla que sigue.</p>												
Tolerancias de medida		ZONAS DE TOLERANCIA. - Valores en micras ($1 \mu = 0,001 \text{ mm}$)										TABLA 6 - 8
N.º de calidad	Serie de tolerancias fundamentales	Clasificación de tolerancia /	De 1,6 a 3	Más de 3 a 6	Más de 6 a 10	Más de 10 a 18	Más de 18 a 30	Más de 30 a 50	Más de 50 a 80	Más de 80 a 120	Más de 120 a 180	Más de 180 a 250
1	IT - 1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2	2	3	4	5
2	IT - 2	1,6	2	2	2	2	2	3	3	4	5	7
3	IT - 3	2,5	3	3	3	3	3	4	4	5	6	10
4	IT - 4	4	4	4	4	5	6	7	8	10	12	14
5	IT - 5	6,4	5	5	6	8	9	11	13	15	18	20
6	IT - 6	10	7	8	9	11	13	16	19	22	25	29
7	IT - 7	16	9	12	15	18	21	25	30	35	40	46
8	IT - 8	25	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72
9	IT - 9	40	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115
10	IT - 10	64	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185
11	IT - 11	100	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290
12	IT - 12	160	90	120	150	180	210	250	300	350	400	460
13	IT - 13	250	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720
14	IT - 14	400	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150
15	IT - 15	640	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1850
16	IT - 16	1000	600	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2500	2900
17	IT - 17	1600	900	1200	1500	1800	2100	2500	3000	3500	4000	4600
18	IT - 18	2500	1400	1800	2200	2700	3300	3900	4600	5400	6300	7200
<p>Con fines constructivos o de fabricación, se aplican las series, generalmente, del modo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> Serie IT-1 a IT-4, para la fabricación de calibres. Serie IT-5, para la fabricación de mecánica de máxima calidad. Serie IT-6, IT-7, para la fabricación de mecánica de precisión. Serie IT-8, IT-9, para la fabricación de mecánica esmerada. Serie IT-10, IT-11, para la fabricación de mecánica poco esmerada. <p>Las series IT-12 a IT-18 se utilizan en la fabricación basta (laminados, prensados, forjados, etc.).</p> <p>La consignación de la tolerancia puede ser numeral o simplificada; en la consignación numeral después de la medida nominal se expresan las tolerancias, desviación máxima y mínima, y en la consignación abreviada las desviaciones están expresadas por medio de letras, mayúsculas para los agujeros o medidas interiores y minúsculas para los ejes o medidas exteriores, pudiendo verse valores parciales en las Tablas 7_{1,2} - 8 y 8_{1,2} - 8 respectivamente.</p>												

Tolerancias de medida		ZONAS DE TOLERANCIA RECOMENDADAS AGUJERO ÚNICO										TABLA 7, - 8
DESVIACIONES DEL AGUJERO EN MICRAS												
Tolerancia		Diámetros nominales en mm.										
Serie	Consignación	De 1 a 3	Más de 3 a 6	Más de 6 a 10	Más de 10 a 18	Más de 18 a 30	Más de 30 a 50	Más de 50 a 80	Más de 80 a 120	Más de 120 a 180	Más de 180 a 250	
IT-6	G 6	+ 3 + 10	+ 4 + 12	+ 5 + 14	+ 6 + 17	+ 7 + 20	+ 9 + 25	+ 10 + 29	+ 12 + 34	+ 14 + 39	+ 15 + 44	
	H 6	0 + 7	0 + 8	0 + 9	0 + 11	0 + 13	0 + 16	0 + 19	0 + 22	0 + 25	0 + 29	
	J 6	- 4 + 3	- 4 + 4	- 4 + 5	- 5 + 6	- 5 + 8	- 6 + 10	- 6 + 13	- 6 + 16	- 7 + 18	- 7 + 22	
	K 6			- 7 + 2	- 9 + 2	- 11 + 2	- 13 + 3	- 15 + 4	- 18 + 4	- 21 + 4	- 24 + 5	
	M 6	- 7 0	- 9 - 1	- 12 - 3	- 15 - 4	- 17 - 4	- 20 - 4	- 24 - 5	- 28 - 6	- 33 - 8	- 37 - 8	
	N 6	- 11 - 4	- 13 - 5	- 16 - 7	- 20 - 9	- 24 - 11	- 28 - 12	- 33 - 14	- 38 - 16	- 45 - 20	- 51 - 22	
IT - 7	E 7	+ 14 + 23	+ 20 + 32	+ 25 + 40	+ 32 + 50	+ 40 + 61	+ 50 + 75	+ 60 + 90	+ 72 + 107	+ 85 + 125	+ 100 + 146	
	F 7	+ 7 + 16	+ 10 + 22	+ 13 + 28	+ 16 + 34	+ 20 + 41	+ 25 + 50	+ 30 + 60	+ 36 + 71	+ 43 + 83	+ 50 + 96	
	G 7	+ 3 + 12	+ 4 + 16	+ 5 + 20	+ 6 + 24	+ 7 + 28	+ 9 + 34	+ 10 + 40	+ 12 + 47	+ 14 + 54	+ 15 + 61	
	H 7	0 + 9	0 + 12	0 + 15	0 + 18	0 + 21	0 + 25	0 + 30	0 + 35	0 + 40	0 + 46	
	J 7	- 6 + 3	- 7 + 5	- 7 + 8	- 8 + 10	- 9 + 12	- 11 + 14	- 12 + 18	- 13 + 22	- 14 + 26	- 16 + 30	
	K 7			- 10 + 5	- 12 + 6	- 15 + 6	- 18 + 7	- 21 + 9	- 25 + 10	- 28 + 12	- 33 + 13	
	M 7	- 9 0	- 12 0	- 15 0	- 18 0	- 21 0	- 25 0	- 30 0	- 35 0	- 40 0	- 46 0	
	N 7	- 13 - 4	- 16 - 4	- 19 - 4	- 23 - 5	- 28 - 7	- 33 - 8	- 39 - 9	- 45 - 10	- 52 - 12	- 60 - 14	
P 7	- 16 - 7	- 20 - 8	- 24 - 9	- 29 - 11	- 35 - 14	- 42 - 17	- 51 - 21	- 59 - 24	- 68 - 28	- 79 - 33		

Tolerancias de medida		ZONAS DE TOLERANCIA RECOMENDADAS AGUJERO ÚNICO										TABLA 7, - 8
DESVIACIONES DEL AGUJERO EN MICRAS												
Tolerancia		Diámetros nominales en mm.										
Serie	Consig-nación	De 1 a 3	Más de 3 a 6	Más de 6 a 10	Más de 10 a 18	Más de 18 a 30	Más de 30 a 50	Más de 50 a 80	Más de 80 a 120	Más de 120 a 180	Más de 180 a 250	
IT 8	D 8	+ 20 + 34	+ 30 + 48	+ 40 + 62	+ 50 + 77	+ 65 + 96	+ 80 + 119	+ 100 + 146	+ 120 + 174	+ 145 + 208	+ 170 + 242	
	E 8	+ 14 + 28	+ 20 + 38	+ 25 + 47	+ 32 + 59	+ 40 + 73	+ 50 + 89	+ 60 + 106	+ 72 + 126	+ 85 + 148	+ 100 + 172	
	F 8	+ 7 + 21	+ 10 + 28	+ 13 + 35	+ 16 + 43	+ 20 + 53	+ 25 + 64	+ 30 + 76	+ 36 + 90	+ 43 + 106	+ 50 + 122	
	H 8	0 + 14	0 + 18	0 + 22	0 + 27	0 + 33	0 + 39	0 + 46	0 + 54	0 + 63	0 + 72	
	J 8	- 7 + 7	- 9 + 9	- 10 + 12	- 12 + 15	- 13 + 20	- 15 + 24	- 18 + 28	- 20 + 34	- 22 + 41	- 25 + 47	
	K 8			- 16 + 6	- 19 + 8	- 23 + 10	- 27 + 12	- 32 + 14	- 38 + 16	- 43 + 20	- 50 + 22	
	M 8			- 21 + 1	- 25 + 2	- 29 + 4	- 34 + 5	- 41 + 5	- 48 + 6	- 55 + 8	- 63 + 9	
	N 8	- 15 - 1	- 20 - 2	- 25 - 3	- 30 - 3	- 36 - 3	- 42 - 3	- 50 - 4	- 58 - 4	- 67 - 4	- 77 - 5	
IT - 9	D 9	+ 20 + 45	+ 30 + 60	+ 40 + 76	+ 50 + 93	+ 65 + 117	+ 80 + 142	+ 100 + 174	+ 120 + 207	+ 145 + 245	+ 170 + 285	
	E 9	+ 14 + 39	+ 20 + 50	+ 25 + 61	+ 32 + 75	+ 40 + 92	+ 50 + 112	+ 60 + 134	+ 72 + 159	+ 85 + 185	+ 100 + 215	
	H 9	0 + 25	0 + 30	0 + 36	0 + 43	0 + 52	0 + 62	0 + 74	0 + 87	0 + 100	0 + 115	
	J 9	- 13 + 12	- 15 + 15	- 18 + 18	- 21 + 22	- 26 + 26	- 31 + 31	- 37 + 37	- 44 + 44	- 50 + 50	- 58 + 57	
IT - 10	D 10	+ 20 + 60	+ 30 + 78	+ 40 + 98	+ 50 + 120	+ 65 + 149	+ 80 + 180	+ 100 + 220	+ 120 + 260	+ 145 + 305	+ 170 + 355	
	H 10	0 + 40	0 + 48	0 + 58	0 + 70	0 + 84	0 + 100	0 + 120	0 + 140	0 + 160	0 + 185	
	J 10	- 20 + 20	- 24 + 24	- 29 + 29	- 35 + 35	- 42 + 42	- 50 + 50	- 60 + 60	- 70 + 70	- 80 + 80	- 93 + 92	
IT - 11	D 11	+ 20 + 80	+ 30 + 100	+ 40 + 130	+ 50 + 160	+ 65 + 195	+ 80 + 240	+ 100 + 290	+ 120 + 340	+ 145 + 395	+ 170 + 460	
	H 11	0 + 60	0 + 75	0 + 90	0 + 110	0 + 130	0 + 160	0 + 190	0 + 220	0 + 250	0 + 290	
	J 11	- 30 + 30	- 38 + 37	- 45 + 45	- 55 + 55	- 65 + 65	- 80 + 80	- 95 + 95	- 110 + 110	- 125 + 125	- 145 + 145	

Tolerancias de medida		ZONAS DE TOLERANCIA RECOMENDADAS AGUJERO ÚNICO										TABLA 8. - 8
DESVIACIONES DEL EJE EN MICRAS												
Tolerancia		Diámetros nominales. mm.										
Serie	Consignación	De 1 a 3	Más de 3 a 6	Más de 6 a 10	Más de 10 a 18	Más de 18 a 30	Más de 30 a 50	Más de 50 a 80	Más de 80 a 120	Más de 120 a 180	Más de 180 a 250	
IT - 5	g 5	-3 -8	-4 -9	-5 -11	-6 -14	-7 -16	-9 -20	-10 -23	-12 -27	-14 -32	-15 -35	
	h 5	0 -5	0 -5	0 -6	0 -8	0 -9	0 -11	0 -13	0 -15	0 -18	0 -20	
	j 5	+4 -1	+4 -1	+4 -2	+5 -3	+5 -4	+6 -5	+6 -7	+6 -9	+7 -11	+7 -13	
	k 5			+7 +1	+9 +1	+11 +2	+13 +2	+15 +2	+18 +3	+21 +3	+24 +4	
	m 5	+7 +2	+9 +4	+12 +6	+15 +7	+17 +8	+20 +9	+24 +11	+28 +13	+33 +15	+37 +17	
	n 5	+11 +6	+13 +8	+16 +10	+20 +12	+24 +15	+28 +17	+33 +20	+38 +23	+45 +27	+51 +31	
IT - 6	g 6	-3 -10	-4 -12	-5 -14	-6 -17	-7 -20	-9 -25	-10 -29	-12 -34	-14 -39	-15 -44	
	h 6	0 -7	0 -8	0 -9	0 -11	0 -13	0 -16	0 -19	0 -22	0 -25	0 -29	
	j 6	+6 -1	+7 -1	+7 -2	+8 -3	+9 -4	+11 -5	+12 -7	+13 -9	+14 -11	+16 -13	
	k 6			+10 +1	+12 +1	+15 +2	+18 +2	+21 +2	+25 +3	+28 +3	+33 +4	
	m 6	+9 +2	+12 +4	+15 +6	+18 +7	+21 +8	+25 +9	+30 +11	+35 +13	+40 +15	+46 +17	
	n 6	+13 +6	+16 +8	+19 +10	+23 +12	+28 +15	+33 +17	+39 +20	+45 +23	+52 +27	+60 +31	
	p 6	+16 +9	+20 +12	+24 +15	+29 +18	+35 +22	+42 +26	+51 +32	+59 +37	+68 +43	+79 +50	
IT - 7	e 7	-14 -23	-20 -32	-25 -40	-32 -50	-40 -61	-50 -75	-60 -90	-72 -107	-85 -125	-100 -146	
	f 7	-7 -16	-10 -22	-13 -28	-16 -34	-20 -41	-25 -50	-30 -60	-36 -71	-43 -83	-50 -96	
	h 7	0 -9	0 -12	0 -15	0 -18	0 -21	0 -25	0 -30	0 -35	0 -40	0 -46	
	j 7	+7 -2	+9 -3	+10 -5	+12 -6	+13 -8	+15 -10	+18 -12	+20 -15	+22 -18	+25 -21	
	k 7			+16 +1	+19 +1	+23 +2	+27 +2	+32 +2	+38 +3	+43 +3	+50 +4	
	m 7			+21 +6	+25 +7	+29 +8	+34 +9	+41 +11	+48 +13	+55 +15	+63 +17	
	n 7	+15 +6	+20 +8	+25 +10	+30 +12	+36 +15	+42 +17	+50 +20	+58 +23	+67 +27	+77 +31	

Tolerancias de medida		ZONAS DE TOLERANCIA RECOMENDADAS EJE ÚNICO										TABLA B ₁ - B
DESVIACIONES DEL EJE EN MICRAS												
Tolerancia		Diámetros nominales en mm.										
Serie	Consig-nación	De 1 a 3	Más de 3 a 6	Más de 6 a 10	Más de 10 a 18	Más de 18 a 30	Más de 30 a 50	Más de 50 a 80	Más de 80 a 120	Más de 120 a 180	Más de 180 a 250	
IT - 8	d 8	- 20 - 34	- 30 - 48	- 40 - 62	- 50 - 77	- 65 - 98	- 80 - 119	- 100 - 146	- 120 - 174	- 145 - 208	- 170 - 242	
	e 8	- 14 - 28	- 20 - 38	- 25 - 47	- 32 - 59	- 40 - 73	- 50 - 89	- 60 - 106	- 72 - 126	- 85 - 148	- 100 - 172	
	f 8	- 7 - 21	- 10 - 28	- 13 - 35	- 16 - 43	- 20 - 53	- 25 - 54	- 30 - 76	- 36 - 90	- 43 - 106	- 50 - 122	
	h 8	0 - 14	0 - 18	0 - 22	0 - 27	0 - 33	0 - 39	0 - 48	0 - 54	0 - 63	0 - 72	
	j 8	+ 7 - 7	+ 9 - 9	+ 11 - 11	+ 14 - 13	+ 17 - 16	+ 20 - 19	+ 23 - 23	+ 27 - 27	+ 32 - 31	+ 36 - 36	
	k 8	+ 14 0	+ 18 0	+ 22 0	+ 27 0	+ 33 0	+ 39 0	+ 46 0	+ 54 0	+ 63 0	+ 72 0	
IT - 9	d 9	- 20 - 45	- 30 - 60	- 40 - 75	- 50 - 93	- 65 - 117	- 80 - 142	- 100 - 174	- 120 - 207	- 145 - 243	- 170 - 285	
	e 9	- 14 - 39	- 20 - 50	- 25 - 61	- 32 - 75	- 40 - 92	- 50 - 112	- 60 - 134	- 72 - 159	- 85 - 185	- 100 - 215	
	h 9	0 - 25	0 - 30	0 - 36	0 - 43	0 - 52	0 - 62	0 - 74	0 - 87	0 - 100	0 - 115	
	j 9	+ 13 - 12	+ 15 - 15	+ 18 - 18	+ 22 - 21	+ 26 - 26	+ 31 - 31	+ 37 - 37	+ 44 - 43	+ 50 - 50	+ 58 - 57	
	k 9	+ 25 0	+ 30 0	+ 36 0	+ 43 0	+ 52 0	+ 62 0	+ 74 0	+ 87 0	+ 100 0	+ 115 0	
IT - 10	d 10	- 20 - 60	- 30 - 78	- 40 - 98	- 50 - 120	- 65 - 149	- 80 - 180	- 100 - 220	- 120 - 260	- 145 - 305	- 170 - 355	
	h 10	0 - 40	0 - 48	0 - 58	0 - 70	0 - 84	0 - 100	0 - 120	0 - 140	0 - 160	0 - 185	
	j 10	+ 20 - 20	+ 24 - 24	+ 29 - 29	+ 35 - 35	+ 42 - 42	+ 50 - 50	+ 60 - 60	+ 70 - 70	+ 80 - 80	+ 93 - 92	
	k 10	+ 40 0	+ 48 0	+ 58 0	+ 70 0	+ 84 0	+ 100 0	+ 120 0	+ 140 0	+ 160 0	+ 185 0	
IT - 11	d 11	- 20 - 80	- 30 - 105	- 40 - 130	- 50 - 160	- 65 - 185	- 80 - 240	- 100 - 290	- 120 - 340	- 145 - 395	- 170 - 460	
	h 11	0 - 60	0 - 75	0 - 90	0 - 110	0 - 130	0 - 160	0 - 190	0 - 220	0 - 250	0 - 290	
	j 11	+ 30 - 30	+ 38 - 37	+ 45 - 45	+ 55 - 55	+ 65 - 65	+ 80 - 80	+ 95 - 95	+ 110 - 110	+ 125 - 125	+ 145 - 145	
	k 11	+ 60 0	+ 75 0	+ 90 0	+ 110 0	+ 130 0	+ 160 0	+ 190 0	+ 220 0	+ 250 0	+ 290 0	

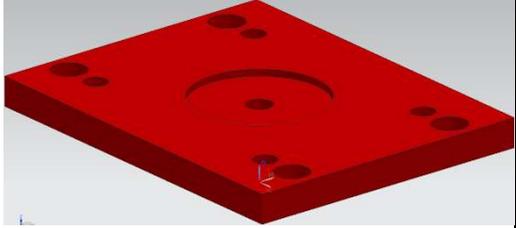
Ajustes	AJUSTES
<p>Disposición del ajuste</p> <p>Ajuste es la relación mecánica existente entre dos piezas cuando una de ellas encaja en la otra; el ajuste resulta con juego cuando las piezas encajadas pueden moverse con mayor o menor facilidad, y con aprieto cuando las piezas encajadas quedan sin posibilidad de movimiento relativo entre ellas.</p> <p>El juego máximo entre las piezas ajustadas corresponde a la diferencia entre la medida máxima interior de la pieza exterior y la medida mínima exterior de la pieza interior; el aprieto máximo corresponde a la diferencia entre la medida máxima exterior de la pieza interior y la medida mínima interior de la pieza exterior.</p> <p>La tolerancia del ajuste es la oscilación máxima del juego o aprieto de las piezas a encajar.</p>	
<p>Sistemas de ajuste</p>	
<p>Agujero único (medida interior) es el sistema en el cual el agujero o medida interior, para una calidad determinada y un grupo de diámetros o medidas exteriores, independientemente del tipo de ajuste, tiene idénticas diferencias límites, siendo la tolerancia mínima igual a cero, y la máxima positiva.</p>	
 <p style="text-align: center;">$\Delta_j = 0$</p>	
<p>Eje único (medida exterior) es el sistema en el cual el eje o medida exterior, para una calidad determinada y un grupo de agujeros o medidas interiores, independientemente del tipo de ajuste, tiene idénticas diferencias límites, siendo la tolerancia máxima igual a cero y la mínima negativa.</p>	
 <p style="text-align: center;">$\Delta_e = 0$</p>	
<p>Consignación y selección de ajustes</p>	
<p>La consignación de un ajuste puede ser numeral, por ejemplo, ajuste en un agujero de $\varnothing 100^{+0.035}$ con un eje de $\varnothing 100^{-0.009}$, o bien ajuste $\varnothing 100 H7 - j6$; en el primer caso las tolerancias y desviaciones del ajuste se deducen de las tolerancias de las piezas (0 en el agujero y +13 en el eje, aprieto -13, o +35 en el agujero y -9 en el eje, holgura +44), y en el simplificado para conocer las tolerancias del ajuste, se consultarán las Tabla 7.8 y 8.8 (en la Tabla 10.8, III).</p>	
<p>Para conseguir un ajuste con asiento definido (juego o aprieto) las piezas que lo forman reunirán las condiciones precisas de estado superficial y de tolerancias adecuadas.</p>	
<p>El número de ajustes que se puede establecer para conseguir un asiento determinado, es muy elevado. Unificando criterios para la aplicación de los ajustes, a la vez que se reducen los medios de fabricación para conseguirlos, se han seleccionado, como se expone en la Tabla 9.8; las desviaciones correspondientes a los ajustes seleccionados se especifican en la Tabla 10.8.</p>	
<p>Es notorio que algunos de los ajustes especificados como "forzoso ligero" son indeterminados, como por el ejemplo el H7 - j6 para $\varnothing 100$, puede resultar forzado con una desviación máxima de +13μ en el eje y 0μ en el agujero, deslizante con 0μ en el agujero y en el eje, y giratorio con una desviación de +44μ, por desviación de +35μ en el agujero y -9 en el eje.</p>	

Ajustes		AJUSTES RECOMENDADOS				TABLA 9 . 8	
ESPECIFICACION DE LOS ASIENTOS							
Grado del ajuste	Calidades superficiales	SISTEMA				ASIENTO	
		Agujero único		Eje único		Clase	Características
		Agujero	Eje	Eje	Agujero		
PRECISION		H 6	p 5	h 5	P 6	Forzado muy duro	Piezas montadas por dilatación o contracción; no necesitan seguro contra giro.
			n 5		N 6	Forzado duro	Piezas montadas o desmontadas a presión; necesitan seguro contra giro.
			k 5		K 6	Forzado medio	Piezas que han de montarse o desmontarse con gran esfuerzo; seguro para giro y deslizamiento.
			j 5		J 6	Forzado ligero	Montaje y desmontaje sin gran esfuerzo; necesitan seguro contra giro y deslizamiento.
			h 5		H 6	Deslizante	Piezas lubricadas que se montan y desmontan sin gran trabajo, a mano.
			g 5		G 6	Giratorio	En piezas lubricadas el giro y deslizamiento puede efectuarse a mano.
FINO		H 7	s 6	h 6	S 7	Forzado muy duro	Montaje por dilatación o contracción; no necesita seguro contra giro.
			r 6		R 7	Forzado muy duro	Montaje por dilatación o contracción; no necesita seguro contra giro.
			n 6		N 7	Forzado duro	Montado o desmontado a presión; necesita seguro contra giro.
			k 6		K 7	Forzado medio	Montado y desmontado con gran esfuerzo (mediante martillo de plomo); necesita seguro contra giro y deslizamiento.
			j 6		J 7	Forzado ligero	Montado y desmontado sin gran esfuerzo (mediante mazo de madera); necesita seguro contra giro y desplazamiento.
			h 6		H 7	Deslizante	En piezas lubricadas, deslizamiento a mano.
			g 6		G 7	Giratorio	En piezas lubricadas, su juego es apreciable.
			f 7		F 8	Holgado medio	En piezas lubricadas, su juego es más apreciable.
e 8	E 8	Más holgado	En piezas lubricadas, el juego es muy apreciable.				
ESMERADO		H 8	j 9	h 9	J 8	Forzado ligero	Piezas que se han de montar y desmontar con facilidad.
			h 9		H 8	Deslizante	Piezas que deben montarse sin esfuerzo y que deben desplazarse en su funcionamiento.
			s 9		E 8	Giratorio	Piezas móviles con juego desde perceptible a amplio.
			d 9		D 8	Holgado	Piezas móviles con juego muy amplio.
POCO ESMERADO		H 11	h 11	h 11	H 11	Deslizante	Montaje fácil de gran tolerancia y con pequeño juego.
			d 11		E 11	Giratorio	Piezas móviles con gran tolerancia y juego no excesivo.
			c 11		C 11	Holgado	Piezas móviles con gran tolerancia y juego.
			a 11		A 11	Muy holgado	Piezas móviles con gran tolerancia y mucho juego.

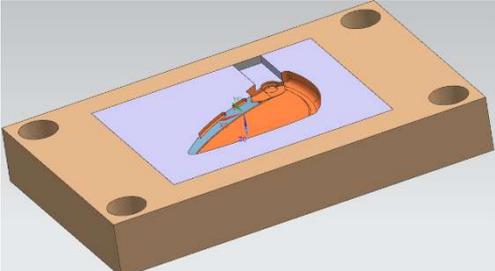
ANEXO E

TABLAS DE PROCESOS

Hoja de procesos del mecanizado de la placa de respaldo fija

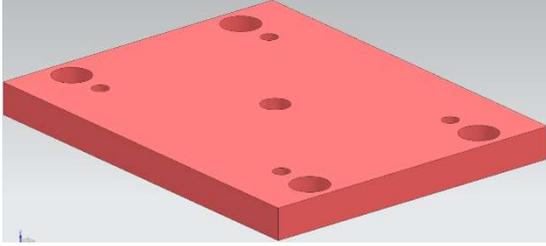
<p>Material: AISI P20 Dimensiones: 246x196x20 (mm) Tipo de mecanizado: Fresado y taladrado Material herramienta: Carburo de tungsteno Número de placas: 1</p>							
Nº	Actividad	Herramienta	Diámetro herramienta (mm)	Velocidad de giro (rpm)	Profundidad de corte (mm)	Avance (mm/min)	Tolerancia (mm)
1	Cuadrado de la placa porta cavidad en la fresadora CNC.	Reloj palpador	x	x	x	x	x
2	Mecanizado de los bordes de la placa	Fresa para escuadrar a 90°	40	1000	2	800	+/- 0.01
3	Planeado de las superficies de la placa porta cavidad.	Fresa para escuadrar a 90°	40	1000	2	800	+/- 0.01
4	Mecanizado de desbaste para el anillo centrador	Fresa plana	8	1200	2	600	+/- 0.01
5	Contorneado de la cavidad mecanizada anteriormente	Fresa plana	6	1400	1	750	x
6	Acabado superficial de la cavidad	Fresa redonda	3	2500	0.5	1200	x
7	Taladrado de perforaciones para alojar los bujes	Broca recta (CoroDrill 860 2-3)	19	200	0.5	14	+/- 0.01
8	Taladrado para los amarres de las placas	Broca recta (CoroDrill 860 2-3)	6.5	630	0.5	18	+/- 0.01

Hoja de procesos del mecanizado de la placa porta cavidad

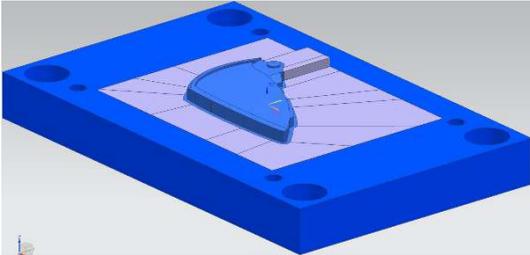
<p>Material: AISI P20 Dimensiones: 246x156x26 (mm) Tipo de mecanizado: Fresado Material herramienta: Carburo de tungsteno Número de placas: 1</p>	
--	--

Nº	Actividad	Herramienta	Diámetro herramienta (mm)	Velocidad de giro (rpm)	Profundidad de corte (mm)	Avance (mm/min)	Tolerancia (mm)
1	Cuadrado de la placa porta cavidad en la fresadora CNC.	Reloj palpador	x	x		x	x
2	Mecanizado de los bordes de la placa	Fresa para escuadrar a 90°	40	1000	2	800	+/- 0.01
3	Planeado de las superficies de la placa porta cavidad.	Fresa para escuadrar a 90°	40	1000	2	800	+/- 0.01
4	Mecanizado de desbaste de la cavidad en la placa	Fresa plana	8	1200	1	600	+/- 0.01
5	Contorneado de la cavidad mecanizada anteriormente	Fresa plana	6	1400	1	750	x
6	Acabado superficial de la cavidad	Fresa redonda	3	2500	0.5	1200	x
7	Taladrado de los agujeros que albergan los bujes de guiado	Broca recta (CoroDrill 860 2-3)	19	200	0.5	14	+/- 0.01

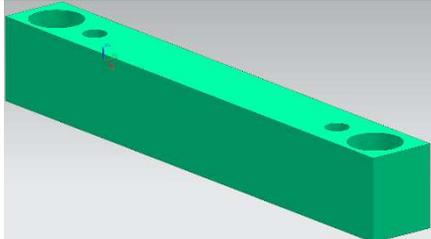
Hoja de procesos del mecanizado de la placa respaldo móvil

Material: P20 Dimensiones: 246x156x26 (mm) Tipo de mecanizado: Fresado Material herramienta: Carburo de tungsteno Número de placas: 1							
Nº	Actividad	Herramienta	Diámetro herramienta (mm)	Velocidad de giro	Profundidad de corte (mm)	Avance (f)	Tolerancia
1	Cuadrado de la placa de respaldo en la fresadora CNC.	Reloj palpador	x	x	x	x	x
2	Mecanizado de los bordes de la placa	Fresa para escuadrar a 90°	40	1000	2	800	+/- 0.01
3	Planeado de las superficies de la placa de respaldo	Fresa para escuadrar a 90°	40	1000	2	800	+/- 0.01
4	Taladrado de los agujeros para las columnas guías	Broca recta (CoroDrill 860 2-3)	19	200	2	18	+/- 0.01

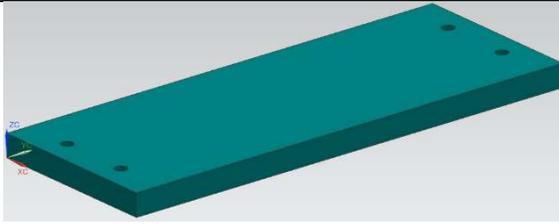
Hoja de procesos del mecanizado de la placa porta núcleo

Material: AISI P20 Dimensiones: 246*156*26 (mm) Tipo de mecanizado: Distintas tareas de fresado Material herramienta: Carburo de tungsteno Número de placas: 1							
Nº	Actividad	Herramienta	Diámetro herramienta (mm)	Velocidad de giro	Profundidad de corte (mm)	Avance (f)	Tolerancia
1	Cuadrado de la placa porta núcleo en la fresadora CNC.	Reloj palpador	x	x	x	x	x
2	Mecanizado de los bordes de la placa	Fresa para escuadrar a 90°	40	1000	2	800	+/- 0.01
3	Planeado de las superficies de la placa porta núcleo	Fresa para escuadrar a 90°	40	1000	2	800	+/- 0.01
4	Mecanizado de desbaste para la obtención del núcleo	Fresa plana	8	1200	1	600	x
5	Contorneado del núcleo mecanizado anteriormente	Fresa plana	6	1400	1	750	x
6	Acabado superficial del núcleo	Fresa redonda	3	2500	0.5	1200	x
7	Taladrado de los agujeros para las columnas.	Broca recta (CoroDrill 860 2-3)	19	200	2	14	+/- 0.01
8	Taladrado de los amarres de las placas	Broca recta (CoroDrill 860 2-3)	6.5	630	2	18	+/- 0.01

Hoja de procesos del mecanizado para las placas paralelas

Material: P20 Dimensiones: 246x46x31 (mm) Tipo de mecanizado: Distintas tareas de fresado Material herramienta: Carburo de tungsteno Número de placas: 2							
Nº	Actividad	Herramienta	Diámetro herramienta (mm)	Velocidad de giro	Profundidad de corte (mm)	Avance (f)	Tolerancia
1	Cuadrado de la placa porta núcleo en la fresadora CNC.	Reloj palpador	x	x	x	x	x
2	Mecanizado de los bordes de las placas paralelas.	Fresa para escuadrar a 90°	40	1000	2	800	+/- 0.01
3	Planeado de las superficies de las placas.	Fresa para escuadrar a 90°	40	1000	2	800	+/- 0.01
4	Taladrado de los agujeros	Broca recta (CoroDrill 860 2-3)	19	200	2	18	+/- 0.01

Hoja de procesos del mecanizado para las placas de expulsión

Material: P20 Dimensiones: 246x156x26 (mm) Tipo de mecanizado: Fresado Material herramienta: Carburo de tungsteno Número de placas: 2							
Nº	Actividad	Herramienta	Diámetro herramienta (mm)	Velocidad de giro	Profundidad de corte (mm)	Avance (f)	Tolerancia
1	Cuadrado de la placa porta núcleo en la fresadora CNC.	Reloj palpador	x	x	x	x	x
2	Mecanizado de los bordes de las placas paralelas.	Fresa para escuadrar a 90°	40	1000	2	800	+/- 0.01
3	Planeado de las superficies de las placas.	Fresa para escuadrar a 90°	40	1000	2	800	+/- 0.01
4	Taladrado de los agujeros de guía de expulsión	Broca recta (CoroDrill 860 2-3)	6.5	630	2	18	+/- 0.01

Fuente: Autores