

DISEÑO DE UN MOLDE DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO, PARA LA
OBTENCIÓN DE MICRO PIEZAS, UTILIZANDO HERRAMIENTAS CAD Y
CAM

JUAN DANIEL VILLALOBOS DE LA HOZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS.
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ DC.
2021.

DISEÑO DE UN MOLDE DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO, PARA LA
OBTENCIÓN DE MICRO PIEZAS, UTILIZANDO HERRAMIENTAS CAD Y
CAM

Juan Daniel Villalobos De la Hoz

Proyecto de Trabajo de Grado en la modalidad de Solución a un problema de
Ingeniería para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director
Ing. Jorge Andrés García Barbosa

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ
2021

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre, Carol Massiel de la Hoz, por siempre ser mi pilar de apoyo y estar para mí siempre que lo he necesitado, impulsándome cada día a ser la mejor versión de mí. También quiero agradecerle a mi novia Carolina Rojas por ser la persona que me llena los días de alegrías y me llena de felicidad, quien también me ha ayudado a ser mejor cada día y ha estado en mis días más difíciles. Un inmenso agradecimiento al ingeniero Jorge Andrés García por su sabiduría, por su guía y su ayuda en cada paso que di en todo el proceso de este trabajo. Por último, quiero agradecerme a mí mismo por todo el esfuerzo, dedicación y horas que invertí en este trabajo de grado.

RESUMEN

La tendencia de diseño hacia la miniaturización ha tenido un gran impacto en los sectores industriales tales como el aeronáutico, automotriz, maquinarias y en el de las energías renovables, donde se quiere reducir dimensiones y aumentar el trabajo o la producción. Esto conlleva a que muchos diseños que se implementan hoy en día requieran de moldes de inyección para micro piezas. El presente trabajo tiene como objetivo el diseño y fabricación virtual de un molde para micro piezas haciendo uso del apartado CAD/CAM del software NX. Esto, con el fin de que con la futura fabricación de dicho molde se pueda obtener una micro grapa compuesta de un biopolímero biodegradable utilizado en medicina para la adherencia de mallas para la recuperación de tejidos blandos. Inicialmente, se determinaron las tolerancias y errores en el centro de mecanizado ubicado en la universidad Santo Tomas, con el fin de tomarlos en cuenta al momento del diseño del molde, y conocer con anterioridad, las medidas reales con las que se trabajará. Posteriormente, conociendo la pieza que se desea obtener, se propone el diseño del molde, con las partes y accesorios necesarios. Por último, haciendo uso del software, se establecieron las condiciones de mecanizado y se generaron las trayectorias utilizando el apartado CAM para la manufactura virtual del molde.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	9
2.	MARCO TEÓRICO	10
2.1	MICRO MAQUINADO	10
2.2	MICRO MOLDEADO	10
2.3	MINI HUSILLO	11
2.4	PRUEBA DE ENSAYO BALL BAR	11
3.	OBJETIVOS	12
3.1	GENERAL	12
3.2	ESPECÍFICOS	12
4.	ESTUDIO DE CONDICIONES Y CAPACIDADES DEL CENTRO DE MECANIZADO	13
4.1	LISTA DE HERRAMIENTAS DISPONIBLES	13
4.2	ANÁLISIS DE CONDICIONES DEL CENTRO DE MECANIZADO	14
4.2.1	Análisis del diagnóstico general de la prueba Ball Bar	15
4.2.2	Rendimiento de contorno usando pruebas circulares	16
4.2.2.1	Norma ASME B5.54	16
4.2.2.2	Norma ISO 230 - 4	17
4.2.2.3	Norma GB/T 17421.4	19
4.3	PROTOCOLO DE PRUEBA DEL ESTADO DE LA MÁQUINA	19
4.3.1	Rectitud de los movimientos lineales	20
4.3.2	Desviación angular de los movimientos lineales	21
4.3.3	Cuadratura entre los movimientos lineales	21
4.3.4	Condiciones del husillo	22
4.4	CAPACIDAD TECNOLÓGICA DIMENSIONAL	23
5.	DISEÑO DEL MOLDE PARA INYECCIÓN DE PLÁSTICO	25
5.1	PIEZA SELECCIONADA	25
5.1.1	CAD de la pieza	26
5.2	MATERIAL DE LA PIEZA	26
5.3	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS QUE SE DEBEN TOMAR EN CUENTA	27
5.3.1	Contracción y conicidad	27
5.3.2	Contrasalidas	27
5.3.3	Rechupes y redondeos	28
5.3.4	Acabado superficial	28
5.4	CAVIDADES DEL MOLDE	28
5.5	CAPACIDAD DE INYECCIÓN	31
5.5.1	Fuerza de cierre de la maquina	31
5.6	ANÁLISIS TÉRMICO	33
5.6.1	Cálculo del tiempo de enfriamiento	33
5.6.2	Refrigeración del molde	35
5.7	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	36
5.7.1	Cálculo del bebedero	36
5.7.2	Canales de distribución	36
5.8	SISTEMA DE EXPULSORES	37
5.8.1	Cálculo de expulsos para la placa de expulsos	37
5.9	TIEMPO DE CICLO	41

5.9.1	Tiempo de llenado (t_L)	42
5.9.2	Tiempo de reiniciado (t_R)	42
5.9.3	Tiempo de enfriamiento (T)	42
5.10	COMPONENTES DEL MOLDE	43
5.10.1	Placa base móvil	43
5.10.2	Placas expulsoras	43
5.10.3	Paralelas	44
5.10.4	Placa base fija	45
5.10.5	Placa porta-molde fija y móvil	45
5.11	PROTOTIPO FINAL DEL MOLDE	46
6.	MANUFACTURA DE COMPONENTES PRINCIPALES (CAM)	49
6.1	MÉTODO DE MECANIZADO DE LA CAVIDAD	49
6.1.1	Electroerosión por penetración	50
6.2	MANUFACTURA DEL ELECTRODO	51
6.2.1	Dimensiones del positivo de la pieza con tolerancias dimensionales principales	51
6.2.2	Materia prima del electrodo	52
6.2.3	Proceso de manufactura para el grafito	53
6.3	MANUFACTURA DE LA PLACA PORTA-MOLDE FIJA Y MÓVIL	54
6.3.1	Dimensiones y geometrías de las placas porta-molde fija y móvil, con tolerancias dimensionales y geométricas	54
6.3.2	Material del molde	56
6.3.3	Proceso de manufactura de las placas	57
6.2.4	Rectificado de las placas	59
6.2.5	Proceso de electroerosión por penetración para las placas	60
7.	RECOMENDACIONES	61
8.	CONCLUSIONES	62
9.	BIBLIOGRAFÍA	63
10.	ANEXOS	65
11.	PLANOS	79

LISTADO DE IMÁGENES

Imagen 1.	Maquinado con micro herramientas.	10
Imagen 2.	Prueba Ball-bar en proceso.....	14
Imagen 3.	Tabla de diagnósticos generales prueba Ball bar.	15
Imagen 4.	Desviaciones principales (norma ASME B5.54)	17
Imagen 5.	Desviación circular bidireccional (norma ISO 230 – 4)	18
Imagen 6.	Desviación radial bidireccional media (norma ASME B5.54)	18
Imagen 7.	Desviación radial bidireccional media (norma ASME B5.54)	19
Imagen 8.	Montaje para la medición de la prueba de estado de la máquina.	20
Imagen 9.	Montaje del comparador de caratulas en el plano XY.	22
Imagen 10.	Montaje para evaluar concentricidad en el mini husillo.....	23
Imagen 11.	Imagen de la micro grapa.....	25
Imagen 12.	Dimensiones principales de la micro grapa (unidades en mm).....	26
Imagen 13.	Longitud de recorrido del flujo hasta el final de la pieza.	32
Imagen 14.	Hotrunner Nozzle, referencia H33205/Typ/20x50.....	36
Imagen 15.	Canal de distribución con gates y cavidades.....	37
Imagen 16.	Distancia entre placa de expulsores y cavidades de la pieza.	38
Imagen 17.	Placa base móvil.	43
Imagen 18.	Placas expulsoras.	44
Imagen 19.	Paralela.....	44
Imagen 20.	Placa base Fija.....	45
Imagen 21.	Placas porta-molde.	46
Imagen 22.	Vista libre del prototipo del molde.	47
Imagen 23.	Vista libre de diseño del molde cortado sin piezas estandarizadas. .	47
Imagen 24.	Vista libre de las piezas estandarizadas sin el molde, utilizando la placa base como referencia.	48
Imagen 25.	Explosionado del molde.	48
Imagen 26.	Mecanismo del mecanizado por electroerosión por penetración.	50
Imagen 27.	Electrodo de la micro pieza.	51
Imagen 28.	Dimensiones y geometrías del positivo de la pieza.	52
Imagen 29.	Proceso para la manufactura del positivo de la pieza.....	54
Imagen 30.	Proceso para la placa porta-molde móvil.....	58
Imagen 31.	Proceso para la placa porta-molde fija.	59
Imagen 32.	Muelas recomendadas para el rectificado.	59

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.	Lista de herramientas de maquinado y micromaquinado disponibles.....	13
Tabla 2.	Lista de herramientas de roscado para utilizar.	14
Tabla 3.	Capacidades dimensionales.....	24
Tabla 4.	Propiedades físicas y térmicas del poliácido glicólico.....	27
Tabla 5.	Propiedades físicas de la pieza proporcionadas por el software NX.	29
Tabla 6.	Condiciones de corte para el grafito.	53
Tabla 7.	Condiciones de corte para el Acero P20.	57

1. INTRODUCCIÓN

El reciente auge de diseños de dispositivos y herramientas, cada vez más pequeños y prácticos, ha generado que gran parte de lo que hoy en día se esté fabricando para la industria ingenieril, médica, entre otras, tenga que ser conformado por una pieza que tenga dimensiones micrométricas [1]. Esto conlleva a que muchos diseños que se implementan hoy en día requieran de micro piezas. Para que una pieza sea considerada una micro pieza, debe tener medidas que se encuentren en el orden de las micras en la escala del sistema internacional [1]. Esto ha supuesto una necesaria revolución en el ámbito de las tecnologías de micro fabricación, con el objeto de cumplir con las exigencias dimensionales, de precisión o de calidad superficial.

Una de las tecnologías de micro fabricación es el micromaquinado, que es una adaptación de las tecnologías convencionales de maquinado (fresado, torneado, etc.). Entre los tipos de micromaquinado se encuentra el microfresado, que es una aplicación particular del fresado convencional, este se basa en el arranque de material con herramientas de muy reducido tamaño (diámetro entre 50 μ m y 3mm). Tal y como se ha mencionado previamente, el microfresado es una tecnología flexible y rápida para la fabricación de componentes con rasgos con dimensiones que van desde unas decenas de micras, hasta unos pocos milímetros, en una amplia gama de materiales [2], con la que se puede trabajar fácilmente en la fabricación de moldes que permitan la fabricación de micro piezas.

En Latinoamérica, la realidad de las empresas nacionales que se dedican a la producción de micro piezas es que, en gran parte, los moldes los obtienen por encargos a países que tienen un mayor avance tecnológico que el nuestro [3]. Esto conlleva a un incremento considerable en el precio de la micro pieza debido a que se debe considerar todo el proceso que se debe llevar a cabo para poder fabricarlas. Por esto, la industria nacional que se encarga de la fabricación de micro piezas revela una urgente necesidad por el desarrollo de capacidades tecnológicas propias para poder fabricar dichas piezas [4].

2. MARCO TEÓRICO

2.1 MICRO MAQUINADO

La calidad y el tamaño de los micro productos que se quieran realizar, estarán estrechamente relacionadas a las propiedades de la máquina que se utilice para su manufactura, incluyendo su precisión y rango dinámico. Las excelentes capacidades de la máquina son vitales para obtener las dimensiones deseadas con tolerancias, calidad superficial y tamaño requerido. Este tipo de maquinado, además, necesita herramientas con dimensiones muy pequeñas (como se muestra en la Figura 3) y rpm diferentes al maquinado tradicional para poder tener acabados superficiales de buena calidad.

Imagen 1. Maquinado con micro herramientas.



Fuente: [5].

2.2 MICRO MOLDEADO

El micro moldeado es un proceso de fabricación altamente especializado que produce piezas y componentes termoplásticos extremadamente pequeños y de alta precisión con tolerancias de micras. El proceso comienza en un departamento de herramientas donde se crea un molde que tiene una cavidad en la forma de la pieza deseada. El termoplástico o la resina se inyecta rápidamente en la cavidad, creando el componente o la pieza a alta velocidad. Formando así la micro pieza deseada [6].

2.3 MINI HUSILLO

En el micromecanizado, velocidades de hasta 250.000 rpm son requeridas debido al diámetro de las herramientas que se van a utilizar [7]. Estas velocidades tan altas son necesarias para lograr un mecanizado más rápido, menor fuerza, menos rotura de la herramienta sin permitir el crecimiento térmico, mejor acabado superficial y mejor calidad de la pieza mediante el mecanizado de alta velocidad con microherramientas [5].

2.4 PRUEBA DE ENSAYO BALL BAR

La prueba de ensayo Ball bar funciona de la siguiente manera: En teoría, si se programa una máquina CNC para trazar una trayectoria circular y el posicionamiento es perfecto, el círculo real coincidirá exactamente con el círculo programado. En la práctica, diversos factores, como la geometría de la máquina, el sistema de control y el desgaste, pueden hacer que el radio del círculo del ensayo y su forma se desvíen del círculo programado [8].

Esta prueba consiste en medir la trayectoria del círculo real y compararla con la trayectoria programada, para obtener los datos de precisión del centro de mecanizado.

3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Explorar la viabilidad de la fabricación de un molde de inyección de plástico, para la obtención de una micro pieza, utilizando máquinas de control numérico estándar.

3.2 ESPECÍFICOS

- Diagnosticar la viabilidad técnica de elaboración de moldes de inyección de plásticos, para la obtención de micro piezas en los equipos CNC de la USTA.
- Diseñar el molde para inyección de plástico utilizando una herramienta CAD.
- Planificar el proceso de manufactura, de los componentes del molde, haciendo uso de herramientas CAD/CAM.

4. ESTUDIO DE CONDICIONES Y CAPACIDADES DEL CENTRO DE MECANIZADO

Se debe hacer un estudio y un respetivo análisis de los datos arrojados por el centro de mecanizado FINETECH GTX-170 S/N 910021010, para conocer los errores y desviaciones que esté presente. Estos datos son de gran importancia para conocer las dimensiones y características geométricas con la que se puede trabajar al momento del diseño del molde.

4.1 LISTA DE HERRAMIENTAS DISPONIBLES

La lista de herramientas para maquinado se elaboró tomando en cuentas las herramientas disponibles en el laboratorio de maquinado de la universidad Santo Tomás. En la Tabla 1 y Tabla 2, se puede observar la lista donde se plasmaron las medidas más dimensiones más importante de cada herramienta.

Donde:

- D: Diámetro de la herramienta.
- r: Radio de la punta.
- d: Diámetro de la barra/mango.
- ap: Altura efectiva de fresado.
- L: Longitud del portaherramientas.
- Z: Numero de dientes.
- D cuello: Diámetro del cuello.

Tabla 1. Lista de herramientas de maquinado y micromaquinado disponibles.

Lista de herramientas para micromaquinado								
Marca	Código	D (mm)	d (mm)	ap (mm)	L (mm)	Z	r (mm)	Tolerancia (mm)
ISCAR	EB060A08-3C06 (IC900)	6	6	8	57	3	3	0.01
ISCAR	EB-A2 06-07C06E51 (IC08)	6	6	7	51	2	3	0.01
ISCAR	EBM005A010-2C03 (IC900)	0.5	3	1	38	2	0.25	0.01
ISCAR	EC050A20-4C05R0.8 (IC900)	5	5	20	50	4	0.8	
X-POWER	EM876010 2F Ball	1 (R1)	3	3	38	2	0.5	0.02
X-POWER	EM876020 2F Ball	2 (R1)	6	3	50	2	1	0.03
X-POWER	EM878040 2F Ball Neck	4 (R1)	6	4	62	2	2	0.01
X-POWER	EM810901 2F	1	6	2.5	40	2	0.5	0.01
X-POWER	EM810020 2F	2	4	6	40	2	1	0.01
YG-1	G9425020 SHORT	2	2	8	32	3	1	0.01
YG-1	G9452905 EX-LONG	5 (R1)	5	25	75	2	2.5	0.03
YG-1	G9452903 EX-LONG	3 (R1)	3	20	60	2	1.5	0.03
YG-1	G9634030 SHORT	3 (R1)	6	4	48	4	1.5	0.03
YG-1	G9A70020 SHORT	2 (R1)	3	7	39	2	1	0.03
YG-1	G9A70060 SHORT	3 (R1)	6	19	64	2	1.5	0.03
YG-1	G8A47919 4F Corner R. Neck	4	6	12	43	4	0.3	0.01
YG-1	EMC55040 4F	4	4	20	60	4	2	0.03
YG-1	EMC54040 4F	4	4	11	50	4	2	0.03
YG-1	EMC54060 4F	6	6	16	50	4	3	0.03
Emuge-Franken	2770A	0.5	3	0.3	30	2	0.25	0.01
Emuge-Franken	2760A	0.2	3	0.16	30	2	0.1	0.01

Fuente: Autor.

Tabla 2. Lista de herramientas de roscado para utilizar.

Lista de herramientas para el roscado de piezas						
Marca	Código	D (mm)	d (mm)	L (mm)	L de paso	L de rosca
YG-1	TC711316	5	6	80	1	10
YG-1	TC711286	4.2	6	70	0.8	8

Fuente: Autor.

Se debe prestar mayor importancia a la tolerancias que se enlistan en la Tabla 1, dadas por el fabricante, esto nos indica el error que se puede presentar al momento de utilizar alguna de estas herramientas y se deben tomar en cuenta al momento del cálculo general para el mínimo limite dimensional con el que se debe trabajar.

4.2 ANÁLISIS DE CONDICIONES DEL CENTRO DE MECANIZADO

Para determinar el rango de precisión del montaje tecnológico conformado, por máquina, husillo y herramienta, es de suma importancia que se tomen en cuenta las desviaciones y tolerancias que se pueden obtener al momento de mecanizar las piezas que componen el molde. Para eso, se le hace un análisis al centro de mecanizado llamado, ensayo Ball Bar, con el fin de encontrar errores notables que se puedan traducir a desviaciones al momento de maquinar piezas en el centro de mecanizado.

Imagen 2. Prueba Ball-bar en proceso.



Fuente: Autor

La empresa IMOCOM S.A.S realizo una prueba Ball Bar al centro de mecanizado FINETECH GTX-170 S/N 910021010 para determinar los errores

que se podían obtener al momento de utilizar el centro de mecanizado, la conclusión de la prueba fue que los resultados de la prueba es que este se encuentra en buenas condiciones. Un valor que resalta en la prueba, es el de la cuadratura, ya que en el plano X-Y se obtuvo un valor de 0.028 mm, según IMOCOM es un valor un poco alto pero sigue estando dentro de los parámetros aceptables para el valor de cuadratura [9].

4.2.1 Análisis del diagnóstico general de la prueba Ball Bar

La prueba Ball Bar Renishaw realizada por IMOCOM SAS, dispuso una serie de resultados que se pueden observar en la Imagen 3. En ella se pueden apreciar las desviaciones y los errores que se pueden obtener cuando el centro de mecanizado está realizando un cambio de dirección, un círculo, o una línea recta, entre otras acciones específicas.

Imagen 3. Tabla de diagnósticos generales prueba Ball bar.

Ballbar diagnostics table

RENISHAW

XY 360deg 150mm Calibrated 20181129-103602

Operator: Jhon Ortega

Date: 2018-Nov-29 10:36:02

Machine: GTX170

QC20-W: 9A2814, Last calibrated: 2010-02-22

Error	Magnitude		Independent circularity		Ranking
Backlash X	► 0.6	◄ 0.0µm	0.6µm	(4%)	(11)
Backlash Y	◄ -0.7	► -0.4µm	0.7µm	(4%)	(10)
Reversal spikes X	► 0.8	◄ -1.8µm	1.8µm	(11%)	(2)
Reversal spikes Y	◄ -1.5	► -1.5µm	1.5µm	(10%)	(3)
Lateral play X	► -1.5	◄ -1.3µm	1.4µm	(9%)	(4)
Lateral play Y	◄ 1.0	► -2.2µm	1.2µm	(8%)	(6)
Cyclic error X	↑ 0.6	↓ 0.8µm	0.7µm	(4%)	(8)
Cyclic error Y	↑ 0.4	↓ 0.5µm	0.5µm	(3%)	(12)
Servo mismatch	-0.01ms		0.1µm	(1%)	(13)
Squareness	-28.0µm/m		4.2µm	(26%)	(1)
Straightness X	2.4µm		1.2µm	(7%)	(7)
Straightness Y	-2.8µm		1.4µm	(9%)	(5)
Scaling error X	38.4ppm				
Scaling error Y	43.0ppm				
Cyclic pitch X	25.0000mm				
Cyclic pitch Y	45.0000mm				
Calculated feedrate	1000.8mm/min				
Centre offset X	1.0µm				
Centre offset Y	-1.5µm				
Positional tolerance	39.6µm				
Best fit radius	150.0061mm				
Circularity	8.1µm				

Test parameters

Radius	150.0000mm
Feedrate	1000.0mm/min
Start/End/Overshoot	0°/360°/180°
Run sequence	CCW CW
Test position	X-Y
Sample rate	26.316Hz

Fuente: Informe pruebas BALL BAR realizada por IMOCOM S.A.S en la universidad Santo Tomas.

Al momento del husillo hacer un cambio de dirección en el eje X, hacia la derecha, se producirá una desviación 0.6 µm, y cuando se haga el cambio de

dirección en X, en la dirección contraria, no habrá desviación alguna. Al momento del husillo hacer un cambio de dirección en el eje Y se presenta una desviación de $-0.7 \mu\text{m}$ en el eje Y, y cuando el husillo va en dirección positiva al eje Y, una desviación de $-0.4 \mu\text{m}$ en dirección contraria. Estos valores están dentro de los rangos normales de la máquina y no representan un error significativo al momento de hacer micro maquinado.

Se debe tomar en cuenta también los errores que se obtienen al momento de obtener una geometría con dimensiones rectas, ya que se obtienen errores de rectitud de $2.4 \mu\text{m}$ en el eje X y de $-2.8 \mu\text{m}$ en el eje Y.

Al momento de realizar un círculo de diámetro de 300 mm se debe tomar en cuenta que la tolerancia para una geometría de tales dimensiones sería de 0.0061mm.

4.2.2 Rendimiento de contorno usando pruebas circulares

Los contornos circulares proporcionan una de las mejores comprobaciones para la evaluación del desempeño de contorno en un centro de control numérico. Al realizar un círculo, el centro de mecanizado está funcionando con múltiples ejes a lo largo de una trayectoria circular, y cada eje pasa por simultáneos cambios de aceleración, velocidad y posición [10].

Siguiendo las normas ASME, ISO y GB/T, se realizaron las pruebas correspondientes donde se miden las desviaciones al momento de obtener un círculo de 150 mm de radio, este valor no está considerado como un valor que esté dentro del orden de las micras, pero sirve para determinar las desviaciones. Para todas las pruebas se preestablecieron unos parámetros que se debían cumplir para cada una de ellas:

Velocidad del husillo:	1000.0 mm/min
Secuencia de pasada:	CCW - CW
Plano de prueba:	X - Y
Angulo de comienzo:	0°
Angulo de fin:	360°

4.2.2.1 Norma ASME B5.54

La norma ASME B5.54 se utiliza para conocer el valor máximo y el valor mínimo de desviación, en un ángulo específico, al momento del centro de mecanizado estar realizando un contorno, así como la “no redondez”, valor que

representa que tan cerca está el centro de mecanizado de obtener matemáticamente el círculo deseado y se obtiene sumando la desviación mínima con la desviación máxima. En la Imagen 4 se ven plasmados los resultados al ejecutar la prueba haciendo uso de la norma ASME B5.54.

Imagen 4. Desviaciones principales (norma ASME B5.54)

ASME B5.54-1992 Non Roundness

RENISHAW

XY 360deg 150mm Calibrated 20181129-103602

Operator: Jhon Ortega

Machine: GTX170

Date: 2018-Nov-29 10:36:02

QC20-W: 9A2814, Last calibrated: 2010-02-22

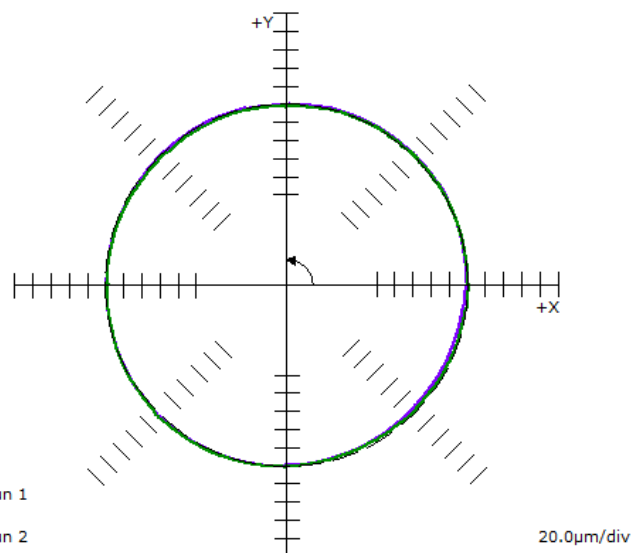
Dynamic ASME B5.54

Non roundness	8.1µm
Maximum deviation	3.6µm 226.5°
Minimum deviation	-4.5µm 317.0°

Test parameters

Radius	150.0000mm
Sample rate	26.316Hz
Feedrate	1000.0mm/min
Run sequence	CCW CW
Plane under test	XY
Test position	X-Y
Start angle	0°
End angle	360°
Overshoot angle	180°

Best fit radius	150.0061mm
Centre offset X	1.0µm
Centre offset Y	-1.5µm
Calculated feedrate	1000.8mm/min



Fuente: Informe pruebas BALL BAR realizada por IMOCOM S.A.S en la universidad Santo Tomás.

Como se observa en la Imagen 4, la desviación máxima que se obtuvo de la prueba fue de 3.6 µm, valor presentado en el ángulo 226.5° del círculo. En cuanto a la desviación mínima, se presenta en el ángulo 317.0° con un valor de -4.5 µm. Estos dos valores se suman para obtener el “non roundness”, para el cual se obtuvo un valor de 8.1 µm el cual indica que, para obtener un círculo matemáticamente perfecto, faltarían 8.1 micras.

4.2.2.2 Norma ISO 230 - 4

La norma ISO 230 – 4 especifica métodos para evaluar la desviación circular bidireccional y la desviación radial bidireccional media de trayectorias circulares que son producidas por un movimiento simultaneo de dos ejes lineales. El objetivo de esta norma es proveer un método de medición del rendimiento de un centro de control numérico al momento de realizar un contorno. En la Imagen 5 y en la Imagen 6 se observan los resultados que se generaron al haber realizado la prueba utilizando la norma como guía.

Imagen 5. Desviación circular bidireccional (norma ISO 230 – 4)

ISO 230-4:2005(E)

RENISHAW

Bi-directional circular deviation

XY 360deg 150mm Calibrated 20181129-103602

Operator: Jhon Ortega

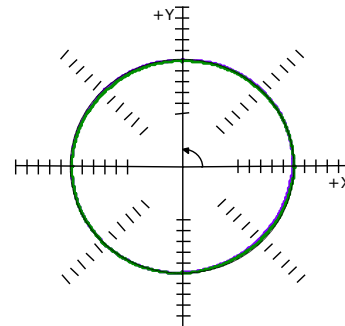
Date: 2018-Nov-29 10:36:02

Machine: GTX170

QC20-W: 9A2814, Last calibrated: 2010-02-22

Bi-directional circular deviation

Value	8.1 μ m
Test parameters	
Radius	150.0000mm
Feedrate	1000.0mm/min
Run sequence	CCW CW
Plane under test	XY
Test position	
Start angle	0°
End angle	360°



20.0 μ m/div

Fuente: Informe pruebas BALL BAR realizada por IMOCOM S.A.S en la universidad Santo Tomas.

Imagen 6. Desviación radial bidireccional media (norma ASME B5.54)

ISO 230-4:2005(E)

RENISHAW

Mean bi-directional radial deviation

XY 360deg 150mm Calibrated 20181129-103602

Operator: Jhon Ortega

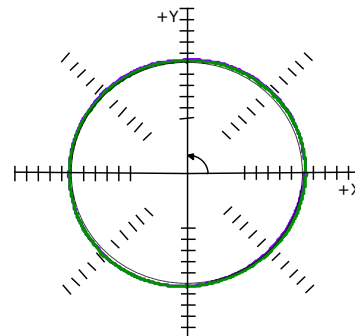
Date: 2018-Nov-29 10:36:02

Machine: GTX170

QC20-W: 9A2814, Last calibrated: 2010-02-22

Mean bi-directional radial deviation

Value	6.1 μ m
Test parameters	
Radius	150.0000mm
Feedrate	1000.0mm/min
Run sequence	CCW CW
Plane under test	XY
Test position	
Start angle	0°
End angle	360°



20.0 μ m/div

Fuente: Informe pruebas BALL BAR realizada por IMOCOM S.A.S en la universidad Santo Tomas.

De la Imagen 5 se puede deducir que el valor que se obtuvo en la desviación circular bidireccional fue de 8.1 μ m, valor esperado ya que es el mismo que se obtuvo en la prueba utilizando la norma ASME B5.54 para la no circularidad. En cuanto a la desviación radial bidireccional media, como se observa en la Imagen 6, se obtuvo un valor de 6.1 μ m.

4.2.2.3 Norma GB/T 17421.4

La norma GB/T 17421.4 es una norma estándar china la cual se utiliza para determinar el valor de la histéresis circular, la cual se define como la tendencia del material a conservar su propiedad circular, en ausencia del estímulo que la ha generado. De las pruebas realizadas haciendo uso de esta norma, se obtuvieron los resultados que se ven en la Imagen 7.

Imagen 7. Desviación radial bidireccional media (norma ASME B5.54)

GB/T 17421.4 Circular hysteresis

RENISHAW

XY 360deg 150mm Calibrated 20181129-103602

Operator: Jhon Ortega

Date: 2018-Nov-29 10:36:02

Machine: GTX170

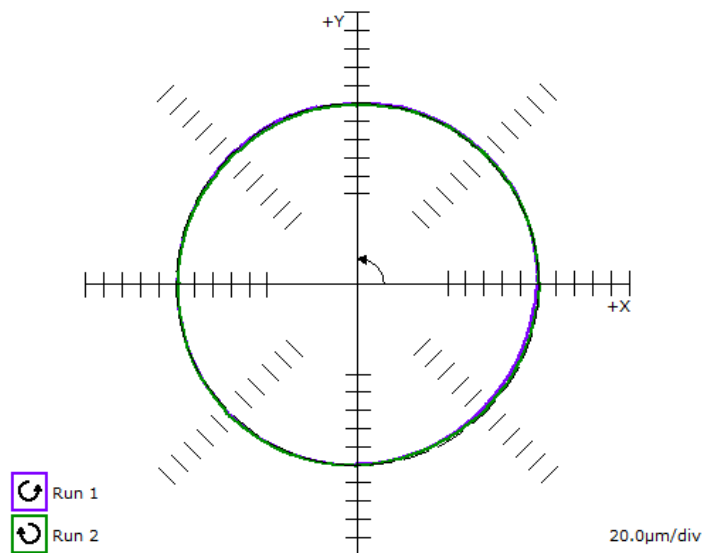
QC20-W: 9A2814, Last calibrated: 2010-02-22

Circular hysteresis

Value 4.0 μ m
Location 359.2°

Test parameters

Radius 150.0000mm
Sample rate 26.316Hz
Feedrate 1000.0mm/min
Run sequence CCW CW
Plane under test XY
Test position X-Y
Start angle 0°
End angle 360°
Overshoot angle 180°



Fuente: Informe pruebas BALL BAR realizada por IMOCOM S.A.S en la universidad Santo Tomas.

En los resultados de la Imagen 7, se puede observar un valor total en la histéresis circular de 4 μ m en el ángulo 359.2 del recorrido del husillo.

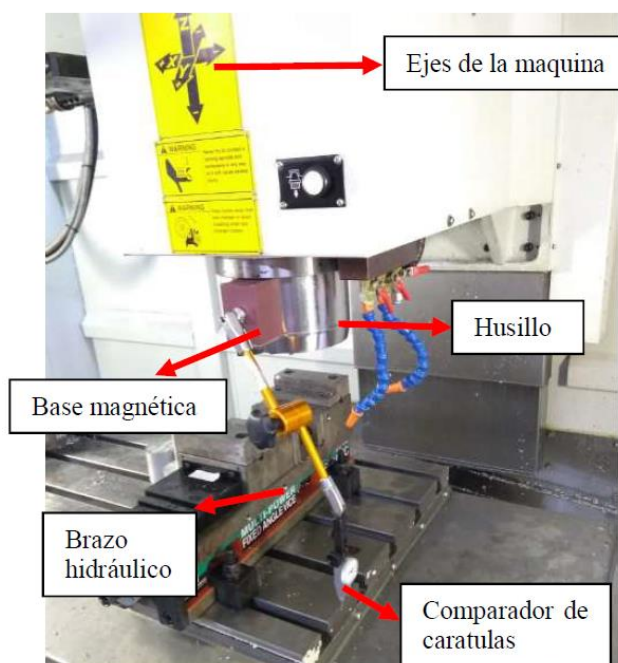
4.3 PROTOCOLO DE PRUEBA DEL ESTADO DE LA MÁQUINA

Haciendo uso de la norma ISO 10791-3 DE 1998 previamente se realizó una prueba de estado al centro de mecanizado, cuyos resultados se pueden ver con mas detalles en la referencia [11]. La norma recomienda hacer uso de un comparador de caratulas de resolucion de 0.001 mm, la universidad no cuenta con un comparador de caratula con esta resolucion, asi que en su lugar, se utilizó uno de resolucion de 0.01 mm para poder realizar la prueba de estado. Esto implica que se tendrá incertidumbre a nivel de micras porque el comparador de caratula tiene definicion en centecimas ya que es la unica

herramienta con la que cuentan los laboratorios de la universidad, pero se evidencia que no hay errores en el orden de centecimas.

Se realizó el montaje, que se observa en la Imagen 8, para las pruebas de rectitud y cuadratura que se evaluarían haciendo uso del comparador de caratulas.

Imagen 8. Montaje para la medición de la prueba de estado de la máquina.



Fuente: [11]. Aplicación de Tecnologías de Micro Maquinado en Acero Endurecido.

Los aspectos para evaluar en la prueba de condiciones fueron los siguientes: Rectitud de los movimientos lineales, desviación angular de los movimientos lineales, cuadratura entre los movimientos lineales y condiciones del husillo.

4.3.1 Rectitud de los movimientos lineales

Para comprobar la rectitud del centro de mecanizado, haciendo uso del comparador de caratulas y utilizando como referencia los puntos rectos de la mesa del centro numérico se hizo un recorrido en los planos X, Y y Z, según la norma ISO 10791-3 de 1998, los valores del comparador de caratula no podían exceder los 0.01mm para poder cumplir con la tolerancia de la norma.

- Para la rectitud del movimiento del eje X, tomando como referencia los canales de la mesa del centro de mecanizado, realizaron un recorrido de 400mm. Al realizar la trayectoria no obtuvieron ningún valor por

encima de los 0.01 mm, por lo cual, cumple con la norma y el eje X está en buenas condiciones de rectitud.

- Para la rectitud del eje Y, realizaron un recorrido de 240mm tomando como referencia dos puntos rectos de la mesa del centro de mecanizado. El comparador de caratula no paso los 0.01 mm, por ende esta en buenas condiciones.
- Para la rectitud del eje Z, se realizó el mismo procedimiento, pero con un recorrido de 50mm y tomando como referencia el cabezal del husillo. El comparador de caratula no paso los 0.01mm de resolución así que cumple con las tolerancias de la norma y el eje Z está en buenas condiciones de rectitud.

Concluyendo así con que los valores de rectitud en los planos X, Y y Z cumplen con las tolerancias según la norma ISO 10791-3.

4.3.2 Desviación angular de los movimientos lineales

La Desviación angular de los movimientos lineales se encarga de evaluar que tanta desviación angular tiene cada eje de la maquina a partir de movimientos lineales, la norma indica que se deben tener en cuenta algunas observaciones y tolerancias a la hora de realizar la prueba con un buen nivel de precisión. Una persona realizo un mantenimiento a la maquina y verifico la desviación angular, por consiguiente, la maquina esta nivelada en cada uno de sus ejes.

4.3.3 Cuadratura entre los movimientos lineales

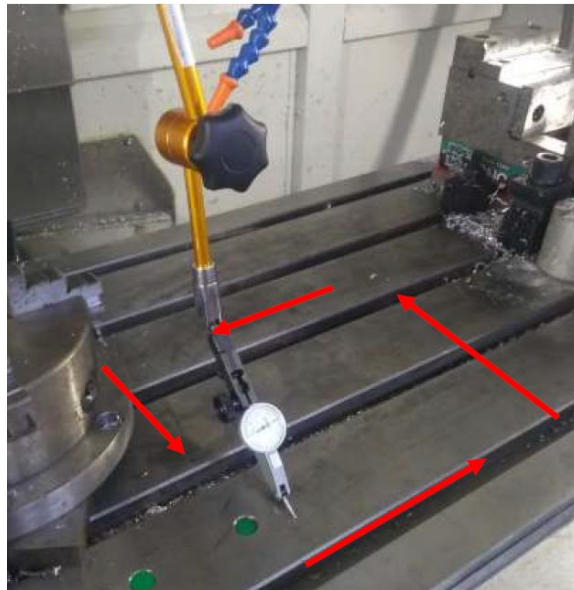
En esta parte de la prueba, para verificar la cuadratura de los ejes hay que evaluar de a dos ejes y observar que estén perpendicular uno del otro a partir de movimientos lineales. La norma da unas tolerancias a seguir además de unas observaciones para tener en cuenta según el recorrido que se da en cada eje. Las condiciones para cada eje son las siguientes:

Debido a la falta de un instrumento calibrado que garantice los 90 grados entre la mesa y dicho elemento, la medición de cuadratura entre los movimientos de los ejes ZX y los ejes YZ no es posible.

Para encontrar la cuadratura del movimiento del eje X y del movimiento del eje Y la norma indica que para un recorrido en el eje X de 300 mm y un recorrido en el eje Y de 175 mm la tolerancia de 0.02 mm. Para la medición de dicha cuadratura se trazó un cuadrado moviendo los ejes X y Y con ayuda del control

numérico. Como el husillo no se puede bloquear, se colocará en la cabeza del husillo y se medirá según la Imagen 9.

Imagen 9. Montaje del comparador de caratulas en el plano XY.



Fuente: [11]. Aplicación de Tecnologías de Micro Maquinado en Acero Endurecido.

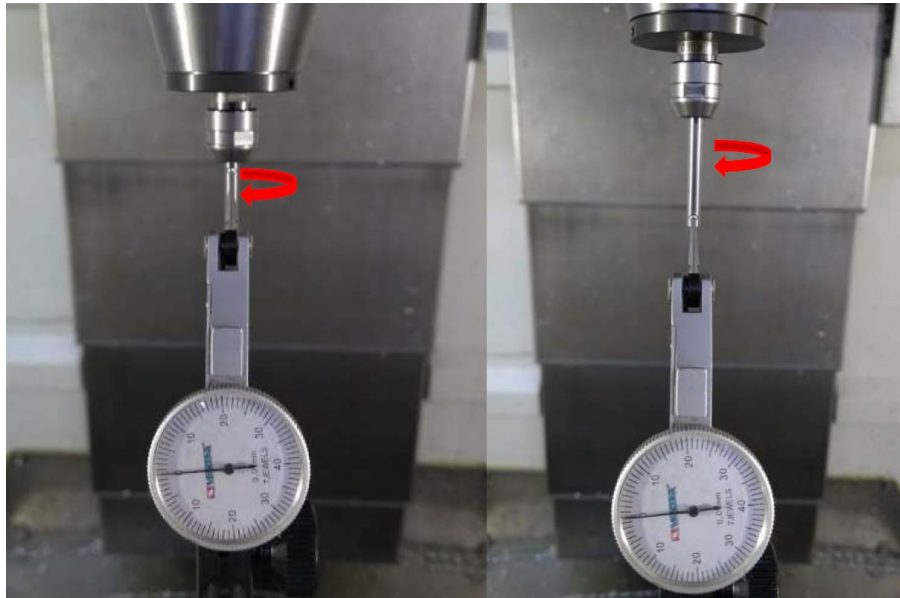
Al realizar esta prueba el comparador de caratula no mostró variación alguna en la medida, por lo tanto, cumple con la condición de la norma y hay perpendicularidad entre el eje X y Y.

4.3.4 Condiciones del husillo

En esta parte de la prueba se hace una evaluación del husillo para verificar las condiciones del mismo y que este no presente desgaste ni defectos que puedan afectar el mecanizado al momento de estar utilizando la máquina. Para esto, la norma da unas tolerancias fijas para cualquier centro de mecanizado que se vaya a utilizar.

- Se verificó la concentricidad del husillo, comprobando que no sobrepasa los 0.005 mm establecidos en la norma.

Imagen 10. Montaje para evaluar concentricidad en el mini husillo.



Fuente: [11]. Aplicación de Tecnologías de Micro Maquinado en Acero Endurecido.

4.4 CAPACIDAD TECNOLÓGICA DIMENSIONAL

Con los datos recopilados de la prueba Ball-bar, el protocolo de prueba de estado del centro de mecanizado y de las tolerancias de las herramientas disponibles en el laboratorio de la universidad se pueden establecer las medidas con las que podemos trabajar al momento de fabricar en la máquina.

El análisis de la prueba Ball-bar que se realizó al centro de mecanizado muestra desviaciones en las diferentes pruebas que se le realizó a la máquina, según normas estandarizadas. El error más significativo en la prueba Ball-bar fue la desviación de 8.1 micras utilizando la norma ASME B5.54, por este motivo este será el error que se tomará en cuenta al momento de establecer las medidas con la que se trabajará en el proyecto.

De las herramientas disponibles en el laboratorio de la universidad se realizó un estudio de condiciones de mecanizado al que se puede someter cada herramienta, también se investigaron las condiciones de corte, velocidades de corte, así como también las tolerancias de cada herramienta. Varias micro herramientas tienen una tolerancia de 30 micras, una medida que se debe tomar muy en cuenta al momento de fabricar.

Por último, las pruebas de estado que se realizaron al centro de mecanizado, utilizando la norma ISO 10791-3 DE 1998, nos indican que la resolución de la

maquina se encuentra en las 10 micras. A esto se le suma el Run-out del husillo el cual es de 5 micras.

Si lo que se quiere lograr es realizar piezas con medidas en el orden de las micras, es de suma importancia saber las medidas con las que se puede trabajar en el centro de mecanizado, así como las tolerancias para considerar los errores que se puedan presentar al momento de fabricar el molde. La tolerancia que se debe tomar en cuenta al momento de utilizar el centro de mecanizado es de alrededor de 53.1 micras, como se observa en la Tabla 3, tolerancia que se obtuvo de la suma de los resultados de la desviación encontrada en la prueba Ball-bar, la resolución en el protocolo de prueba de estado del centro de mecanizado y de las tolerancias de las herramientas disponibles.

Tabla 3. Capacidades dimensionales.

Capacidades Dimensionales	
Análisis	Tolerancia (μm)
Desviación prueba Ball-bar	8.1
Resolución prueba de estado	15
Tolerancias de las herramientas	30
Total	≈ 53.1

Fuente: Autor.

Tomando en cuenta las tolerancias obtenidas, se recomienda trabajar un mínimo límite dimensional de 150 μm, con la finalidad de obtener resultados óptimos al momento de la fabricación del molde.

5. DISEÑO DEL MOLDE PARA INYECCIÓN DE PLÁSTICO

En este capítulo se establecieron las medidas y geometrías de la micro pieza para la cavidad del molde. Posteriormente, se realizaron los cálculos de diseño haciendo libros de diseño, y se tomaron en cuenta los criterios de diseño para poder elaborar el prototipo final del molde haciendo uso de la herramienta CAD del software NX.

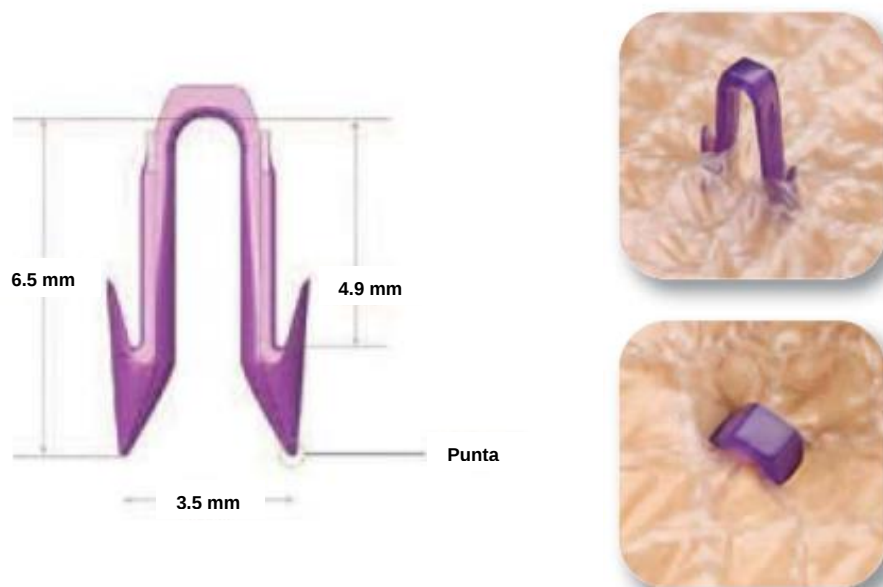
Las ecuaciones usadas pueden ser aplicadas al micromaquinado ya que a través de experimentación se comprobó que para que se presenten errores en los resultados, las geometrías con las que se trabajen deben ser menores a los 50 μm [12].

5.1 PIEZA SELECCIONADA

El principal criterio de decisión para escoger la pieza fue que sus dimensiones, en el orden de las micras, cumplieran con el mínimo límite dimensional previamente calculado. Por ende, se analizaron una variedad de micro piezas y como pieza de trabajo se seleccionó una grapa elaborada en un polímero bio-absorbible (combinación de polidioxanona y poliácido glicólico) utilizada para fijar mallas transparentes y flexibles que promueven la formación de un tejido cicatricial sobre quemaduras.

En la Imagen 11, se observan tres cotas importantes que componen la pieza y un ejemplo de la micro grapa siendo utilizada en tejido corporal.

Imagen 11. Imagen de la micro grapa.

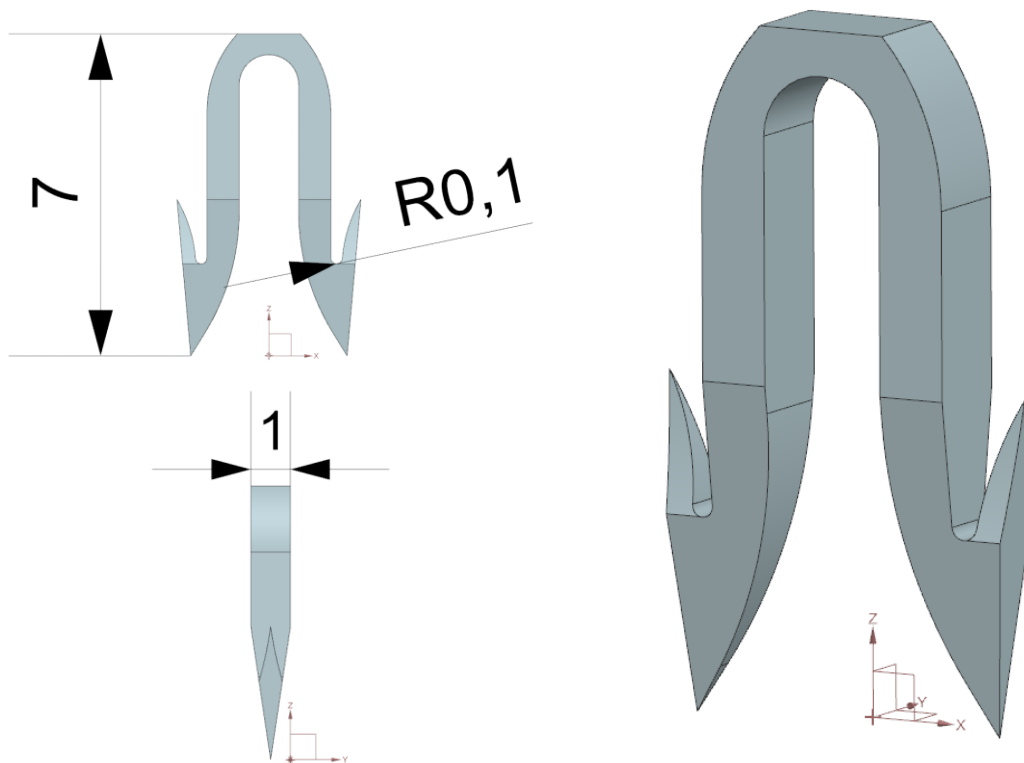


Fuente: [13].

5.1.1 CAD de la pieza

La Imagen 12 muestra el modelo CAD de la micro grapa. Las dimensiones principales van desde los 7 mm hasta la dimensión más pequeña de 200 micras. El espesor de la pieza es de 1 mm para asegurar una buena inserción de la pieza al tejido blando al momento de su uso.

Imagen 12. Dimensiones principales de la micro grapa (unidades en mm).



Fuente: Autor.

5.2 MATERIAL DE LA PIEZA

El polímero utilizado está compuesto por una combinación de dos biopolímeros comúnmente utilizados en la medicina, polidioxanona y poliácido glicólico. Estos dos polímeros son ampliamente utilizados como material para la síntesis de suturas absorbibles y se están evaluando en el campo biomédico, en áreas que incluyen ortopedia, cirugía maxilofacial, cirugía plástica, administración de fármacos, aplicaciones cardiovasculares e ingeniería de tejidos [14] [15].

En la Tabla 4, se pueden observar algunas propiedades físicas y térmicas del polímero [15], que servirán para las ecuaciones que se utilizarán a continuación.

Tabla 4. Propiedades físicas y térmicas del poliácido glicólico.

Propiedades Físicas	
Densidad @25C	1530 (kg/m ³)
Contracción @100C	4%
Propiedades Térmicas	
Conductividad Térmica @23C	0.15 - 0.4 (W m ⁻¹ K ⁻¹)
Calor específico	1200 - 1350 (J K ⁻¹ kg ⁻¹)
Punto de fusión	225 a 230 °C

Fuente: Autor.

5.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS QUE SE DEBEN TOMAR EN CUENTA

Hay ciertas características que se deben tomar en cuenta para el moldeo por inyección. Estas características tienen un grado de importancia alto si se desea obtener la pieza con las mejores condiciones posible. Estas características son:

5.3.1 Contracción y conicidad

Es imprescindible conocer la contracción del material que se va a utilizar ya que, al enfriarse el material, este se contrae. Para evitar obtener una pieza con dimensiones ligeramente menores a las originales, se multiplica las dimensiones reales de la pieza por el factor de contracción que en el caso del material que se va a usar, es de 0.04, según la Tabla 4.

La conicidad es otra característica clave de la pieza para poder extraerla del molde después de la inyección. Esto se debe a que en estado líquido el material caliente fluye hasta llenar los espacios de la cavidad del molde, pero al enfriarse, el material se contrae dificultando la extracción. Para evitar este tipo de dificultades se debe aplicar un ángulo de desmoldeo a la pieza para que su extracción sea más fácil. Para el ángulo de desmoldeo de la pieza se determinó que se usaría un ángulo de 0.5 en los lados de la pieza para facilitar la extracción de la pieza [16].

5.3.2 Contrasalidas

Las contrasalidas son geometrías que se deben evitar para no aumentar el precio o la complejidad del molde. Estas geometrías son partes de la pieza que requieren de una dirección de desmoldeo que no es perpendicular a la línea de partición, y que, por ende, quedarían atrapadas una vez la pieza estuviera acabada. En el caso de la pieza, esta no cuenta con contra salidas.

5.3.3 Rechupes y redondeos

Los rechupes son causados cuando hay partes de la pieza que son muy gruesas y la parte de la pieza en contacto con el aire se enfría a una velocidad mayor que el interior de la pieza provocando cavidades en la pieza. En el caso de la pieza, no cuenta con partes lo suficientemente gruesas como para causar rechupes.

Los redondeos en la pieza se recomiendan para evitar las aristas vivas y los ángulos rectos, ya que en estos puntos se provocan cambios bruscos de dirección, esto a su vez genera tensiones que pueden provocar deformaciones en la pieza. En este caso, la pieza cuenta con aristas, así que se debe inyectar el flujo de plástico de la manera más óptima para evitar las tensiones que se puedan producir.

5.3.4 Acabado superficial

Para obtener un buen acabado superficial en la pieza que queremos obtener es de suma importancia lograr un buen acabado superficial en el molde (macho y cavidad). Para ello se debe llevar acabo un mecanizado cuidadoso y ajustado. Para asegurar un buen acabado superficial, se establecerán las velocidades de corte necesarias para generar el acabado deseado.

5.4 CAVIDADES DEL MOLDE

El número de cavidades que se pueden colocar en el molde depende de varios factores. Los más importantes son el volumen de la pieza, cuyo valor es uno de los factores más importantes al momento de determinar la cantidad de cavidades que puede contener el molde, también es importante conocer las características de la maquina inyectora que influirán directamente en la determinación del número de cavidades, por último, también es importante conocer la geometría de la pieza y el peso de esta.

Para determinar el número de cavidades en el molde, nos apoyaremos con la fórmula (1), que se puede observar a continuación:

$$Fn = \frac{Sv}{Av} \quad (1)$$

Donde:

Fn Número de cavidades

Sv Capacidad máxima de inyección de la maquina (volumen)

Av Volumen de la pieza a inyectar

- Volumen de la pieza a inyectar:

Para poder establecer el volumen de la pieza, nos apoyaremos en el software NX, donde se realizó la pieza CAD. El programa nos proporciona las medidas exactas de la pieza, de acuerdo con el dimensionamiento del diseño, que podemos utilizar en los cálculos matemáticos para obtener valores exactos y precisos. Ya conociendo el material del cual está compuesta la pieza se puede calcular el volumen exacto de la pieza aplicando el porcentaje de contracción que se observa en la Tabla 4, dicho porcentaje afectara el número de cavidades del molde de inyección. El porcentaje de contracción del material de la pieza es del 4% a 100 °C, con este valor y el valor que nos brinda el software para el volumen de la pieza, Tabla 5, se puede establecer el volumen total de la pieza.

Establecido el volumen total de la pieza se procede a utilizar la capacidad máxima de inyección de una máquina para micro – inyección de plástico. Las capacidades máximas que manejan estas máquinas rondan los 0.4 gramos, como se observa en el Anexo 1, para una maquina M3-D32 para microinyección de plástico. Para tener un valor mucho más exacto de la capacidad máxima se utilizará la densidad del material que se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 5. Propiedades físicas de la pieza proporcionadas por el software NX.

Surface Area	44.5374	mm ²
Volume	7.7005	mm ³
Center of Mass	Point(1.3578e-07, -0.5000, 4.2217)	mm
Mass	6.03e-05	kg
Weight	0.0006	N
Moment of Inertia	{ 0.0013, 0.0013, 8.5373e-05}	kg·mm ²
Radii of Gyration	{ 4.5853, 4.6695, 1.1899}	mm
Principal Axes (Xp)	Vector(1.8292e-06, 1.0000, 9.9228e-06)	
Principal Axes (Yp)	Vector(1.0000, -1.8292e-06, 0.0)	
Principal Axes (Zp)	Vector(0.0000, 9.9228e-06, -1.0000)	
Principal Moments	{ 0.0002, 0.0002, 7.0299e-05}	kg·mm ²

Fuente: Autor.

$$Av = 7.7005 \text{ mm}^3 * 1.04$$

$$Av = 8.00852 \text{ mm}^3$$

$$Av = 0.00800852 \text{ cm}^3$$

Utilizando y despejando la fórmula (2) podemos determinar dicha capacidad.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Donde:

ρ Densidad del material $\rightarrow 1530 \text{ Kg/m}^3 \rightarrow 1.53 \text{ gr/cm}^3$

m Cantidad de masa posible a inyectar

V Volumen posible por inyectar

Despejando la formula (2), se tiene que:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V \rightarrow Sv$$

$$Sv = \frac{0.4 \text{ gr}}{1.53 \text{ gr/cm}^3}$$

$$Sv = 0.2614 \text{ cm}^3$$

Ya determinado estos valores se procede a calcular el número de cavidades en el molde utilizando la fórmula (1), reemplazando los valores se obtiene:

$$Fn = \frac{0.2614 \text{ cm}^3}{0.00800852 \text{ cm}^3}$$

$$Fn = 32.65$$

5.5 CAPACIDAD DE INYECCIÓN

Uno de los factores más importantes al momento de la fabricación de un molde es la geometría de la pieza, así como el peso de esta, esta información, que depende de la pieza que escojamos, nos ayudara en la realización de los cálculos como el de la fuerza de cierre necesaria para poder realizar la inyección en la máquina.

5.5.1 Fuerza de cierre de la maquina

La fuerza de cierre se refiere a la fuerza necesaria para mantener las placas del molde juntas, al momento de la inyección del plástico, para que no se abra el molde. Para evitar esto la fuerza de cierre debe ser mayor a la fuerza de inyección. Dicha fuerza de cierre se puede calcular con la formula (3), mostrada a continuación:

$$Fc = A * Pi \quad (3)$$

Donde:

Fc Fuerza de inyección de la maquina

A Área de la pieza a inyectar

Pi Presión interna en el molde de inyección

- Área de la pieza a inyectar:

Como se muestra en la Tabla 5, haciendo uso del software de modelamiento de piezas NX, se obtuvieron varias medidas de la pieza, entre ellas, el área superficial de la pieza que nos ayudara para el cálculo de la fuerza de cierre.

Según la Tabla 5, el área total de la pieza es 44.53 mm².

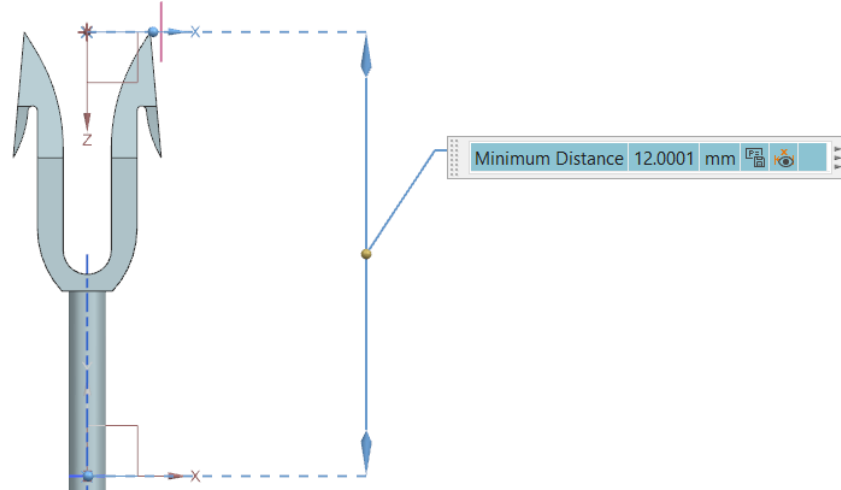
- Presión interior:

El valor de la presión interior es una variable que depende de la longitud del recorrido de flujo, el espesor de pared y el tipo de polímero a inyectar.

Longitud de recorrido del flujo:

Para la determinación de este valor se procede a tomar en cuenta la longitud que va a recorrer el polímero desde el bebedero hasta el punto más lejano de la pieza. En el caso de esta investigación no se tomará en cuenta un bebedero porque se tiene pensado que el bebedero será parte de la inyectora de plástico.

Imagen 13. Longitud de recorrido del flujo hasta el final de la pieza.



Fuente: Autor.

Como se observa en la Imagen 13, la longitud que debe recorrer el flujo desde el extrusor de plástico es de 12 mm. Ya que desde el punto de inyección hasta la pieza hay 5 mm de distancia y la pieza tiene 7 mm de largo, tenemos que:

$$LT = (5 + 7) \text{ mm}$$

$$LT = 12 \text{ mm}$$

Cálculo de la relación de flujo:

Para el cálculo de la relación de flujo se utiliza una ecuación básica que consiste en dividir el recorrido del flujo entre el espesor de pared. Esta ecuación se expresa en la fórmula (4) de la siguiente manera:

$$RF = \frac{rf}{Ep} \quad (4)$$

Donde:

RF Relación de flujo

rf Recorrido del flujo

Ep Espesor de pared

Reemplazando valores en la formula (4), se obtiene que la relación de flujo es:

$$RF = 12:1$$

Con ayuda del nomograma que se encuentra en el Anexo 2, se puede determinar la presión interna que se genera en las cavidades del molde cuando se está inyectando el material. Esto es posible ya que se cuenta con dos

valores que se pueden ingresar en el nomograma para obtener un valor cercano al valor de presión interno que se obtendría en nuestro molde. El valor 12:1 no se observa en la tabla así que se debe trazar una línea imaginaria e interceptarla con la línea vertical de espesor de pared de 1 mm. Haciendo este ejercicio en el nomograma obtenemos un valor que oscila entre los 30 bares.

$$P_i = 30 \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} \rightarrow 1.02 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$P_i = 30.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Con los valores ya establecidos se procede a utilizar la formula (3) para el cálculo de la fuerza de inyección:

$$A = 44.53 \text{ mm}^2 \rightarrow 0.4453 \text{ cm}^2$$

$$F_c = 0.4453 \text{ cm}^2 * 30.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$F_c = 13.63 \text{ kgf}$$

Este valor para la fuerza de inyección es realmente pequeño, el hecho de que la pieza a moldear sea tan pequeña tiene mucho que ver en el valor obtenido para el valor de la fuerza. Esta fuerza puede ser abastecida por casi cualquier inyectora de plástico con facilidad.

5.6 ANÁLISIS TÉRMICO

El análisis térmico de la pieza se realiza con el fin de conocer que tanto calor se debe remover de la pieza para que esta tenga una solidificación sin que se presenten ningún tipo de imperfecciones tales como el rechupe o problemas de porosidad en la pieza.

5.6.1 Cálculo del tiempo de enfriamiento

Esto se refiere al tiempo necesario, una vez esté lleno el molde (cuando el molde está totalmente lleno, para que la pieza alcance la rigidez y el soporte necesario para que una vez sea expulsada no tenga ningún defecto. Siendo este uno de los factores más importantes para obtener calidad y características

optimas en la pieza. Se debe hacer un análisis para saber si es necesario un canal de enfriamiento o si el molde no requiere dicho canal para un correcto funcionamiento.

Para la determinación del tiempo de enfriamiento del sistema se va a considerar una conductividad termina unidimensional y un campo de temperatura no estacionario.

Para el cálculo del tiempo de desmoldeo de la pieza se utilizará la formula (5), sacada del Anexo 3, la cual indica el tiempo requerido para que la temperatura alcance la temperatura de eyección.

$$t = \frac{h^2}{\alpha \pi^2} \ln \left[\frac{4}{\pi} \left(\frac{T_m - T_w}{T_e - T_w} \right) \right] \quad (5)$$

Donde:

t Tiempo requerido para que la temperatura alcance la temperatura de desmoldeo

h Es el espesor de la pared del porta molde (m)

α Es la difusividad térmica del polímero = $k / \rho c$ (m^2/s)

k Es la conductividad térmica del polímero (W/m^0K)

ρ Es la densidad del polímero (kg/m^3)

c Es el calor especifico del polímero (J/kg^0K)

T_m Es la temperatura de fusión del polímero (0C)

T_e Es la temperatura de eyección del polímero (0C)

T_w Es la temperatura del molde (0C)

Los valores para poder establecer la formula (5) se ilustran en la tabla 4.

$$t = \frac{h^2}{\alpha \pi^2} \ln \left[\frac{8}{\pi^2} \left(\frac{T_m - T_w}{T_e - T_w} \right) \right]$$

Lo primero que se debe hacer es encontrar el valor de la difusividad térmica (α), que se puede lograr utilizando la formula (6).

$$\alpha = \frac{k}{\rho c} \quad (6)$$

Donde:

k Es la conductividad térmica del polímero (W/m⁰K)

ρ Es la densidad del polímero (kg/m³)

c Es el calor específico del polímero (J/kg⁰K)

Reemplazando los valores en la formula (6), con los valores que se tienen en la tabla 3, se obtiene el siguiente resultado:

$$\alpha = \frac{0.35(\frac{W}{m K})}{1530(\frac{kg}{m^3}) * 1300(\frac{J}{K kg})}$$

$$\alpha = 1.7597 * 10^{-7}(\frac{m^2}{seg})$$

Conociendo el valor de la difusividad térmica, se procede a encontrar el valor del tiempo para que la pieza alcance la temperatura de desmoldeo, haciendo uso de la formula (5) mostrada anteriormente. Se definió un espesor de pared de 1 mm para el molde ya que ese es el ancho de la pieza completa.

$$t = \frac{(0.001m)^2}{1.7597 * 10^{-7}(\frac{m^2}{seg}) * \pi^2} \ln [\frac{4}{\pi}(\frac{230 - 60}{100 - 60})]$$

$$t = 0.9722 seg$$

5.6.2 Refrigeración del molde

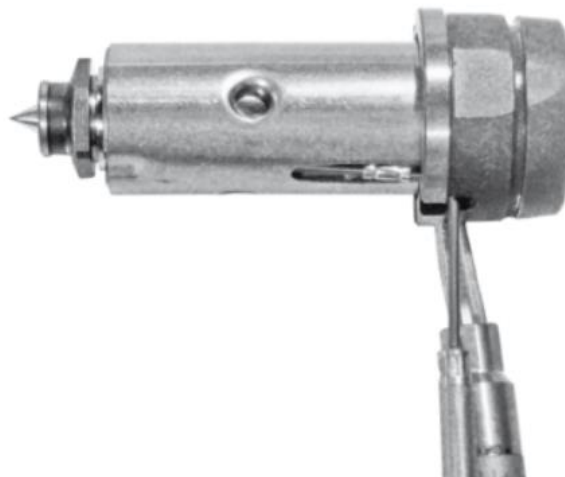
En moldes de dimensiones grandes se suelen realizar canales de refrigeración en el molde para evitar el sobrecalentamiento del material después de cada inyección de plástico. En el caso del molde de microinyección de plástico no se requiere de dichos canales por las dimensiones tan pequeñas del mismo, ya que el calor se disipa de mejor forma en el material. Como se puede observar, haciendo uso de la formula (4), para obtener la temperatura de desmoldeo solo se requieren 0.7 segundos, lo que significa que no es necesario hacer uso de ningún dispositivo de refrigeración.

5.7 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

5.7.1 Cálculo del bebedero

Para el caso de este trabajo de esta investigación no se hará uso de un sistema de bebedero, lo que se pretende es utilizar un bebedero de colada caliente, también conocido como “Hotrunner nozzle”, como se puede observar en la Imagen 14, que va conectado directamente al inyector de plástico controlando de esta forma la temperatura del fluido y la cantidad de polímero que se inyecta a la cavidad del molde.

Imagen 14. Hotrunner Nozzle, referencia H33205/Typ/20x50.



Fuente: Catalogo H, Hotrunner nozzles de Hasco.

Este Hotrunner nozzle se debe introducir en la apertura deberá tener la placa fija y la placa porta-molde fija, de tal manera que la punta del Hotrunner quede posicionado en el sistema de distribución de fluido que está en los porta-moldes.

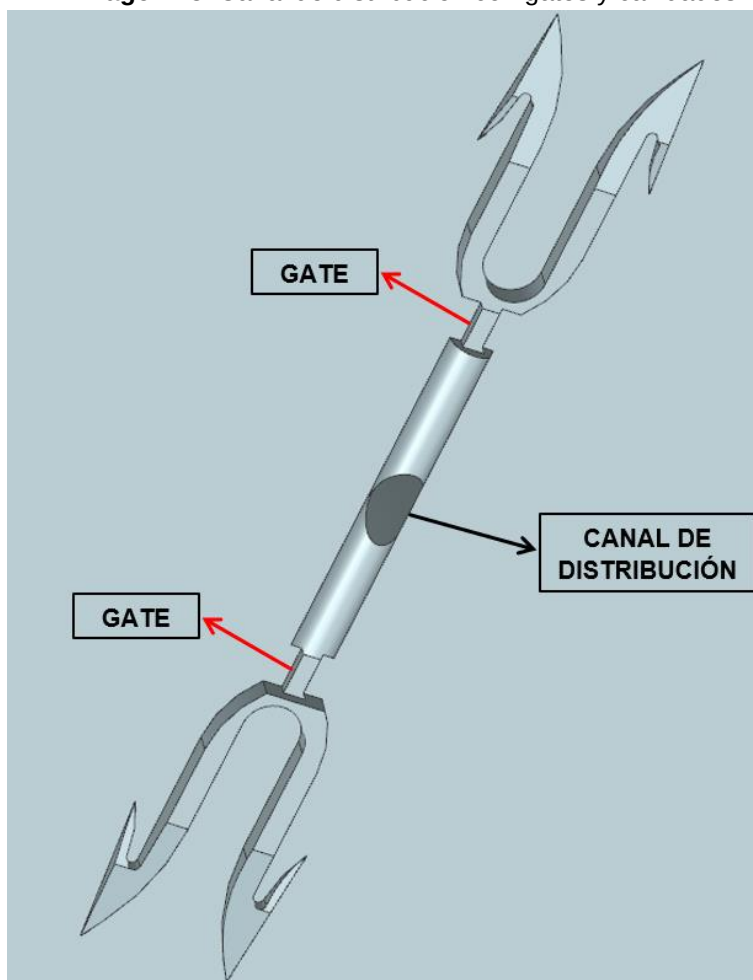
En el Anexo 4 se pueden encontrar las especificaciones técnicas del Hotrunner nozzle que se va a utilizar para la inyección de plástico en el molde.

5.7.2 Canales de distribución

Para los canales de distribución debido a que solo serán dos cavidades, se decidió incorporar un canal de distribución simple de 1mm de diámetro y 8 mm de largo y dos gates de 0.5 mm de alto, 0.5 de ancho y 1 mm de profundidad como se observa en la Imagen 15, a estos gates se les aplico el mismo ángulo

de desmoldeo que se utilizó en la pieza el cual es 0.5 grados. Esto con el fin de que el fluido llegue de la mejor forma posible a las cavidades de la pieza.

Imagen 15. Canal de distribución con gates y cavidades.



Fuente: Autor.

5.8 SISTEMA DE EXPULSORES

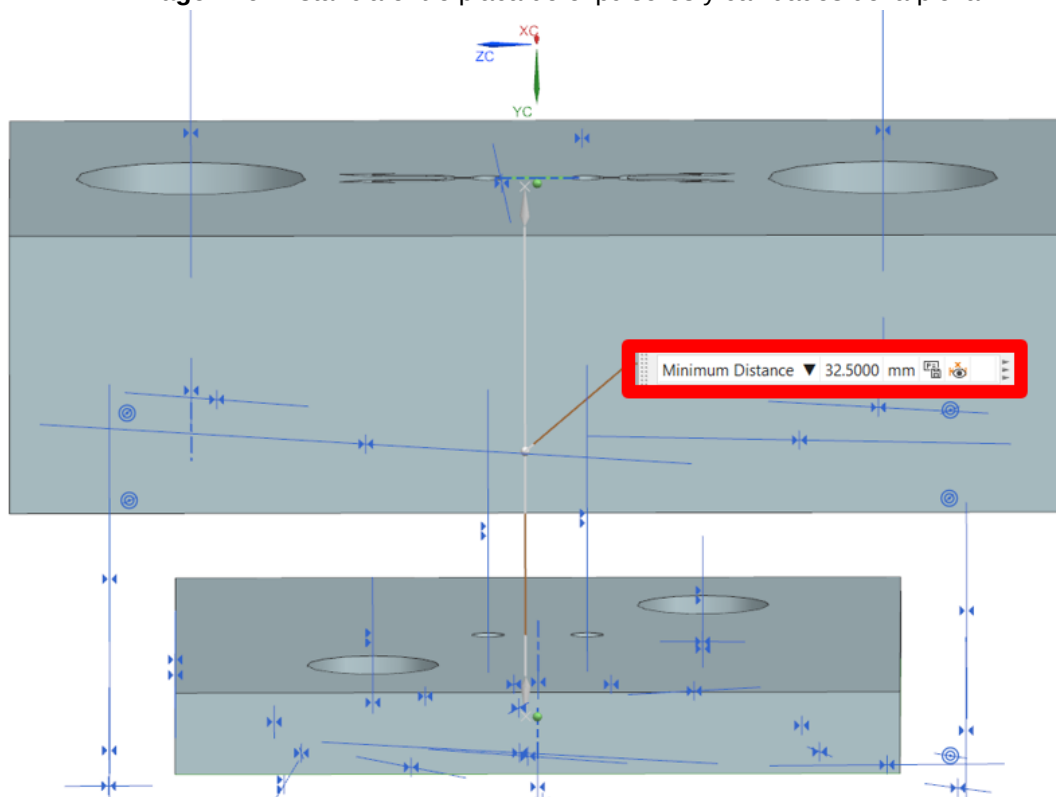
Los elementos de expulsión son una parte muy importante del molde ya que se encargan de sacar la pieza ya moldeada para su posterior recolección y utilización. Los expulsores deben estar posicionados de tal forma que faciliten la expulsión de forma rápida y sencilla de la pieza. Los mismos deben poseer una buena área de contacto con la pieza, para poder determinar el número de expulsores, así como su ubicación se pueden utilizar los siguientes cálculos:

5.8.1 Cálculo de expulsores para la placa de expulsores

Para poder realizar el cálculo se debe conocer la distancia que existe entre la pieza a expulsar a la placa donde van a ir posicionados los expulsores, ya que

de esta medida dependerá la longitud que tendrán dichos expulsores. En el caso del molde que se va a realizar, la distancia entre la placa donde van posicionados los expulsores y la pieza a expulsar hay una distancia de 32.5 mm, como se observa en la Imagen 16. Lo que nos indica que tendremos que conseguir expulsores de 40 o 35 mm de largo y cortarlos hasta dicha distancia.

Imagen 16. Distancia entre placa de expulsores y cavidades de la pieza.



Fuente: Autor.

Una vez conocida la distancia que tendrán los expulsores que se utilizarán en el molde se continúa a la estimación del diámetro que tendrán dichos expulsores, el valor estimado del diámetro que se pretende utilizar en los expulsores es de 2 mm, con estos valores estimados se podrán realizar los cálculos para conocer si los valores establecidos serán los más convenientes para que los expulsores cumplan con su función de la mejor manera posible al momento de la expulsión de la pieza ya inyectada y solidificada.

Para el cálculo de los expulsores se tomará en cuenta la teoría de diseño de columnas ya que los expulsores cumplen una función muy parecida a la descrita en esta teoría. Algo que se debe tomar muy en cuenta al momento de estos cálculos es el material del cual estarán hechos los expulsores, en nuestro caso se utilizara acero AISI L2, también conocido como “Acero plata”, material muy utilizado en herramientas y piezas de precisión como se observa en el Anexo 5.

Calculo para el área de contacto de los expulsos:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (7)$$

Donde:

A Área de contacto de los expulsos

D Diámetro estimado de los expulsos

$$A = \frac{\pi * (2 \text{ mm})^2}{4}$$

$$A = 3.1416 \text{ mm}^2$$

$$A = 3.1416 * 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Cálculo de la inercia de los expulsos:

$$I = \frac{\pi * D^4}{64} \quad (8)$$

Donde:

I Inercia de los expulsos

D Diámetro estimado de los expulsos

$$I = \frac{\pi * (2 \text{ mm})^4}{64}$$

$$I = 0.785 \text{ mm}^4$$

- Cálculo de la relación de esbeltez

$$\frac{l}{k} = \frac{l}{\frac{d}{4}} \quad (9)$$

Donde:

l Longitud de los expulsores

d Diámetro estimado de los expulsores

$$\frac{l}{k} = \frac{32.5 \text{ mm}}{\frac{2 \text{ mm}}{4}}$$

$$\frac{l}{k} = 65$$

Conociendo estos valores se procede a determinar de qué tipo de columna se trata utilizando la relación de esbeltez, para poder hacer dicha determinación se utiliza la constante de las condiciones en los extremos (C), las diferentes constantes que se pueden utilizar se aprecian en el Anexo 6.

$$\left(\frac{l}{k}\right)_1 = \left(\frac{2 * \pi^2 * C * E}{S_y}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

Donde:

C Constante de condiciones en los extremos para columnas

E Modulo de elasticidad para el acero L2

S_y Resistencia a la fluencia

$$\left(\frac{l}{k}\right)_1 = \left(\frac{2 * \pi^2 * 2 * 210000 \text{ MPa}}{595 \text{ MPa}}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\left(\frac{l}{k}\right)_1 = 118.0405$$

Se debe realizar una comparación de los valores obtenidos para determinar el tipo de columna que se asemejan a los expulsores:

$$\left(\frac{l}{k}\right)_1 > \frac{l}{k} \quad (11)$$

$$118.0405 > 65$$

Observando los valores obtenidos en la ecuación 11, se determina que se trata de una columna de longitud intermedia con carga centrada de compresión

pura, lo dicho se verifica haciendo uso del libro [17], dicha determinación se utiliza para calcular el valor de la carga generada por unidad de área.

$$\frac{P}{A} = Sy - \left(\frac{Sy}{2\pi} * \frac{l}{k} \right)^2 \frac{1}{C * E} \quad (12)$$

Haciendo uso del Anexo 6, ya que se determinó que es una columna de longitud intermedia con carga centrada el valor correspondiente de C es 2. Despejando la carga se tiene que:

$$P = Sy - \left(\frac{Sy}{2\pi} * \frac{l}{k} \right)^2 \frac{1}{C * E} * A$$

$$P = 595 \text{ MPa} - \left(\frac{595 \text{ MPa}}{2\pi} * 65 \right)^2 \frac{1}{2 * 210000 \text{ MPa}} * 3.1416 \text{ mm}^2$$

$$P = (504.79 \text{ MPa}) * 3.1416 \text{ mm}^2$$

$$P = 1585.85 \text{ N}$$

$$P = 1.58 \text{ kN}$$

Una vez determinado el valor de la carga que se va a utilizar en un solo expulsor, se puede determinar la fuerza que se necesitara para el conjunto de expulsos que forman parte del molde, que, en nuestro caso, son dos. Sabiendo esto, tenemos que:

$$P_{total} = 1.58 \text{ kN} * 2$$

$$P_{total} = 3.16 \text{ kN}$$

Este valor es de suma importancia ya que, al momento de escoger una inyectora de plástico, se debe tomar en cuenta este valor debido a que la fuerza del cilindro expulsor de dicha maquina debe abastecer la fuerza total para que se pueda expulsar la pieza moldeada sin ningún tipo de problema.

5.9 TIEMPO DE CICLO

El tiempo de ciclo es necesario para conocer el tiempo que llevara producir cada pieza. Este dato es importante, ya que en caso de que se quieran producir

varias piezas, se debe conocer este dato para determinar la cantidad de piezas que se pueden producir en un determinado periodo de tiempo. Para calcular el tiempo exacto del ciclo es necesario estar produciendo constantemente piezas y calcular el tiempo exacto que toma cada ciclo. En este caso haremos un aproximado que se puede calcular de la siguiente manera:

$$tk = T + tR + tL \quad (13)$$

Donde:

tk Tiempo de ciclo

T Tiempo de enfriamiento

tR Tiempo de reinicio

tL Tiempo de llenado

5.9.1 Tiempo de llenado (tL)

El tiempo de llenado se determina haciendo uso de un nomograma que se observa en el Anexo 7, según el artículo [18]. Ya que se sabe de antemano que la pieza es muy pequeña se conoce que el tiempo de llenado será muy pequeño, incluso por debajo del segundo.

Según el nomograma, el tiempo de llenado depende del peso de la pieza. El peso de la pieza que queremos moldear es muy bajo, aproximadamente de 0.012 gramos. Este peso es tan bajo que no se puede apreciar en dicho nomograma por lo cual se decide establecer que el tiempo de llenado sería de 0.25 segundos.

5.9.2 Tiempo de reiniciado (tR)

El tiempo de reiniciado contempla tres tiempos que son muy importantes en el proceso. El tiempo de apertura, el tiempo de expulsión y el tiempo de cierre. El estándar para las maquinas inyectoras de plástico es de 2 segundos cada uno. Los que nos da un tiempo de 6 segundos correspondientes al tiempo de reiniciado aproximado para la inyectora de plástico.

5.9.3 Tiempo de enfriamiento (T)

El tiempo de enfriamiento es el que corresponde al tiempo que se tarda el molde en enfriarse. Este valor fue previamente calculado utilizando la fórmula

5, en el apartado de análisis térmico del molde. Este cálculo nos dio un resultado de 0.97 segundos.

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación 13, se tiene que:

$$tk = 0.97 s + 6 s + 0.25 s$$

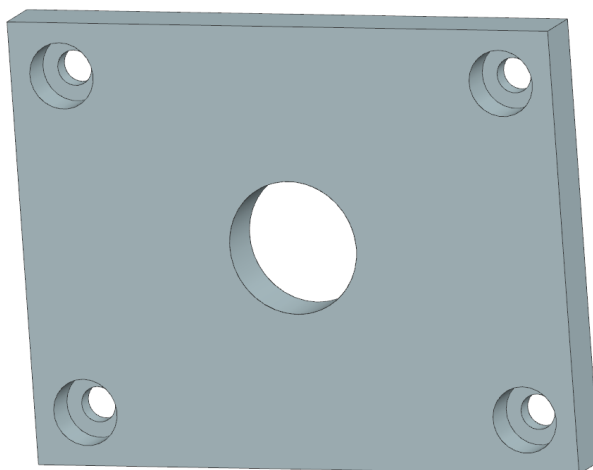
$$tk = 7.22 s$$

5.10 COMPONENTES DEL MOLDE

5.10.1 Placa base móvil

La placa base móvil va sujeta al plato de sujeción móvil de la máquina inyectora haciendo uso de bridas, teniendo las mismas dimensiones iguales a las de la base fija. Esta placa cuenta con 4 agujeros donde van cuatro pernos M4 x 0.7 para poder sujetar las paralelas y a la vez la placa porta-molde móvil.

Imagen 17. Placa base móvil.



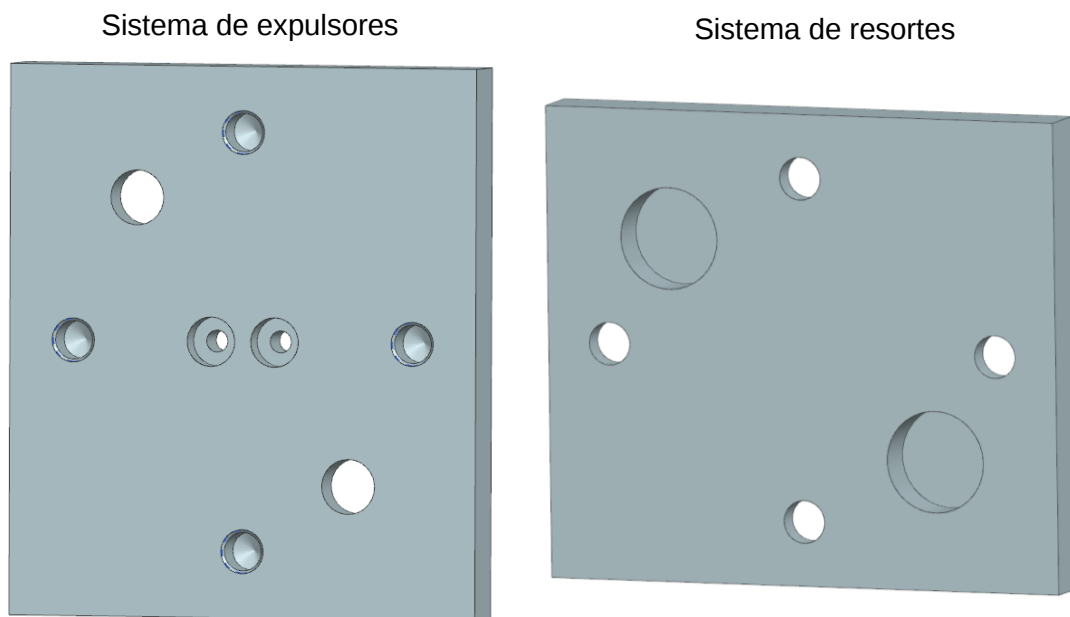
Fuente: Autor.

5.10.2 Placas expulsoras

Estas placas son utilizadas para el sistema de expulsión de la pieza, en la placa de los expulsores (sistema expulsor, Imagen 18) van a ir dos expulsores de 2 mm de diámetro y 32.5 mm de largo. Van adheridas a la placa donde se colocará el tornillo tope (sistema de resorte, Imagen 18) mediante 4 tornillos cabeza plana M4 x 6. Además de contar con dos agujeros de 5 mm de diámetro por donde pasara el eje principal del tornillo tope.

Esta servirá como tope de los expulsores, accionando a la placa y a los expulsores cuando el cilindro de expulsión sea accionado.

Imagen 18. Placas expulsoras.



Fuente: Autor.

5.10.3 Paralelas

Son las encargadas de sujetar la placa porta molde móvil y la placa base móvil. La misma se encuentra estas estas dos placas y va unida a ellas, además de esto, tiene la función de ser guía de las placas expulsoras. Como se puede observar en la Imagen 19, en ellas hay dos agujeros pasantes por donde entraran 4 tornillos M4x0,7 que se encargaran de unir los tres componentes (placa base móvil, paralelas y porta-molde móvil).

Imagen 19. Paralela.

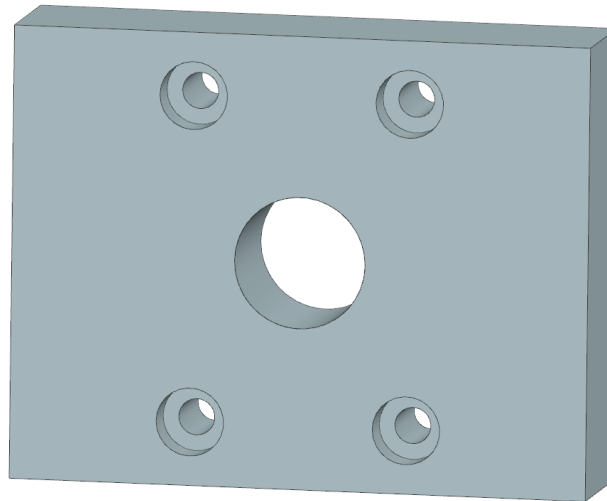


Fuente: Autor.

5.10.4 Placa base fija

Las dimensiones de la placa base fija y la placa base móvil son las mismas, la diferencia es que su función es brindar el centrado del bebedero para que se facilite el ingreso de la colada (polímero) en una forma proporcional y simétrica mediante un anillo centrador.

Imagen 20. Placa base Fija.

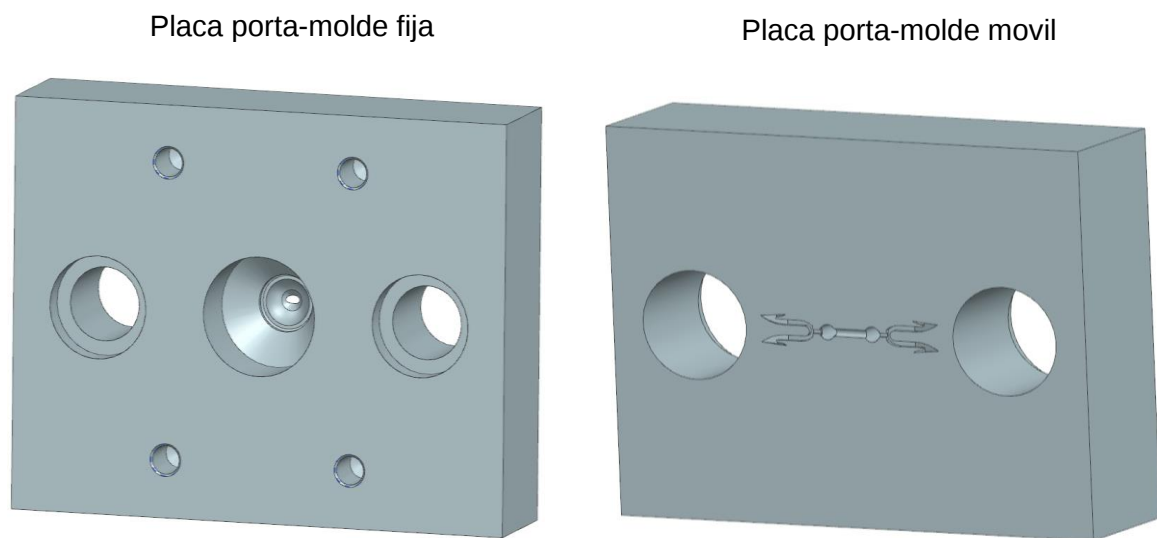


Fuente: Autor.

5.10.5 Placa porta-molde fija y móvil

Estas placas constituyen en si el corazón del molde en donde se unen para poder realizar el proceso de inyección en donde reciben la colada (polímero) por medio del sistema de alimentación el mismo que proviene de la máquina inyectora la cual provee este a una gran presión, siendo este motivo uno de los principales por los cuales el dimensionamiento de estas placas debe ser el adecuado así evitando deformaciones por rozamiento o por esfuerzos generados en el proceso de inyección.

Imagen 21. Placas porta-molde.

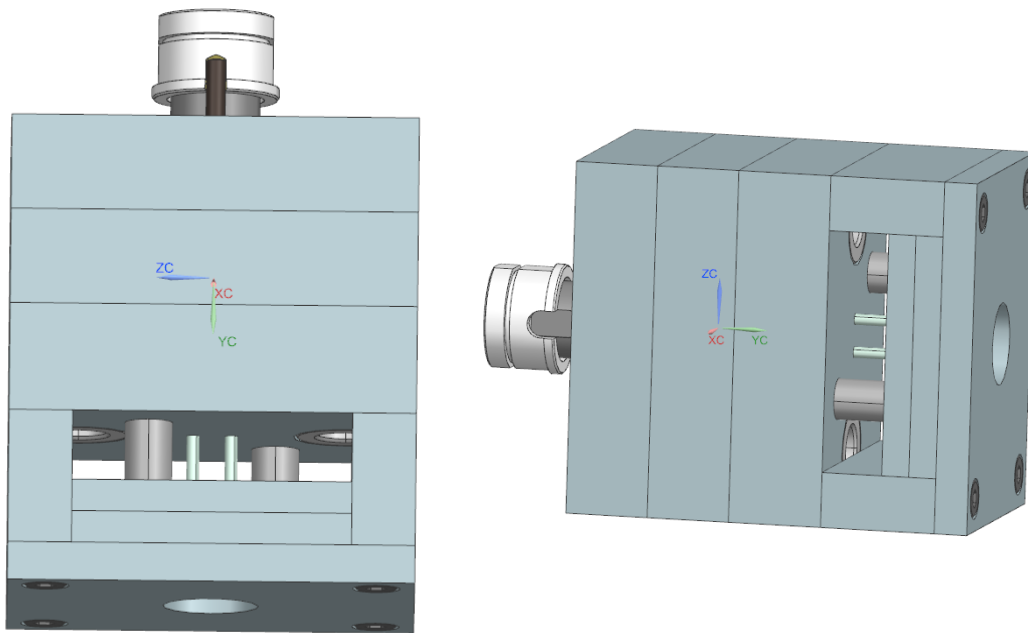


Fuente: Autor.

5.11 PROTOTIPO FINAL DEL MOLDE

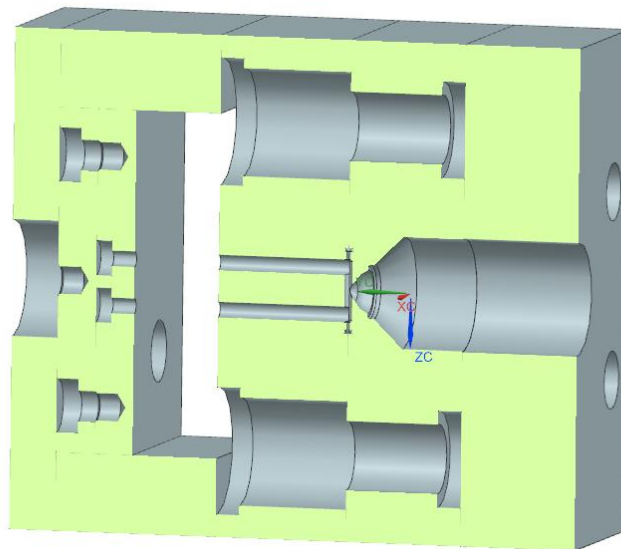
Tomando en cuenta todos los valores obtenidos en las ecuaciones de diseño del molde, se procedió a hacer el diseño CAD del molde, con ayuda del software NX a continuación en la Imagen 22, Imagen 23 y la Imagen 24 se muestran algunas vistas del diseño final para el molde de microinyección de plástico:

Imagen 22. Vista libre del prototipo del molde.



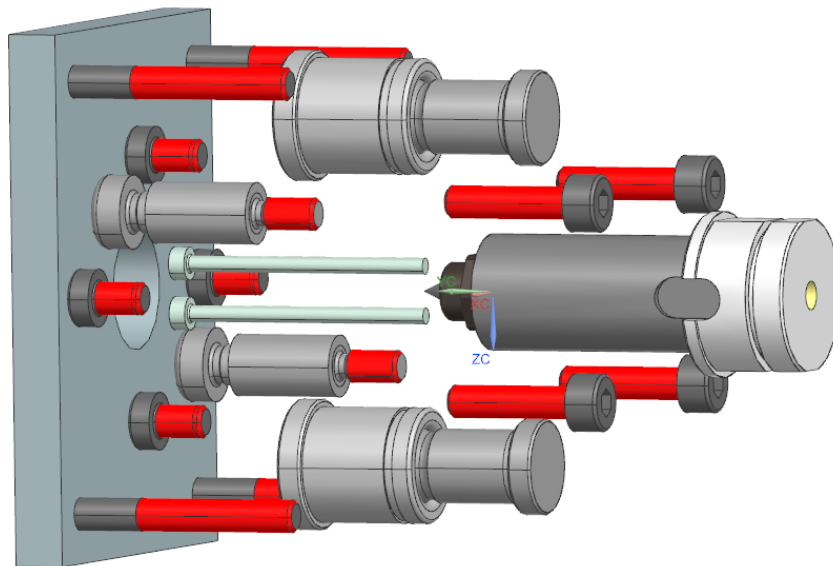
Fuente: Autor.

Imagen 23. Vista libre de diseño del molde cortado sin piezas estandarizadas.



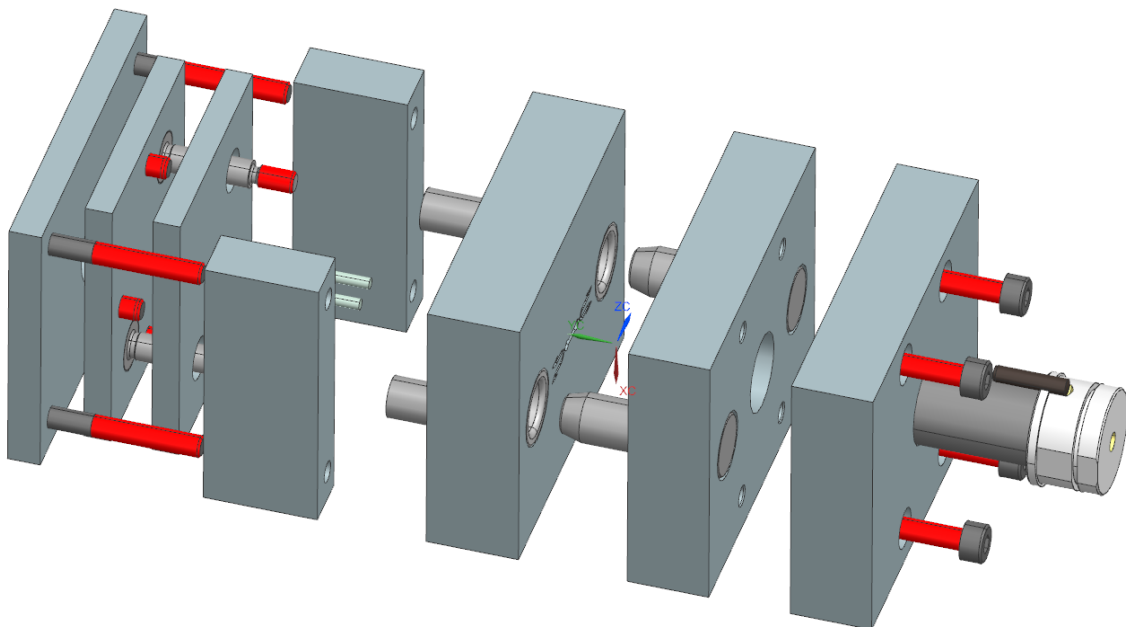
Fuente: Autor.

Imagen 24. Vista libre de las piezas estandarizadas sin el molde, utilizando la placa base como referencia.



Fuente: Autor.

Imagen 25. Explosionado del molde.



Fuente: Autor.

Los planos del molde se anexan al documento, en el apartado 11 de planos, para que se puedan observar las dimensiones exactas de los componentes del molde en caso de ser necesario.

6. MANUFACTURA DE COMPONENTES PRINCIPALES (CAM)

Para la manufactura asistida por computador, se escogieron tres partes que componen el molde, a las cuales se les hará su debido proceso de manufactura con su respectiva hoja de proceso, estas tres piezas son fundamentales para la obtención de la pieza deseada. Esto se hará debido a que el resto de las partes, carecen de geometrías o dimensiones que impliquen una dificultad alta al momento de elaborarlas en el centro de mecanizado.

Las tres piezas a las cuales se les hará el proceso de manufactura son:

- Placa porta-molde fija

Esta placa se compone de un agujero principal en la cara superior de esta, como se ve en la Imagen 21, en la cual estará situado el “Hot runner”, este agujero desemboca en la apertura que da paso a las cavidades que serán rellenadas de la colada. Además, tiene cuatro agujeros roscados que se encargan de sujetar y fijar esta placa al soporte que va fijado a la inyectora de plástico. Por último, en esta placa van dos agujeros donde estarán situados los pernos guías que se encargan del acople justo de la placa porta-molde fija con la móvil.

- Placa porta-molde móvil

Es la que se encarga de llevar los dos bujes guías que tienen como objetivo permitir el paso de los pernos guías, impidiendo que este se desvíe para un buen acople de las dos placas. Además de esto, en la cara inferior de la placa, van situados cuatro agujeros roscados M4x0.7 que se encargan de sujetar el sistema móvil entre sí. Dos agujeros roscados M5x0.8 fijaran el tornillo muelle donde van los resortes encargados de situar las placas expulsoras en su posición inicial. Por último, lleva dos agujeros pasantes de 2 mm que son las guías de los expulsores. Esta placa se puede observar en la Imagen 21.

- Positivo de la micro grapa

El positivo de la micro grapa, Imagen 27, es la geometría que se va a maquinar en el material que se utilizará como electrodo al momento de realizar la técnica de electroerosión por penetración para el maquinado de las cavidades del molde.

6.1 MÉTODO DE MECANIZADO DE LA CAVIDAD

Debido a las cuatro aristas que se encuentran en la pieza se optó por un método de mecanizado que pueda otorgar un mecanizado más preciso y así poder obtener las puntas deseadas en la grapa para una buena penetración

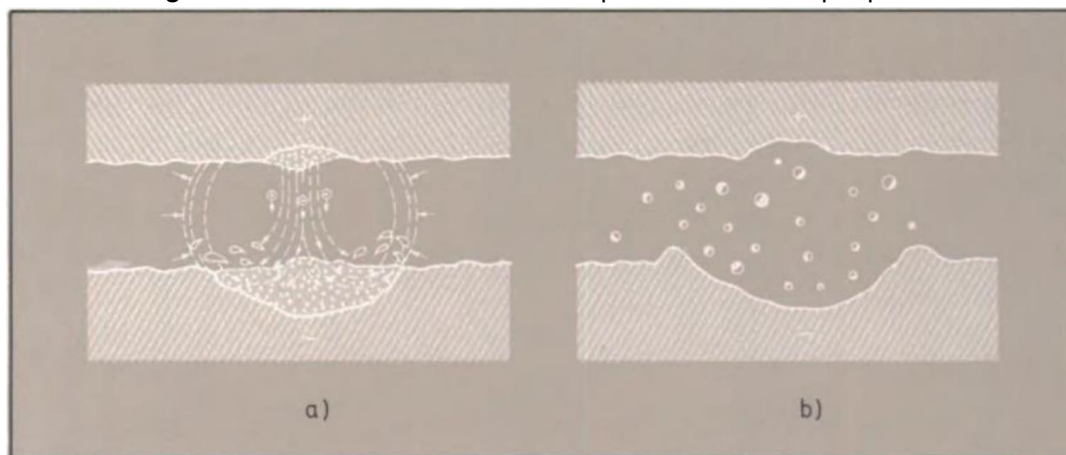
en la piel del paciente en el que se vaya a utilizar. El método de mecanizado de la pieza en el molde fue la electroerosión por penetración.

6.1.1 Electroerosión por penetración

La electroerosión por penetración es un tipo de mecanizado en el que el metal se arranca de la pieza a mecanizar al aplicar una fuerza electromotriz entre este y un electrodo-útil sumergido en un líquido dieléctrico, como se observa en la Imagen 26. El líquido dieléctrico se utiliza ya que, si entre el electrodo y la pieza que se está mecanizando solo existiera aire, no se produce la electroerosión, ya que al saltar la chispa se ionizaría el aire, ramificando la descarga y calentando la pieza sin arrancar el material.

El líquido dieléctrico ayuda a que esto no ocurra ya que las descargas se concentrarían alcanzando densidades muy elevadas de corriente provocando la fusión instantánea de diminutas partículas metálicas de la pieza que se está mecanizando, dichas partículas deben ser removidas de la zona lo más rápido posible ya que modifican la conductividad del líquido, generalmente estas partículas se eliminan por agitación del baño.

Imagen 26. Mecanismo del mecanizado por electroerosión por penetración.

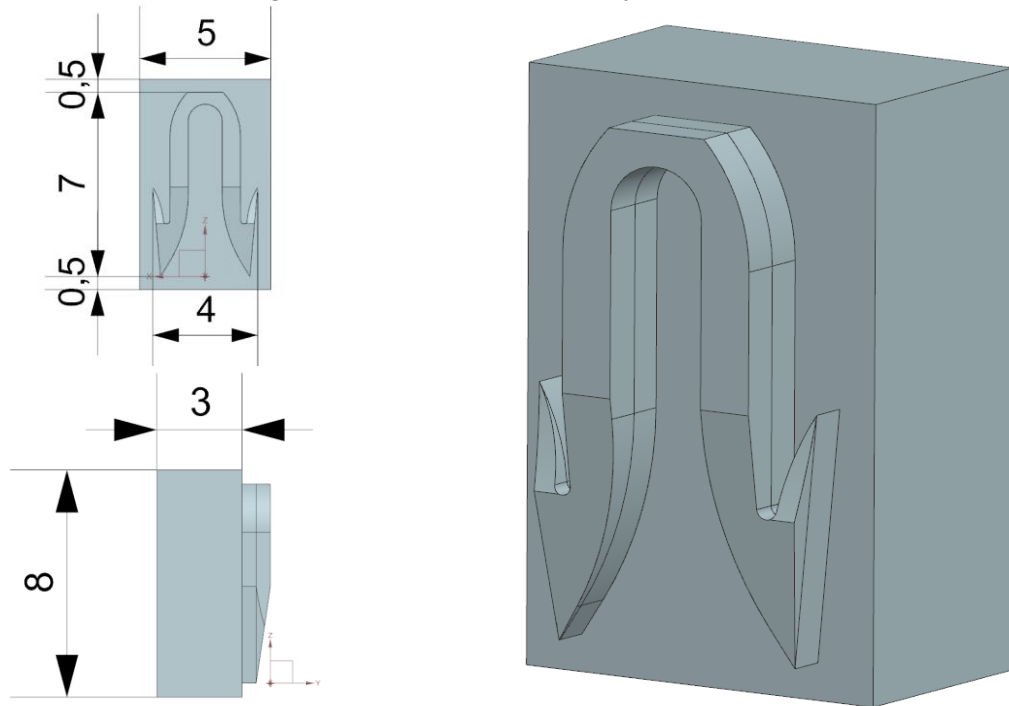


Fuente: [11].

Con este tipo de mecanizado se pueden lograr tolerancias que rondan los 25 μm con una pasada de desbaste relativamente rápida. Cortar la potencia y reducir la presión de descarga puede ayudar para obtener un desbaste que alcance alrededor de los 10 μm . Lo que nos puede garantizar obtener las aristas que deseamos para las puntas de la micro grapa. Por esta razón se escogió este método de mecanizado para la cavidad del molde que será inyectada con el polímero.

Se realiza un positivo de la pieza para poder mandar a fabricar un electrodo que se pueda utilizar para mecanizar la cavidad en el molde. El positivo debe contemplar mitad de la pieza con su respectivo ángulo de desmoldeo y una extrusión de 2 mm de largo como se muestra en la Imagen 27.

Imagen 27. Electrodo de la micro pieza.



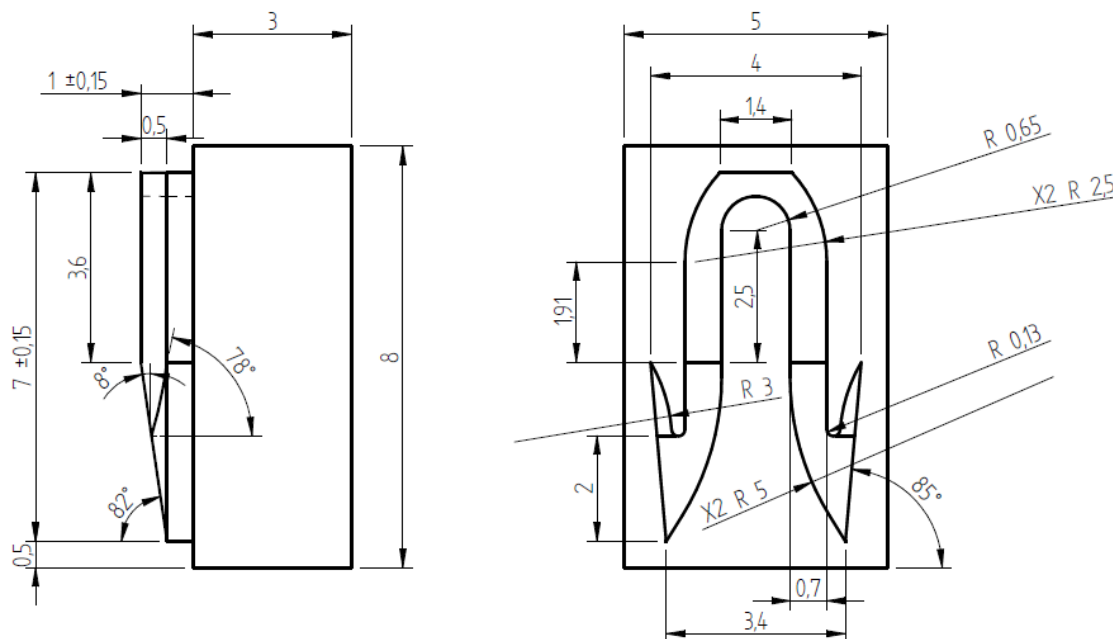
Fuente: Autor.

6.2 MANUFACTURA DEL ELECTRODO

6.2.1 Dimensiones del positivo de la pieza con tolerancias dimensionales principales

En la Imagen 28 se puede observar el dimensionamiento del positivo de la pieza que se desea mecanizar en el grafito con el fin de utilizarlo como electrodo para su futuro uso como electrodo en el proceso de electroerosión por penetración para realizar la cavidad de la pieza que se quiere obtener en el moldeado por inyección.

Imagen 28. Dimensiones y geometrías del positivo de la pieza.



Fuente: Autor.

6.2.2 Materia prima del electrodo

Para el caso de la materia prima para el electrodo que se va a utilizar en el método de electroerosión por penetración, es el grafito. Este material es comúnmente utilizado en la electroerosión por penetración, ya que, cuenta con algunas características que lo vuelven un material idóneo para este proceso, estas características son las siguientes:

- Es un material que tiene un bajo coeficiente de expansión térmica.
- Es excelente para resistir shocks térmicos.
- No se funde. Al momento de llegar a su límite térmico pasa directamente al estado gaseoso, lo que también colabora a que no se contamine el líquido dieléctrico.
- Es excelente conductor eléctrico, lo que le permite transmitir mayores corrientes lo que traduce a reducciones en los tiempos de mecanizado.
- Excelente resistencia mecánica.

6.2.3 Proceso de manufactura para el grafito

Para la manufactura del positivo de la pieza, se utilizará el método de micromaquinado, ya que, esta pieza tiene dimensiones en el orden de las micras que requieren el uso de microherramientas. Las condiciones y características de corte se obtienen de las especificaciones de las micro herramientas que se usarán para la realización del proyecto, en este caso se utilizarán las microherramientas *Emuge-Franken* referencia 2760A (Punta plana) y 2770A (Punta redonda), según el fabricante, de diámetros 0.2 y 0.5 mm respectivamente. Se seleccionaron estas micro herramientas para poder lograr las dimensiones complejas del electrodo de la pieza.

Para ilustrar el proceso de fabricación del positivo de la pieza, se realizó una hoja de proceso, que se muestra en el Anexo 9, que contuviera cada uno de los procesos por la cual atravesó la materia prima para obtener la pieza final haciendo uso de las condiciones de corte que se muestran en la Tabla 6. Los procesos por los cuales debe pasar la pieza se ilustran en la Imagen 29.

Tabla 6. Condiciones de corte para el grafito.

Condiciones de corte para el grafito								
	Herramienta	Z (teeth)	Vc (m/min)	fz (mm)	rpm	Ap (mm)	Ae (mm)	Vf (mm/min)
Material a mecanizar: Grafito	D 0.2	2	50	0.0015	80000	0.1	0.3	240
	D 0.5	2	125	0.0015	80000	0.25	0.3	240
	D 1	2	251	0.0015	80000	0.5	0.75	240
	D 5	5	400	0.0024	25500	1	0.75	245

Fuente: Autor.

Imagen 29. Proceso para la manufactura del positivo de la pieza.

1	Planeado	
2	Desbaste de paredes	
3	Desbaste de contorno	
4	Desbaste y acabado de superficie	
5	Desbaste y acabado	

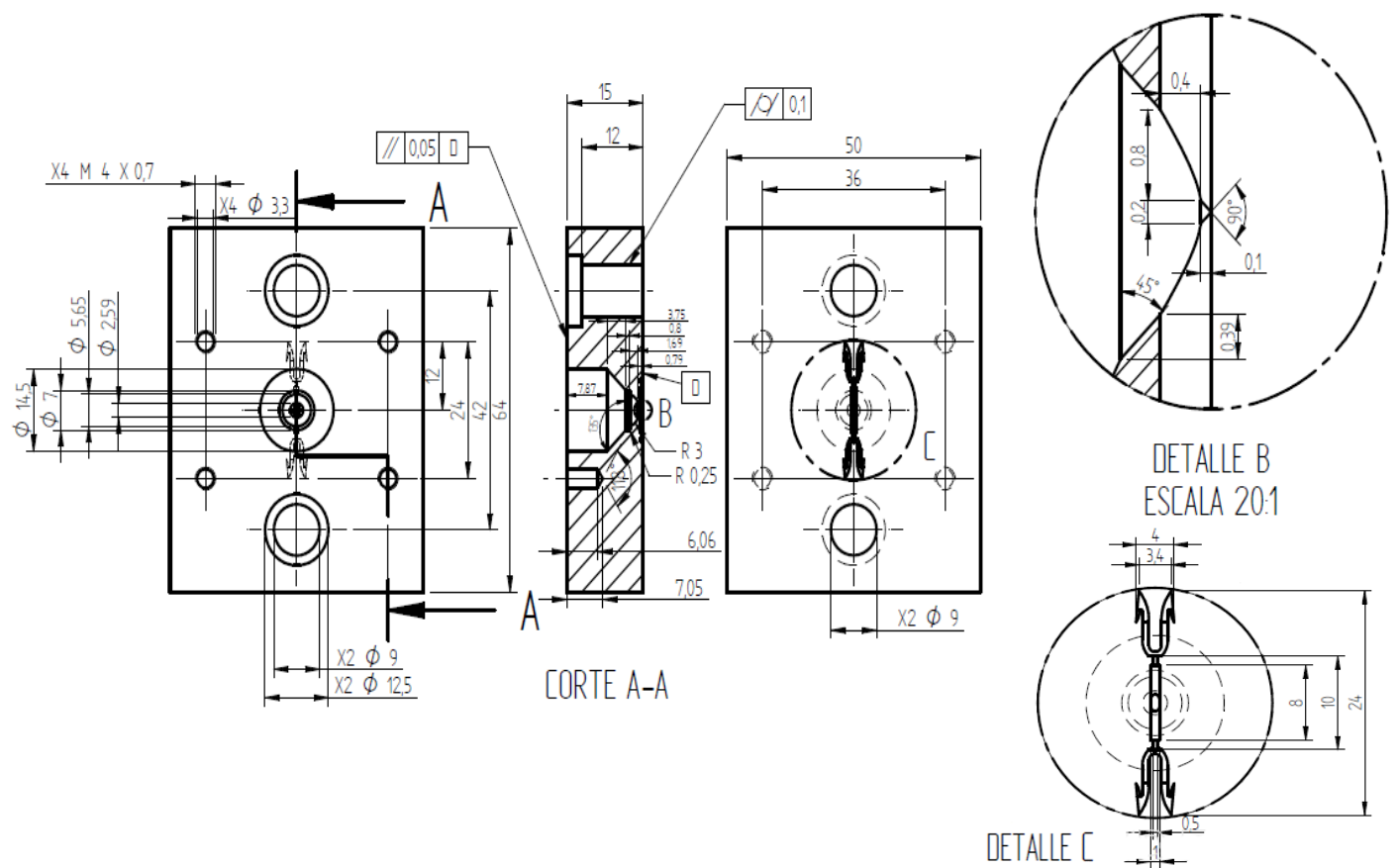
Fuente: Autor.

6.3 MANUFACTURA DE LA PLACA PORTA-MOLDE FIJA Y MÓVIL

6.3.1 Dimensiones y geometrías de las placas porta-molde fija y móvil, con tolerancias dimensionales y geométricas

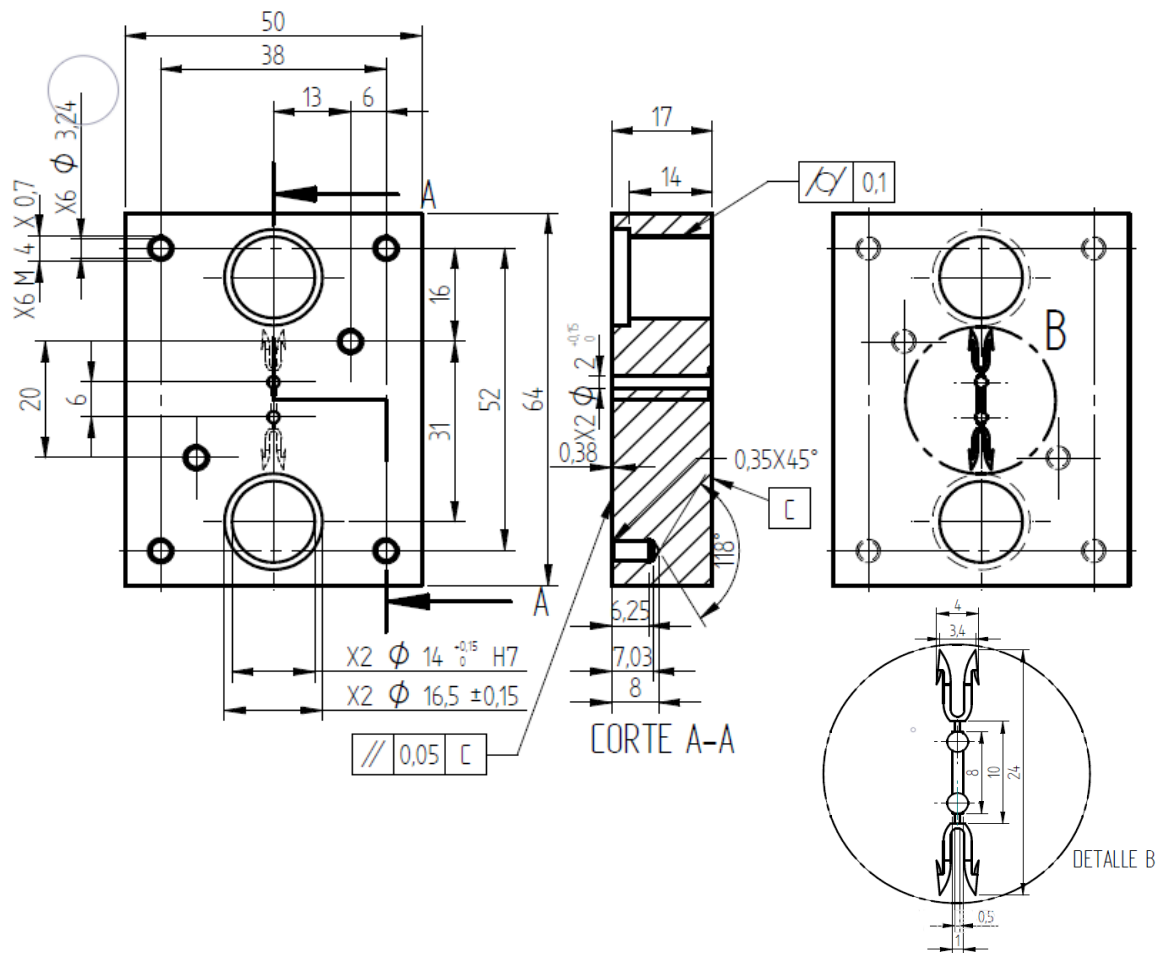
Para las placas, se adicionaron las tolerancias previamente calculadas en el apartado de geometrías, y además, se incluyeron las tolerancias geométricas y dimensionales que se determinaron con ayuda de una guía de lectura tolerancias, [19]. Estas tolerancias son muy importantes para la correcta fabricación de las piezas tomando en cuenta las dimensiones reales que se pueden obtener tomando en cuenta todos los errores y desgastes en las herramientas que se puedan presentar. En la imagen 28, para la placa porta-molde fija, y la imagen 29, para la placa porta-molde móvil, se pueden observar las cotas.

Imagen 28. Plano de la placa porta-molde fija con tolerancias.



Fuente: Autor.

Imagen 29. Plano de la placa porta-molde móvil con tolerancias.



Fuente: Autor.

6.3.2 Material del molde

Los tipos de aceros que se van a utilizar para el molde son GGD P20 y 2738 son los más utilizados para la fabricación de moldes de inyección de plástico en general. Estos dos tipos de aceros inoxidables son especialmente importantes ya que tienen una excelente respuesta a la texturización y tienen muy buena capacidad de pulido. Además de esto, son aceros que permiten un mecanizado relativamente fácil. Los datos para las características del acero P20 se pueden apreciar en el Anexo 10, entre las más importantes están las siguientes:

- Este tipo de acero tiene una dureza que ronda los 250 HB (Dureza Brinell).

- Composición química: C (0,36) • Si (0,50) • Mn (0,80) • Cr (1,70) • Mo (0,40) • Ni (-)

Para el caso del molde, el acero que se va a utilizar es el GGD P20.

6.3.3 Proceso de manufactura de las placas

Para el proceso de maquinado y micro maquinado de ambas placas se debe tomar en cuenta que el material a maquinar es el acero P20, factor que modifica los valores de las condiciones de corte del centro de mecanizado. Los valores establecidos para las condiciones de corte se seleccionaron con ayuda del Anexo 8. Los resultados de los cálculos para las condiciones de corte se pueden observar en la Tabla 7. Además, las hojas de proceso para la placa porta-molde móvil se observan en el Anexo 11 y para la placa porta-molde fija en el Anexo 12.

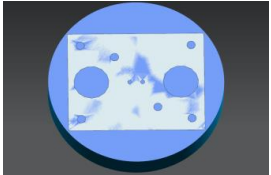
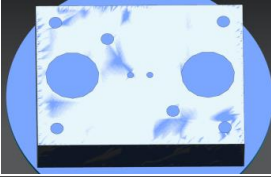
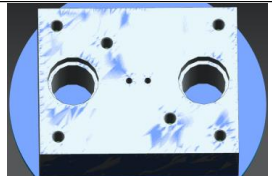
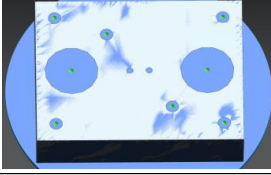
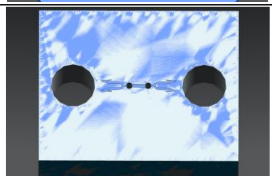
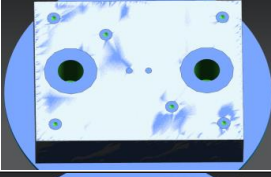
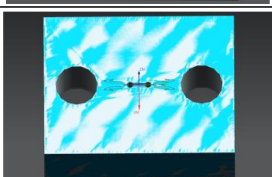
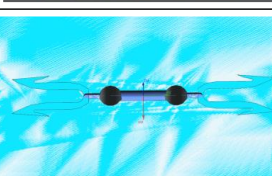
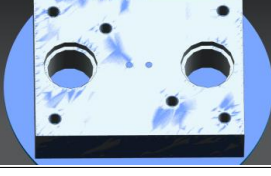
Tabla 7. Condiciones de corte para el Acero P20.

Condiciones de corte para el acero P20								
	Herramienta	Z (teeth)	Vc (m/min)	fz (mm)	rpm	ap (mm)	Ae (mm)	Vf (mm/min)
Material a mecanizar: Acero P20	Micro maquinado							
	D 0.2	2	50	0.0015	80000	0.12	0.3	220
	D 0.5	2	125	0.0015	80000	0.3	0.25	220
	D 0.5 (Ball)	2	125	0.0015	80000	0.3	0.25	220
	D 1 (Ball)	2	251	0.0015	80000	2.5	0.75	240
	Maquinado							
	D 2 (Drill)	2	140	0.0056	22282	24	1.5	245
	D 3 (C. Drill)	2	140	0.0088	14147	0.1449	3.15	250
	D 3.5 (Drill)	2	140	0.0098	12732	20	3.5	250
	M4x0.7	3	140	0.0074	11141	21	4	250
	D 5	4	130	0.0075	8276	20	3.75	250
	D 8 (C. Drill)	2	160	0.0196	6366	0.9093	8	250
	D 8 (Drill)	2	160	0.0196	6366	53	8	250
	D 8	4	130	0.012	5173	20	6	250
	D 20	4	100	0.1178	1061	25	15	250

Fuente: Autor.

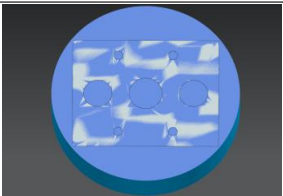
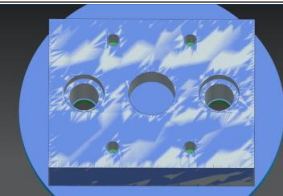
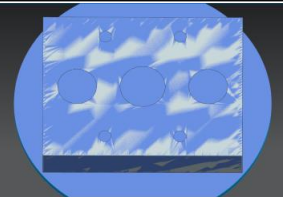
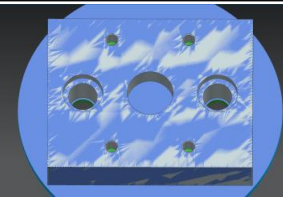
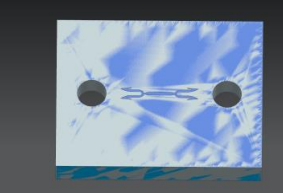
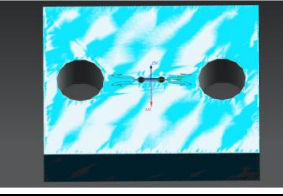
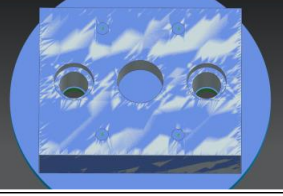
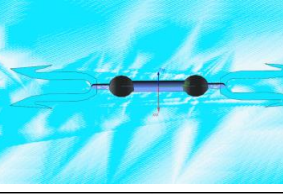
En la Imagen 30 se puede observar el proceso para la manufactura de placa porta-molde móvil con las condiciones de corte calculadas, y en la Imagen 31 el proceso para la placa porta-molde fija.

Imagen 30. Proceso para la placa porta-molde móvil.

1	Planeado		7	Taladrado de agujeros expulsores	
2	Desbaste de paredes		8	Taladrado para roscado M4x0.7	
3	Centro punto (excepto agujeros expulsores)		9	Planeado	
4	Taladrado de agujeros guías		10	Desbaste de runners	
5	Desbaste y planeado		11	Desbaste de gates	
6	Taladrado de agujeros roscados				

Fuente: Autor.

Imagen 31. Proceso para la placa porta-molde fija.

1	Planeado		6	Taladrado de agujeros roscados	
2	Desbaste de paredes		7	Taladrado para roscado M4x0.7	
3	Centro punto		8	Planeado	
4	Taladrado de agujeros guías		9	Desbaste de runners	
5	Desbaste y planeado		10	Desbaste de gates	

Fuente: Autor.

6.2.4 Rectificado de las placas

El proceso de rectificado de las piezas se realizará con un esmeril en una máquina especializada de rectificado de piezas. Esto con el fin de mejorar la tolerancia dimensional y el acabado superficial del producto. En este caso se recomiendan las siguientes muelas para un rectificado óptimo.

Imagen 32. Muelas recomendadas para el rectificado.

Tipo de rectificado	Muelas recomendadas
Rectificado frontal	A 46 HV
Rectificado frontal por segmentos	A 36 GV
Rectificado cilíndrico	A 60 KV
Rectificado Interno	A 60 IV
Rectificado de perfil	A 120 JV

Fuente: Acero para moldes pretemplado. IMPAX Hi Hard. Pag: 3.

6.2.5 Proceso de electroerosión por penetración para las placas

Este proceso debe realizarse haciendo uso del electrodo con el mecanizado del positivo de la pieza, con el fin de obtener la cavidad deseada en molde para su posterior relleno de polímero en el proceso de moldeo por inyección. Esto se puede lograr generando un arco eléctrico entre una pieza y un electrodo en un medio dieléctrico para arrancar partículas de la pieza hasta conseguir reproducir en ella las formas del electrodo, que en nuestro caso sería la forma de la pieza.

Este proceso debe reproducirse en ambas placas logrando así completar la cavidad que en el moldeo por inyección serían rellenos por el flujo de polímero para la obtención final de la pieza.

7. RECOMENDACIONES

- Hacer un análisis de llenado por medio de un software de elementos finitos, para poder validar el diseño del molde y comprobar que el prototipo del molde propuesto pueda funcionar.
- Para poder llevar a cabo el proceso de electroerosión por penetración se debe hacer un estudio de la carga eléctrica que se debe aplicar, el avance para el arranque del material y la distancia de penetración que tendrá la máquina.
- Se debe realizar un estudio de análisis para conocer si el Hotrunner nozzle emite una cantidad de calor lo suficientemente alta como para que pueda afectar de alguna forma el tiempo de enfriamiento del molde.
- Al realizar el diseño del molde para moldeo por microinyección, con la geometría de la micro pieza, se puede concluir que el procedimiento realizado a lo largo del trabajo de grado puede ser implementado para la obtención de moldes para geometrías similares, siendo este un documento de apoyo para los diseñadores o estudiantes interesados en el tema.

8. CONCLUSIONES

- Después de un análisis al centro de mecanizado y a los errores que este presenta se determinó que cuenta con una tolerancia de 8.1 micras que se deben tomar en cuenta al momento de fabricar cualquier pieza. Este, sumado a las tolerancias de las herramientas y la resolución de la prueba de estado dan un resultado de 53.1 micras por lo que se recomienda trabajar con un mínimo límite dimensional, de 150 micras, este es el mínimo tamaño manufacturable para evitar inconvenientes con las desviaciones o errores que se puedan presentar.
- A través del análisis térmico que se realizó al molde y debido a la dimensión tan pequeña de la pieza, se determinó que no era necesario diseñar canales de refrigeración ya que al momento de completar el ciclo de inyección el material del molde ya tendría la temperatura adecuada para volver a ser inyectado el polímero.
- Haciendo uso de la herramienta CAD del software NX, y con ayuda de las ecuaciones de diseño se logró realizar el prototipo final del molde tomando en cuenta todas las herramientas y capacidades tecnológicas del centro de mecanizado.
- Ya que la micro pieza presenta aristas vivas, el método de mecanizado para las cavidades en el molde se realizará con electroerosión por penetración para lograr las dimensiones de la micro grapa.
- Con ayuda de la herramienta CAM del software NX se determinó que el molde si se puede fabricar en el centro de mecanizado FINETECH de la universidad Santo Tomás ya que se cuenta con las herramientas, micro herramientas y tecnología necesarias para dicho proceso.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Tosello, "Micro injection molding," *Hanser*, vol. 1, 2018.
- [2] Basque Research & Technology Alliance, "Micromecanizado convencional de ultraprecisión," 2017, [Online]. Available: <https://www.tekniker.es/es/micromecanizado-convencional-de-ultraprecision>.
- [3] David Luna, "La industria latinoamericana de produccion de moldes," *Int. Metalmec.*, p. 3, 2018, [Online]. Available: <https://www.metalmecanica.com/temas/Asi-esta-la-industria-latinoamericana-de-produccion-de-moldes+125849?pagina=2>.
- [4] M. Amstead, B., Ostwald, P., & Begeman, "Diseño de moldes de inyección de plástico con ingeniería concurrente," 1995.
- [5] "Why You Should Use High-Speed Machining with Micro-Tooling," 2014, [Online]. Available: <https://www.moldmakingtechnology.com/articles/why-you-should-use-high-speed-machining-with-micro-tooling>.
- [6] Accumold, "What is a Micro-Molding?," 2017, [Online]. Available: <https://www.accu-mold.com/what-is-micro-molding/>.
- [7] J. P. Pathak, "Design, assembly, and testing of an ultra-high-speed micro-milling spindle," no. Master Thesis, 2003.
- [8] Renishaw, "Explicación de los ensayos de ballbar," [Online]. Available: <https://www.renishaw.es/es/explicacion-de-los-ensayos-de-ballbar--6818>.
- [9] IMOCOM S.A.S., "Informe prueba Ball Bar," 2018.
- [10] The American Society of Mechanical Engineers., "Methods for Performance Evaluation of Computer Numerically Controlled Machining Centers," 2005.
- [11] D. Romero, "Aplicación de Tecnologías de Micro Maquinado en Acero Endurecido," *Univ. St. Tomás*, 2019.
- [12] M. Sha, B., Dimov, S., Griffiths, C, Packianather, "Investigation of micro-injection moulding: Factors affecting the replication quality," *J Mater. Process. Technol.*, 2007.
- [13] ETHICON., "RETI E SISTEMI DI FISSAGGIO," *JOHNSON & JOHNSON INSTITUTE*, 2016.
- [14] B. G. L. Boland, Eugene D., Coleman Branch D., Barnes Catherine P.,

- Simpson David G., Wnek Gary E., "Electrospinning polydioxanone for biomedical applications," *Elsevier*, 2005.
- [15] A. T. Middleton, J., "Synthetic biodegradable polymers as medical devices," *Med. Plast. Biomater. Mag.*, 1998.
- [16] PROTOLABS., "5 formas de utilizar el ángulo de inclinación para mejorar la moldeabilidad de su pieza," 2016, [Online]. Available: <https://www.protolabs.es/recursos/sugerencias-de-diseno/5-formas-de-utilizar-el-angulo-de-inclinacion-para-mejorar-la-moldeabilidad-de-su-pieza/>.
- [17] R. Budynas y K. Nisbett, "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley," *McGrawHill*, 2008.
- [18] M. Ordóñez, "Solución al problema en el proceso de inyección," *Soc. Ecuatoriana Plásticos*, 2011.
- [19] F. D. del Castillo, "Lecturas de ingeniería. Tolerancias Geométricas.," *CUAUTITLÁN IZCALLI*, 2008.

10. ANEXOS

Anexo 1. Ejemplo de micro inyectora.

NEW M3-D32

Micro Molding without Compromise

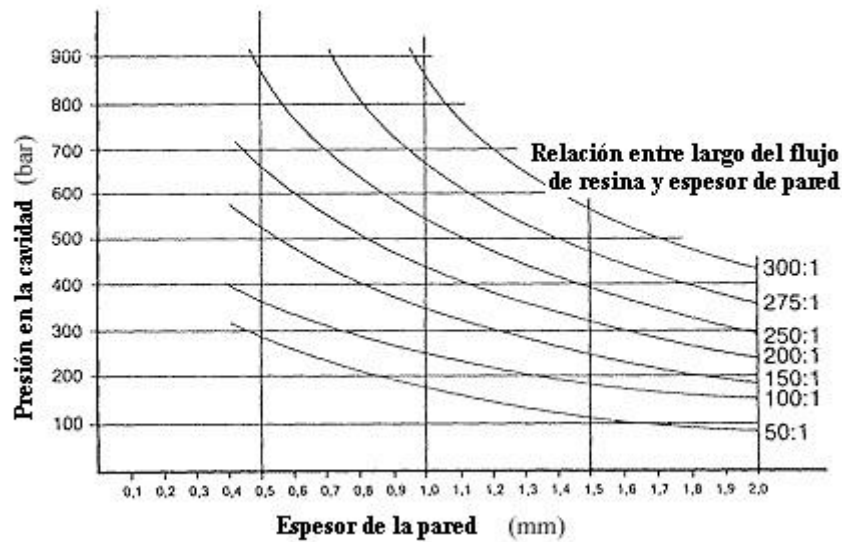
The revolutionary M3 series redefines injection molding for small, direct gated plastic parts by outperforming competing technologies by a wide margin. This new generation of electro-pneumatic molding cells delivers fully automated, high volume molding to all industries that demand extreme precision, quality and speed. M3 series machines also offer a high degree of flexibility for low volume and prototype molding without the limitations of larger, traditional injection molds found in conventional presses.



The all new M3-D32 injection molding machine can direct valve gate 32 small plastic parts per cycle with a shot weight of 1 to 400 mg. One machine can produce over 400,000 runnerless parts per day. /

Fuente: Catalogo de micro inyectoras MHS.
<http://www.mhs-hotrunners.com/micromolding.html>

Anexo 2. Nomograma para presiones interna.



Fuente: Tecnología de los Plásticos: Fuerza de cierre (clamping force).

Anexo 3. Ecuaciones para el tiempo de enfriamiento del molde.

8.3 Computation of Cooling Time of Thermoplastics 279

$$t_c = \frac{s^2}{a_{eff} \pi^2} \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \frac{T_M - T_w}{T_E - T_w} \right) \quad (8.11)$$

The following correlation is valid for cylindrical parts:

$$t_c = \frac{R^2}{a_{eff} \cdot 5 \cdot 8} \ln \left(0.7 \cdot \frac{T_M - T_w}{T_E - T_w} \right) \quad (8.12)$$

Reference data for melt, wall and demolding temperature as well as the average density between melt and demolding temperature can be found in Table 8.1.

Table 8.1 Material data [8.12]

Material	Melt temperature (°C)	Wall temperature (°C)	Demolding temperature (°C)	Average density (g/cm³)
ABS	200–270	50–80	60–100	1.03
HDPE	200–300	40–60	60–110	0.82
LDPE	170–245	20–60	50–90	0.79
PA 6	235–275	60–95	70–110	1.05
PA 6.6	260–300	60–90	80–140	1.05
PBTP	230–270	30–90	80–140	1.05
PC	270–320	85–120	90–140	1.14
PMMA	180–260	10–80	70–110	1.14
POM	190–230	40–120	90–150	1.3
PP	200–300	20–100	60–100	0.83
PS	160–280	10–80	60–100	1.01
PVC rigid	150–210	20–70	60–100	1.35
PVC soft	120–190	20–55	60–100	1.23
SAN	200–270	40–80	60–110	1.05

Besides the diagram presentation, nomograms (Figure 8.11) can be used which are derived from the following equation (valid for plates):

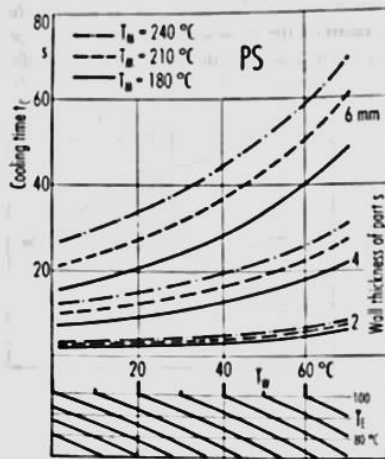


Figure 8.9 Cooling time diagram (PS) [8.1]

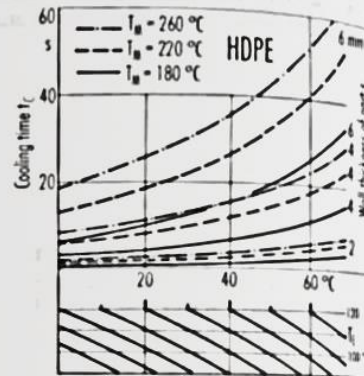


Figure 8.10 Cooling time diagram (HDPE) [8.1]

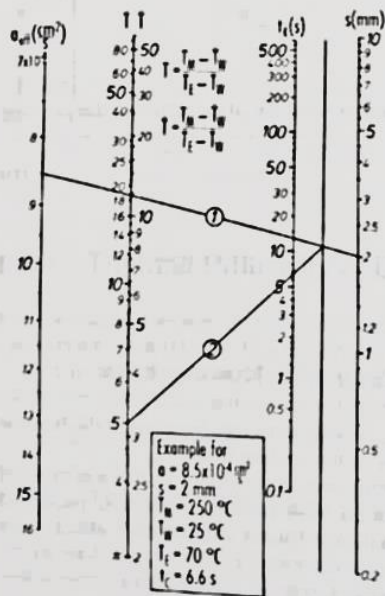
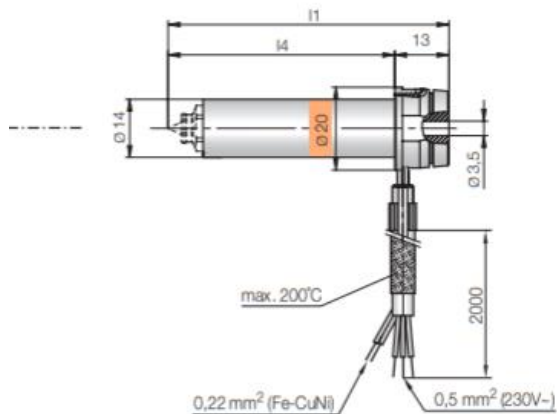


Figure 8.11 Nomogram for computation of cooling time [8.1]

Fuente: "How to make injection molds". Third Edition. Menges, Michaeli, Mohren.

Anexo 4. Especificaciones técnicas Hotrunner H33205/Typ/20x50.



Nº Nennmaß / Nominal dimension / Cote nominale

l4 N°	l6	l2	d10	d6	d5	d4	d3	d2	Typ	d1	l1 N°	Nr./No.
37	-	13	-	-	7	-	3,5	14	1/-	20	50	.../Typ/ 20 x 50
50									1/-		63	63
67									1/-		80	80
87									1/2		100	100
112									1/2		125	125

HASCO hot runner 7

Fuente: Catalogo Hasco Hotrunner. Technishot H33../ ..., H34../ ... Pagina 7.

Anexo 5. Características Acero ASTM L2.

**ACERO PLATA**
DIN 1.2210 115CrV3 – ASTM L2 – JIS SKS43 *FT 03_005*

Estado de suministro
Bajo tratamiento térmico de recocido
Tolerancia ISO 286-2 h8

Formas y color:


Características
La designación de "Acero Plata" se debe a la superficie brillante y plateada que estos aceros rectificados adquieren después de un acabado de pulido. Combinan una alta dureza con gran capacidad de corte. Constituyen una clase especial de aceros para trabajos en frío.

Composición química (% en peso)

	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%V
Min.	1.10	0.10	0.30	-	-	0.40	0.12
Máx.	1.20	0.25	0.40	0.035	0.035	0.50	0.70

Densidad: 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³)

Propiedades mecánicas mínimas estimadas SAE J1397

- **Tracción:** 730 – 770 MPa
- **Fluencia:** 580 – 610 MPa
- **Elongación:** 17 – 19%
- **Dureza en estado de recocido:** 180 – 285 Brinell (HB)
- **Dureza obtenido en tratamiento de temple:** Hasta 65 HRC

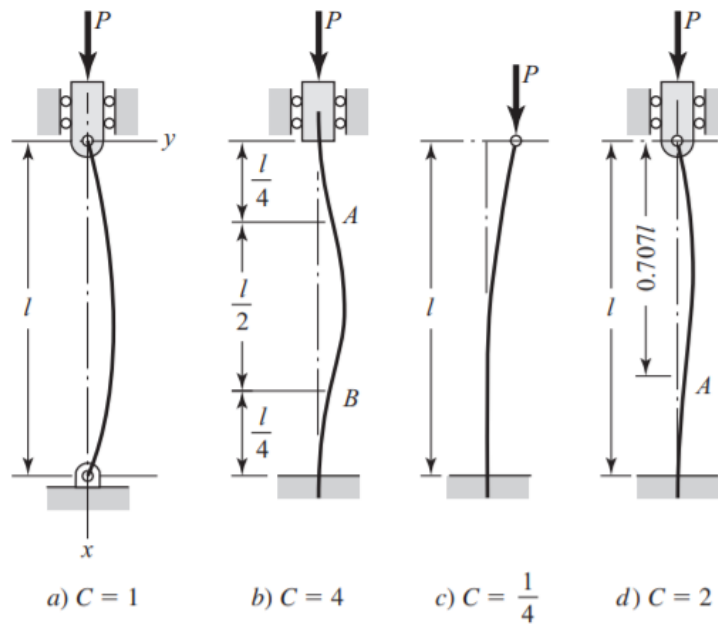
Aplicaciones
Se utiliza en la fabricación de herramientas y piezas de precisión, como punzones, guías y vástagos, muestras de tipo botón y trozos irregulares, machos de roscar, fresas, herramientas de brocar, sacadores de perforación, los pernos expulsores, brocas y llaves, instrumentos quirúrgicos, escariadores, avellanadores, clavijas, las herramientas de grabado, sierras para cortar metal, taladros dentadas, raspando herramientas, cortadoras de artes de pesca, mortaja, cinceles de madera, barras de guía, entre otras.

NOTAS: Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

Las propiedades físicas (valores avarage) a temperatura ambiente
Módulo de elasticidad [10⁻³ x N / mm²]: 210
Densidad [g / cm³]: 7,80
Conductividad térmica [W / mK]: 33,5, 32 (500 °C), 31 (700 °C)
resistividad eléctrica [Ohm mm² / m]: 0.33
capacidad de calor específica [J / gK]: 0,46

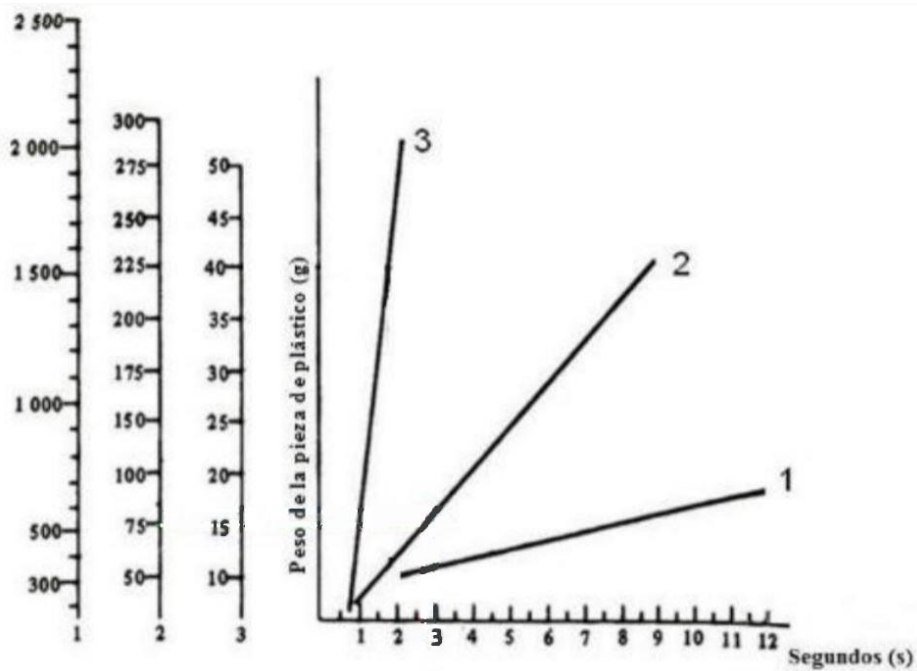
Fuente: Catalogo de aceros Ferrocortes – “Acero Plata”.
<https://www.ferrocortes.com.co/acero-plata/>

Anexo 6. Constantes de condiciones en los extremos para columnas.



Fuente: R. Budynas y K. Nisbett, “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, McGrawHill”, 2008

Anexo 7. Tiempo de llenado en función del peso de la pieza.



Fuente: [15]

Anexo 8. Recomendaciones para condiciones de corte.

IMPAX Hi Hard

Recomendaciones de mecanizado

Los parámetros de corte de los cuales informamos a continuación han de considerarse como valores guía, que deberán adaptarse a las condiciones locales existentes.

Condición: templado y revenido a 360–400 HB

TORNEADO

Parámetros de corte	Torneado con herramientas de metal duro	
	Torneado de desbaste	Torneado fino
Velocidad de corte (v_c) m/min	100–150	150–200
Avance (f) mm/r	0.2–0.4	0.05–0.2
Profundidad de corte (a_p) mm	2–4	~2
Mecanizado grupo ISO	P20–P30 Carburo revestido	P10 Carburo revestido ó cementado

FRESADO

Fresado frontal y axial

Parámetros de corte	Fresado con herramientas de metal duro	
	Fresado de desbaste	Fresado fino
Velocidad de corte (v_c) m/min	80–100	100–130
Avance (f_z) mm/diente	0.2–0.4	0.1–0.2
Profundidad de corte (a_p) mm	2–5	~2
Mecanizado grupo ISO	P20–P40 Metal duro revestido	P10 Metal duro revestido ó cementado

Fresado de acabado

Parámetros de corte	Tipo de fresa		
	Metal duro	Metal duro insertado	Acero rápido
Velocidad de corte (v_c) m/min	50–90	50–90	15–20 ¹⁾
Avance (f_z) mm/diente	0.006–0.2 ²⁾	0.06–0.2 ²⁾	0.01–0.35 ²⁾
Mecanizado grupo ISO	K10, P40	P20–P30	—

¹⁾ Para fresas de acero rápido con recubrimiento, no se recomienda sin recubrimiento

²⁾ Dependiendo de la profundidad radial y diámetro de corte

TALADRADO

Taladrado con brocas helicoidales de acero rápido*

Dímetro de la broca mm	Velocidad de corte (v_c) m/min	Avance (f) mm/r
~5	14*	0.05–0.15
5–10	14*	0.15–0.25
10–15	14*	0.25–0.30
15–20	14*	0.30–0.35

* No se recomienda brocas de acero rápido sin recubrimiento

Taladro con brocas de metal duro

Parámetros de corte	Tipo de broca		
	Metal duro insertado	Metal duro sólido	Taladro con canales de refrigeración ¹⁾
Velocidad de corte (v_c) m/min	140–160	90–120	50–70
Avance (f) mm/r	0.03–0.005 ²⁾	0.002–0.008 ²⁾	0.004–0.0080 ²⁾

¹⁾ Brocas con canales de refrigeración interna

²⁾ Dependiendo del diámetro de la broca.

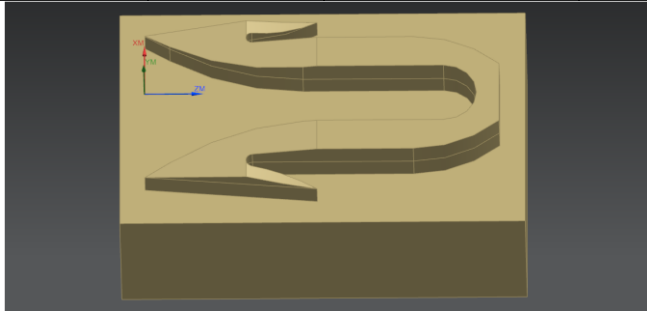
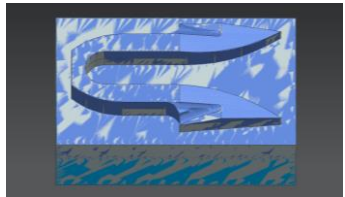
RECTIFICADO

Pueden encontrar a continuación unas recomendaciones generales sobre muelas de rectificado. Asimismo existe información adicional en la publicación de Uddeholm «Rectificado de Acero para Utillajes».

Tipo de rectificado	Muelas recomendadas
Rectificado frontal	A 46 HV
Rectificado frontal por segmentos	A 36 GV
Rectificado cilíndrico	A 60 KV
Rectificado interno	A 60 IV
Rectificado de perfil	A 120 JV

Fuente: Acero para moldes pretemplado. IMPAX Hi Hard. Pág: 3.

Anexo 9. Hoja de proceso para el positivo de la pieza.

Proceso de manufactura		Barra	Fecha	5/24/2021				
			Pieza No.	1				
Escala 1:1		Material	Grafito	Dimensiones de la barra		10mmx10mmx6mm		
								
Ope.	Designacion	Croquis		Herramienta	fz (mm)	Vf (mm/min)	RPM	ap (mm)
1	Planeado			ISCAR (IC900) D = 5mm Punta plana	0.0024	245	25,500	1
2	Desbaste de paredes			ISCAR (IC900) D = 5mm Punta plana	0.0024	245	25,500	1
3	Desbaste de contorno			X - POWER (EM810901 2F) D = 1 mm Punta plana	0.0015	240	80,000	0.5
4	Desbaste y acabado de superficie			EMUGE-FRANKEN (2770 A) D = 0.5 mm	0.0015	240	80,000	0.05
5	Desbaste y acabado			EMUGE-FRANKEN (2760 A) D = 0.2 mm	0.0015	240	80,000	0.1

Fuente: Autor.

Anexo 10. Características generales acero P20.

Acero SISA P20
 acero para moldes de plástico
ACEROS
SISA
 desde 1941

SERVICIO INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.

Color de distinción: blanco rojo blanco

CARACTERÍSTICAS

El acero SISA P20 pre-templado es de uso general para la fabricación de moldes. Utilizado para el maquinado y electro-erosionado de moldes de plástico y componentes para la fundición de zinc.

Se surte pre-templado a una dureza estándar de aprox. BHN 293-321 (HRC 30-34).

Normalmente no requiere un tratamiento térmico adicional, sin embargo el acero SISA P20 se puede templar a durezas mayores para incrementar su resistencia. Cuando enfriamiento al aceite es requerido, cuidado especial es necesario para reducir la distorsión o fractura.

Provee excelente pulibilidad y buen texturizado.

APLICACIONES TÍPICAS

Moldeo por Compresión	Moldes para Inyección de Plástico
Porta Moldes y Piezas de Apoyo	Herramientas para Fundición a Presión de Zinc
Piezas para la Construcción de Maquinaria y Útiles en General	Moldeo en Dos Fases

COMPOSICIÓN QUÍMICA - % PROMEDIO

C	Si	Mn	Cr	Mo
0.30	0.50	0.75	1.70	0.40

NORMAS

AISI	DIN	JIS
P20	1.2311	---

MAQUINABILIDAD Y RECTIFICABILIDAD

La maquinabilidad y rectificabilidad en estado recocido es aproximadamente un 80% de un acero tipo W1(1% C).

Nota: Las propiedades indicadas en esta hoja técnica son valores típicos. Variaciones normales en la química, tamaño y condiciones de tratamiento térmico pueden producir desviaciones de estos valores. Para datos adicionales o asistencia en ingeniería metalúrgica, acudir al departamento técnico de SISA.

PROPIEDADES FÍSICAS

Módulo de Elasticidad 30 psi x 10⁶ (207 GPa)

Densidad 7860 kg/m³ (0.284 lb/in³)

Conductividad Térmica

	cal/cm-s-°C	BTU/hr-ft-°F	W/m-°K
a 95°C (200°F)	0.990	24	42

Coefficiente de Dilatación Térmica

	mm/mm-°C	in/in-°F
20-260°C / 70-500°F	12.3 x 10 ⁻⁶	6.84 x 10 ⁻⁶
20-425°C / 70-800°F	12.8 x 10 ⁻⁶	7.10 x 10 ⁻⁶
20-540°C / 70-1000°F	13.7 x 10 ⁻⁶	7.60 x 10 ⁻⁶

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Cementado: El acero SISA P20 también es apto para el cementado, resultando en dureza de cementado de 53-57 HRC, como se muestra en la siguiente tabla:

Dureza Obtenible:
 Cementado con Gas a 870°C (1600°F) y enfriado en horno a 800°C (1475°F), posterior enfriamiento al aceite y revenido 4+4 hrs.

	Dureza de Cementado HRC	Dureza al Núcleo
315°C (600°F)	57-58	47-48
345°C (650°F)	57-58	46-47
370°C (700°F)	55-56	45-46
400°C (750°F)	54-55	44-45
425°C (800°F)	53-55	43-44
485°C (900°F)	52-53	39-40

Durezas mostradas son típicas para una barra con diámetro de 4" (102 mm). Secciones mayores pueden mostrar durezas levemente más bajas. La dureza al núcleo también puede ser incrementada en el tratamiento térmico asociado con el cementado, resultando en una pérdida de tenacidad al núcleo.

Nitrurado: El acero SISA P20 es apto para el nitrurado por medio de la mayoría de procedimientos comerciales, resultando en una dureza superficial de 55-65 HRC. La penetración de dureza típica después de nitrurado a 525°C (975°F) se muestra a continuación:

Penetración de la Dureza en Milímetros

SISA P20 BHN 300

TRATAMIENTO TÉRMICO

Recocer

Calentamiento a 790-815°C (1450-1500°F), mantener 2 horas, enfriamiento lento no mayor de 30°C (50°F) por hora hasta alcanzar 650-675°C (1200-1250°F), mantener hasta normalizar, posterior enfriamiento al aire.

Dureza en Estado Recocido BHN 187/223

Relevado de Tensiones

Material Recocido: 650-675°C (1200-1250°F) Mantener 2 horas después de calentamiento al núcleo, enfriamiento lento en horno o al aire.

Dureza Estándar (BHN 293-321): Calentar a 480°C (900°F), mantener 2 horas después de calentamiento al núcleo.

Material Templado Calentar 15-30°C (25-50°F) por debajo de la temperatura de revenido, mantener 2 horas después de calentamiento al núcleo, enfriamiento lento en horno o al aire.

Recomendable para reducir las tensiones causadas por un extenso maquinado en caso de herramientas de configuración complicada y para reducir las tensiones después de un proceso de electro-erosión.

TEMPLE

El acero SISA P20 se surte pre-templado y un tratamiento térmico posterior generalmente no se requiere.

Sin embargo, se puede templar a durezas más altas.

Nota: El acero SISA P20, debe ser recocido antes de un temple posterior.

Precalentar

675-735°C (1250-1350°F), normalizar.

Temple (Austenización)

815-845°C (1500-1550°F) - Mantener 30 a 45 minutos a temperatura.

Enfriamiento

Al aceite a 65-95°C (150-200°F).

Revenir inmediatamente.

Revenir

Doble revenido a 205- 650°C (400-1200°F), mantener 1 hr. por pulgada de espesor (25 mm), 2 hrs. mínimo por revenido.

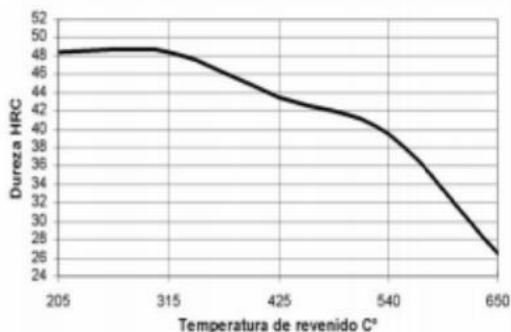
RESPUESTA AL TRATAMIENTO TÉRMICO

Temple a 845°C (1550°F) Enfriamiento al Aceite

Temperatura de Revenido	Dureza Obtenible HRC
205°C - (400°F)	48.5
315°C - (600°F)	48.5
425°C - (800°F)	43.5
540°C - (1000°F)	39.5
650°C - (1200°F)	26.5

La dureza obtenible es típica de un bloque de 4" (100 mm) de espesor. Espesores mayores pueden mostrar una leve baja en dureza.

DIAGRAMA DE REVENIDO



Temperatura de Temple 845°C - 1550°F

SOLDAR

Los procedimientos de soldadura usados en 4140 o 4340 deben ser utilizados. Material de soldadura tipo P20, 4130 o 4140 es aceptable.

Material pre-templado

Precalentar 425-480°C (800-900°F). Mantener arriba de 425°C (800°F) al soldar. Después de soldar, enfriar a tibio 65°C (150°F). Doble revenido a 480°C (900°F).

Material templado a mayor dureza

Precalentar y doble revenido después de soldar a 30°C (50°F) por debajo de la última temperatura de revenido.



Servicio Industrial, S.A. de C.V.

www.acerosisa.com.mx

Aceros Especiales Grados Herramienta y Maquinaria

Aceros SISA-MET® de Metalurgia en Polvo (PM)

Piezas Industriales Forjadas

Ciudad de México: Naranjos 6 - Col. San Francisco Cuauhtalpan, Naucalpan - cp 53569, Estado de México

Tel - (55) 5576-4011 Fax - (55) 5576-4997 sisa@sisa1.com.mx

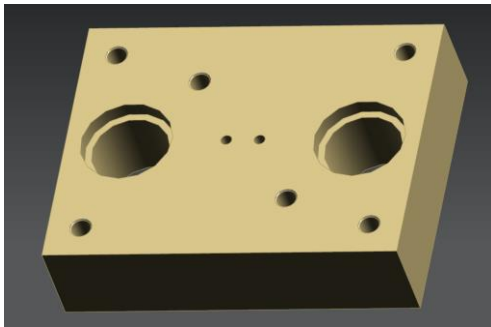
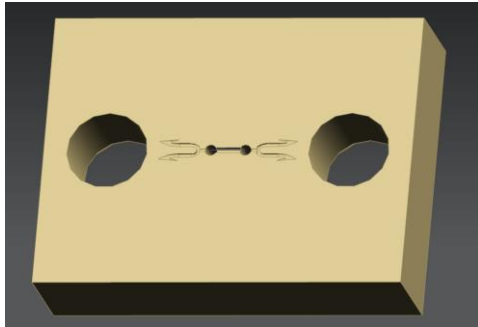
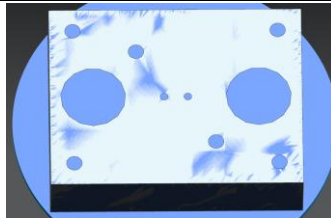
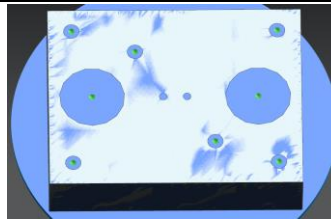
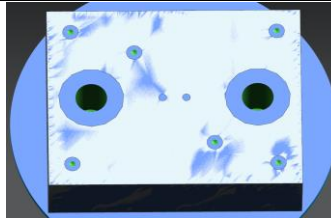
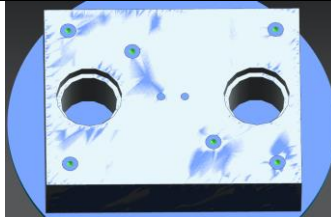
Monterrey: Guerrero Norte 4120 - Col. del Norte, Monterrey - cp 64500, Nuevo León

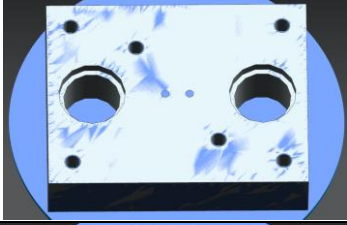
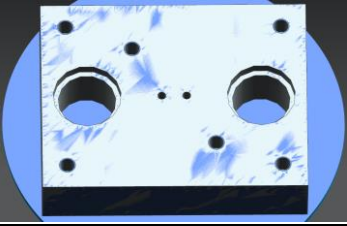
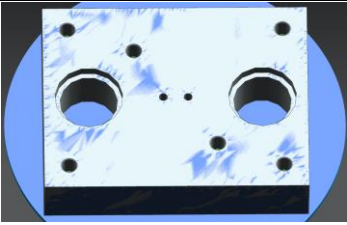
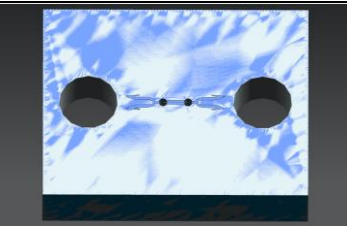
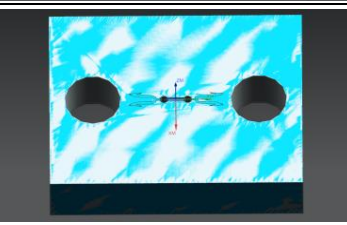
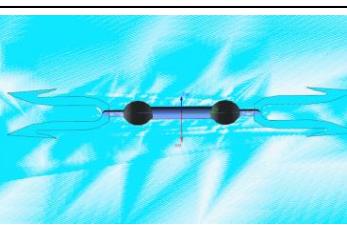
Tel - (81) 8351-7220 Fax - (81) 8351-2981 sisamty@sisa1.com.mx

Cat. P20 12/12 © Derechos Reservados, México DF, 2012 Servicio Industrial, S.A. de C.V. SISA® y SISA-MET® son Marcas Registradas Impreso en México

Fuente: Acero SISA P20, "Aceros para moldes de plástico"

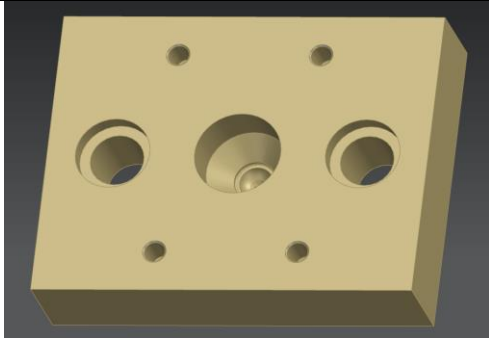
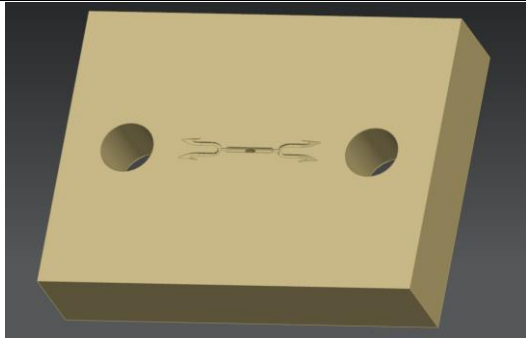
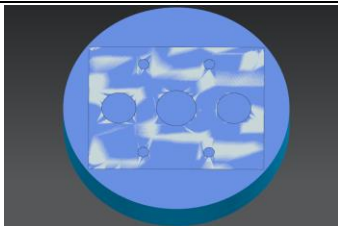
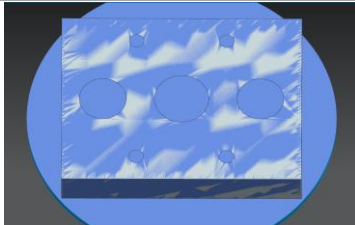
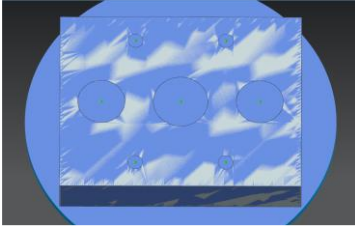
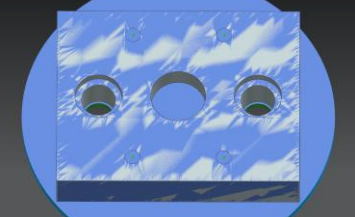
Anexo 11. Hoja de proceso placa porta-molde móvil.

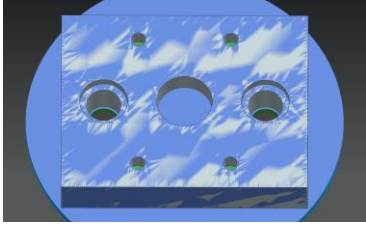
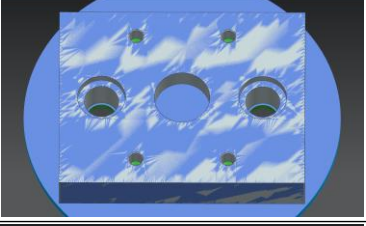
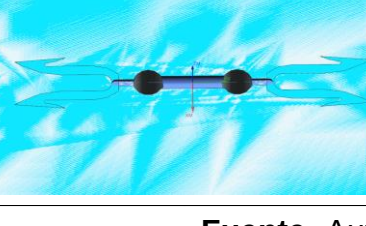
Proceso de manufactura	Placa porta-molde movil	Fecha	5/24/2021				
		Pieza No.	1				
Escala 1:1	Material	Acero P20	Dimensiones de la barra	D 82.55 mm			
							
Ope.	Designacion	Croquis	Herramienta	fz (mm)	Vf (mm/min)	RPM	ap (mm)
1	Planeado		ISCAR D = 20 mm Punta plana	0.1178	250	1,061	1.5
2	Desbaste de paredes		ISCAR (IC900) D = 5 mm Punta plana	0.0075	250	8,276	1
3	Centro punto (excepto agujeros expulsores)		Broca D = 8 mm	0.0196	250	5,173	0.1449
4	Taladrado de agujeros guias		Broca D = 8 mm	0.0196	250	5,173	17
5	Desbaste y planeado		ISCAR (IC900) D = 5 mm Punta plana	0.0075	250	8,276	2

6	Taladrado de agujeros roscados		Broca D = 3.5 mm	0.0098	250	12,732	6.98
7	Taladrado de agujeros expulsos		Broca D = 2 mm	0.0056	250	22,282	18
8	Taladrado para roscado M4x0.7		Broca roscada M4x0.7	0.0074	250	11,141	6.98
9	Planeado		ISCAR D = 20 mm Punta plana	0.1178	250	1,061	1.5
10	Desbaste de runners		D = 1 mm Punta redonda	0.0015	220	80,000	0.3
11	Desbaste de gates		D = 0.5 mm Punta plana	0.0015	250	80,000	0.2

Fuente: Autor.

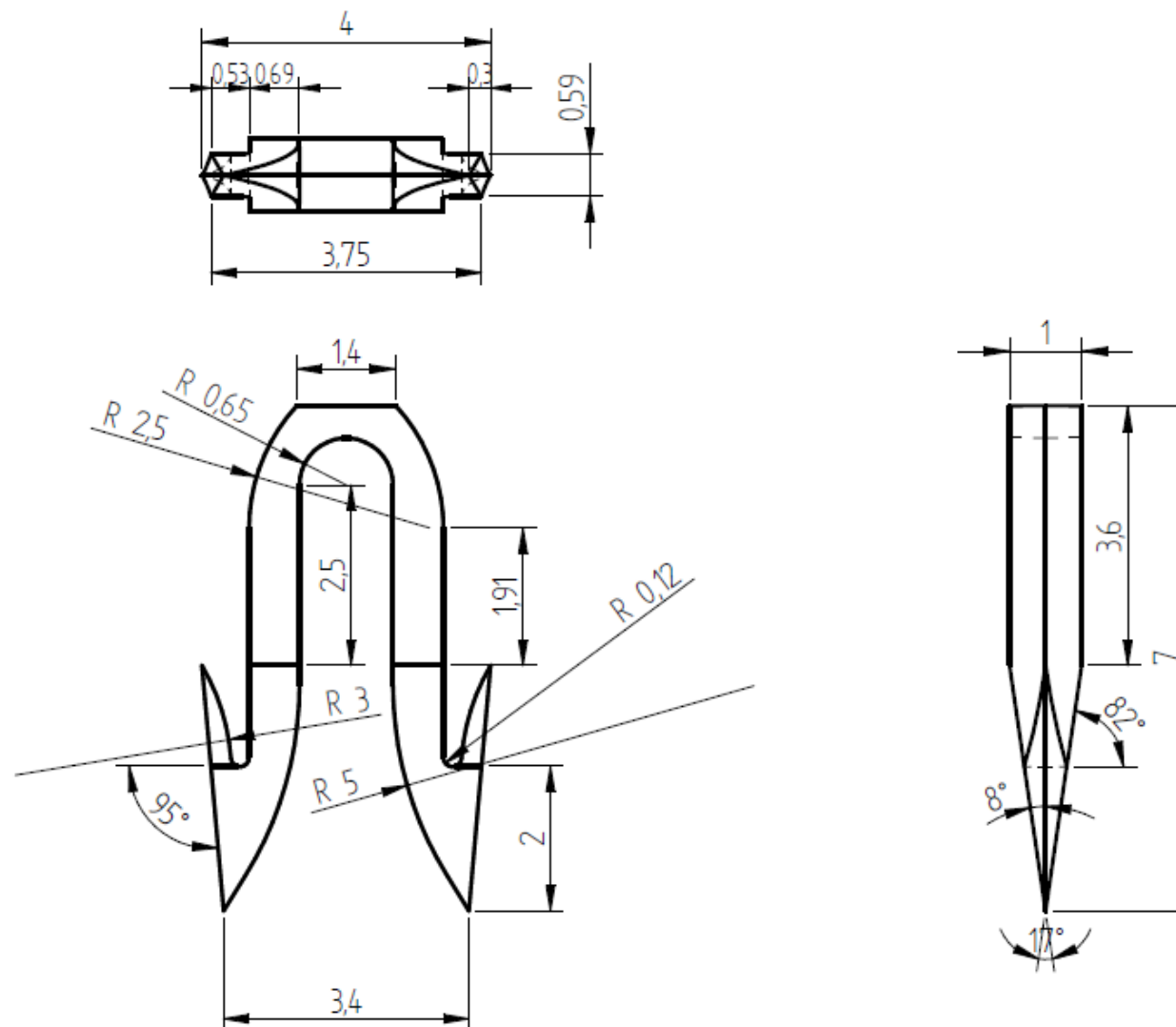
Anexo 12.
Hoja de proceso placa porta-molde fija.

Proceso de manufactura		Placa porta-molde fija	Fecha	5/24/2021				
			Pieza No.	1				
Escala 1:1		Material	Acero P20	Dimensiones de la barra		D 82.55 mm		
								
Ope.	Designacion	Croquis		Herramienta	fz (mm)	Vf (mm/min)	RPM	ap (mm)
1	Planeado			ISCAR D = 20 mm Punta plana	0.1178	250	1,061	1.5
2	Desbaste de paredes			ISCAR (IC900) D = 5 mm Punta plana	0.0075	250	8,276	1
3	Centro punto			Broca D = 8 mm	0.0196	250	5,173	0.1449
4	Taladrado de agujeros guias			Broca D = 8 mm	0.0196	250	5,173	15
5	Desbaste y planeado			ISCAR (IC900) D = 5 mm Punta plana	0.0075	250	8,276	2

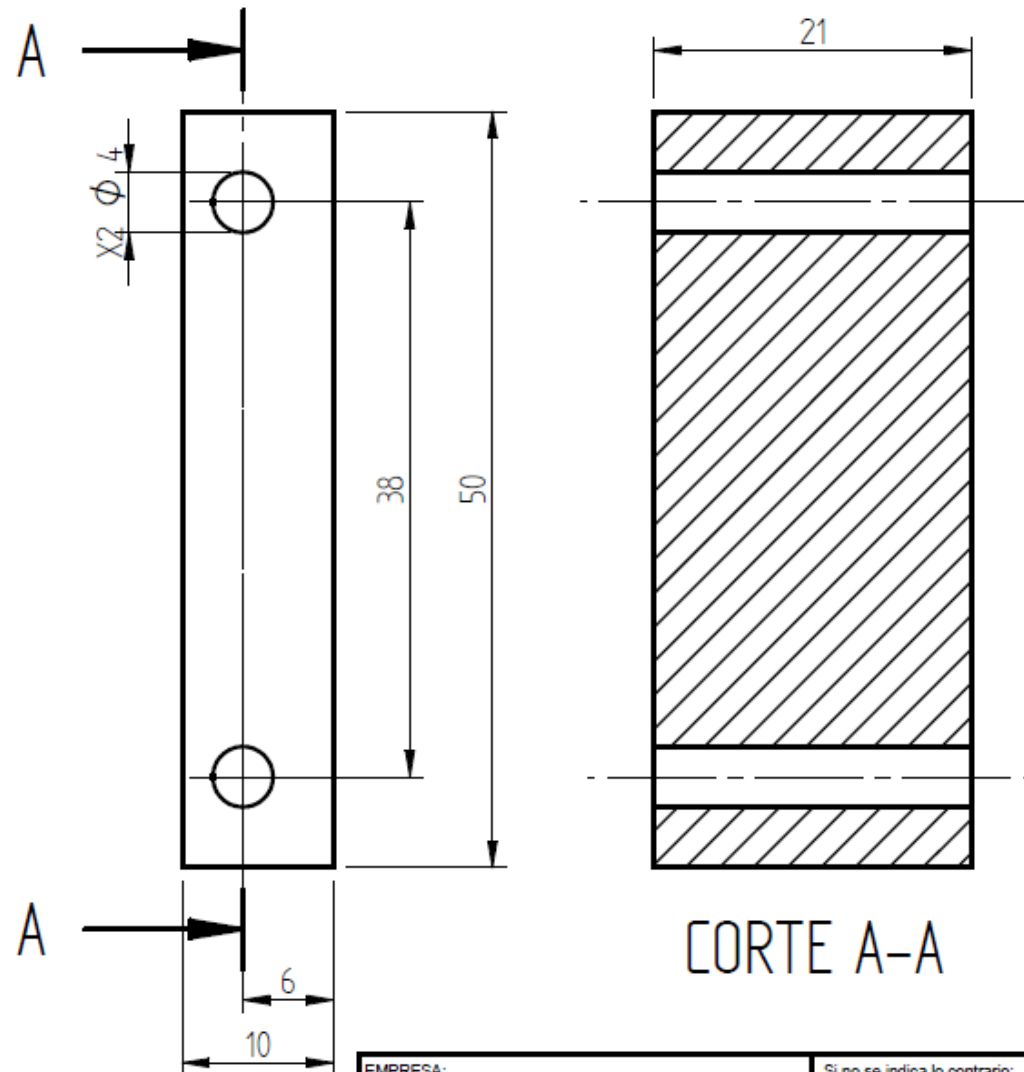
6	Taladrado de agujeros roscados		Broca D = 3.5 mm	0.0098	250	12,732	6.98
7	Taladrado para roscado M4x0.7		Broca roscada M4x0.7	0.0074	250	11,141	6.98
8	Planeado		ISCAR D = 20 mm Punta plana	0.1178	250	1,061	1.5
9	Desbaste de runners		D = 1 mm Punta redonda	0.0015	220	80,000	0.3
10	Desbaste de gates		D = 0.5 mm Punta plana	0.0015	250	80,000	0.2

Fuente: Autor.

11. PLANOS

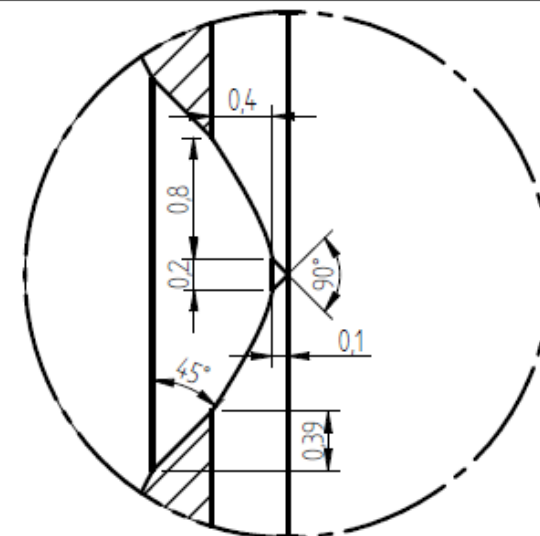
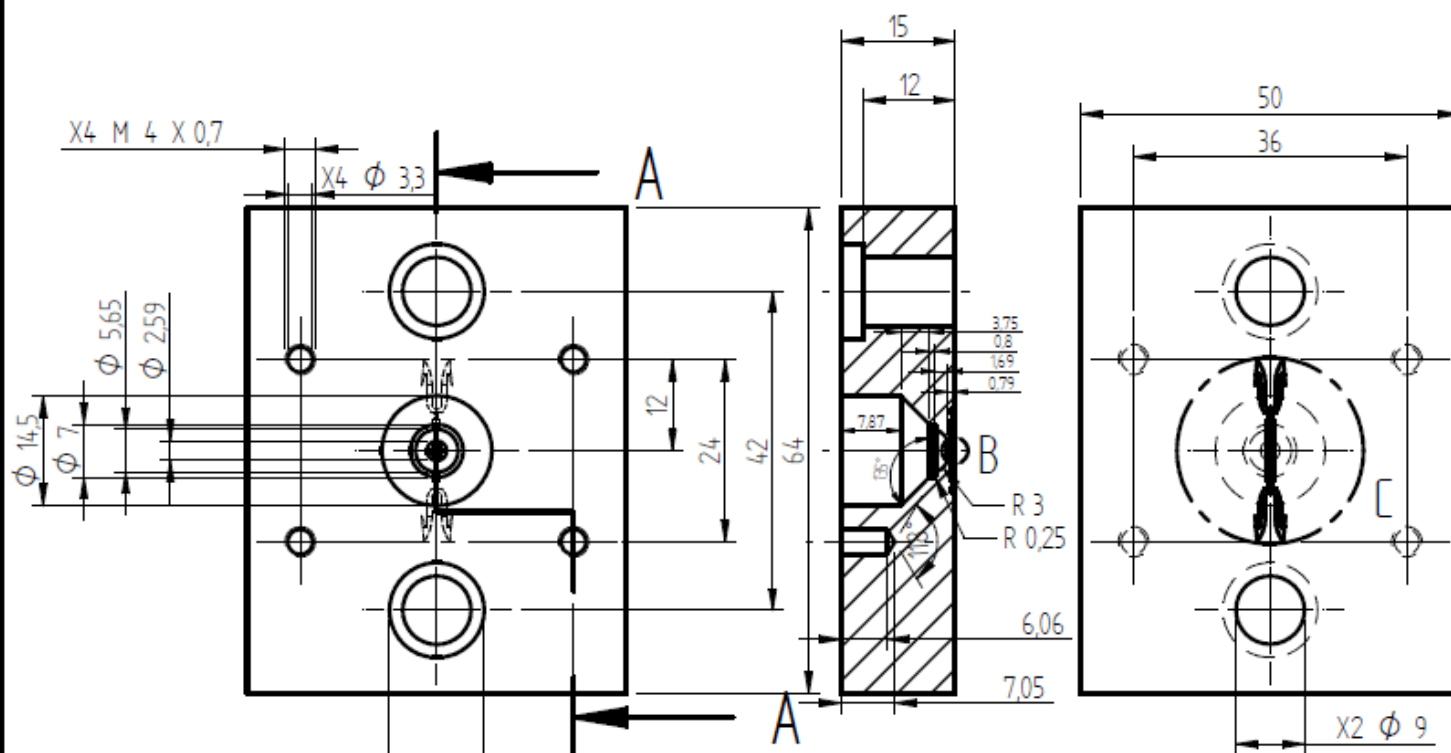


EMPRESA:				Si no se indica lo contrario:		Proyecto:	
 Facultad de Ingeniería Mecánica				- Las cotas se expresan en mm[in]		MOLDE PARA MICRO GRAPAS	
				- Tolerancias: lineal: ± 0.15 angular: $\pm 1^\circ$		Cod. Proyecto:	
				MATERIAL:		Nombre:	
				Polidioxanona & ácido glicólico		MODELO MICRO GRAPAS	
				PESO: 0.0006 N		Cod. de Dibujo:	
				ESCALA: 10:1		MG - 001	
				REPRES:			
				Hoja No. 2/10		Rev.	

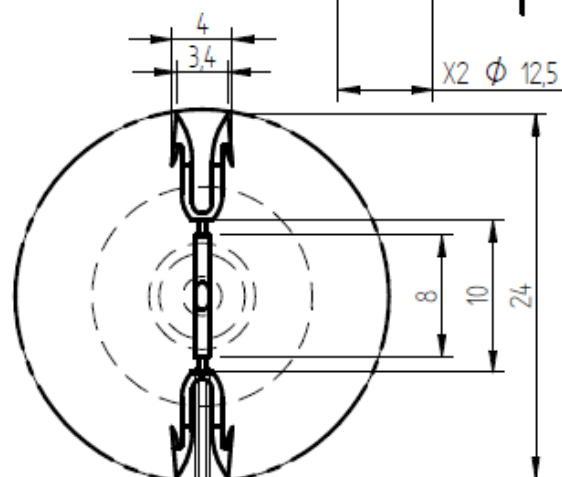


CORTE A-A

EMPRESA:				Si no se indica lo contrario:		Proyecto:	
 Facultad de Ingeniería Mecánica				- Las cotas se expresan en mm[in]		MOLDE PARA MICRO GRAPAS	
				- Tolerancias: lineal: ± 0.15 angular: $\pm 1^\circ$		Cod. Proyecto:	
				MATERIAL:		Nombre:	
				Acero P20		PARALELA B	
				PESO:		Cod. de Dibujo:	
				0.7563 N		PPB - 003	
				ESCALA:		REPRES:	
				2:1			
				Hoja No. 4/10		Rev.	



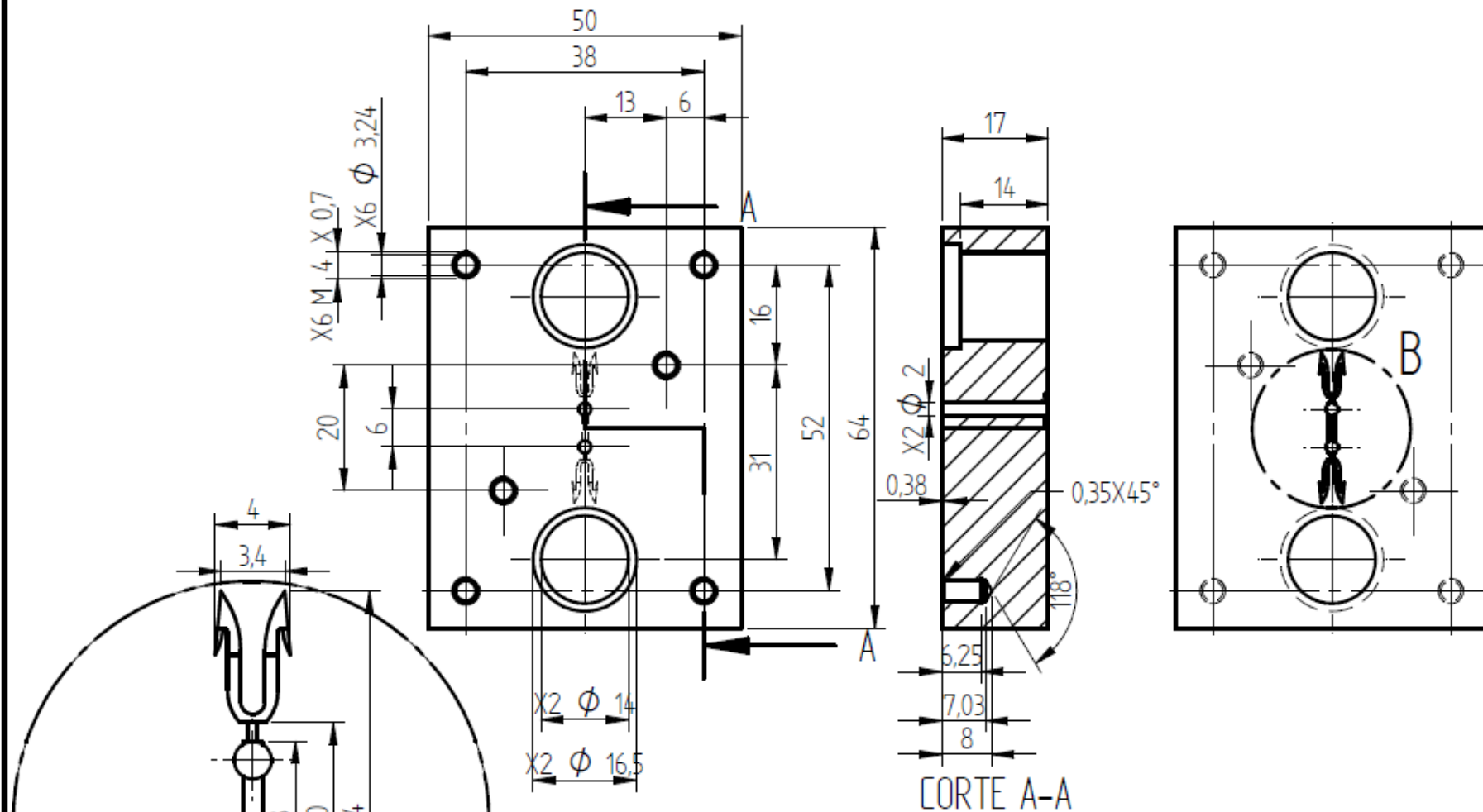
DETALLE B
ESCALA 20:1



CORTE A-A

DETALLE C
ESCALA 2:1

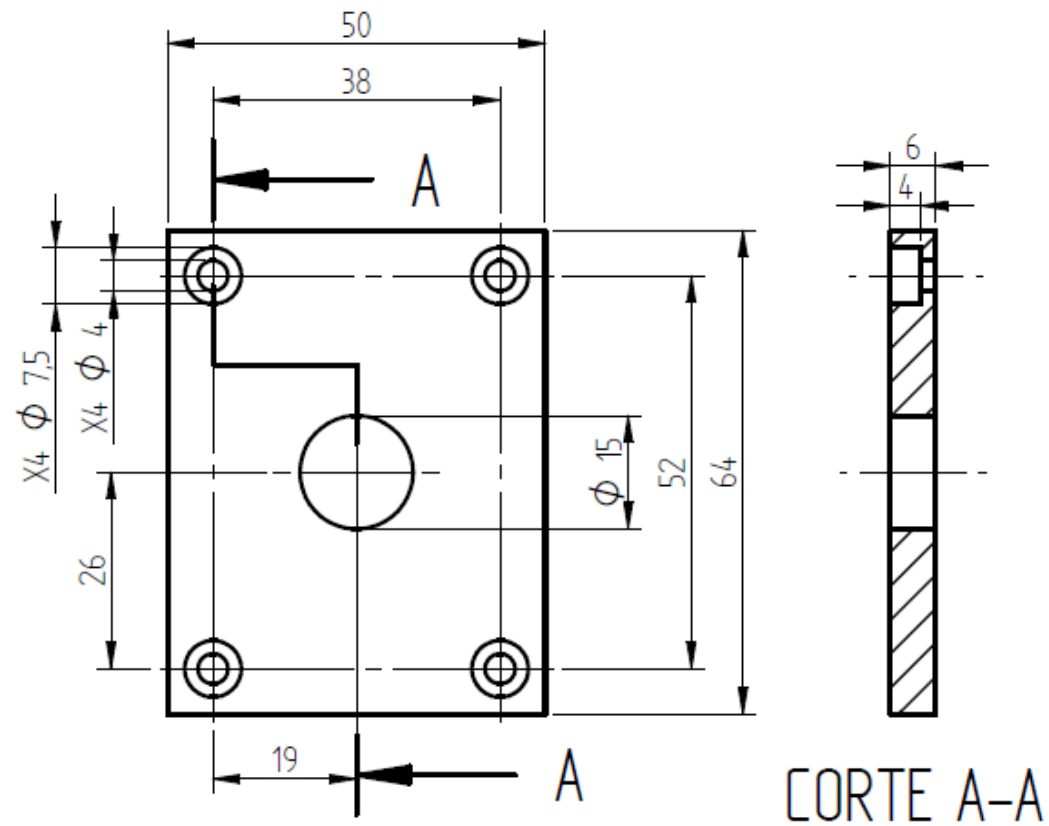
EMPRESA:				Si no se indica lo contrario:		Proyecto:	
 Facultad INGENIERÍA MECÁNICA				- Las cotas se expresan en mm[in]		MOLDE PARA MICRO GRAPAS	
				- Tolerancias: lineal: ± 0.15 angular: $\pm 1^\circ$		Cod. Proyecto:	
MATERIAL:				Acero P20		Nombre:	
DIBUJO: Villalobos, J.				PESO: 3.3193 N		PLACA PORTA-MOLDE FIJA	
VERIF: García, J.				ESCALA: 1:1		Cod. de Dibujo:	
APROB:				REPRES:		PHA - 004	
FABRICO:				Hoja No. 5/10		Rev.	



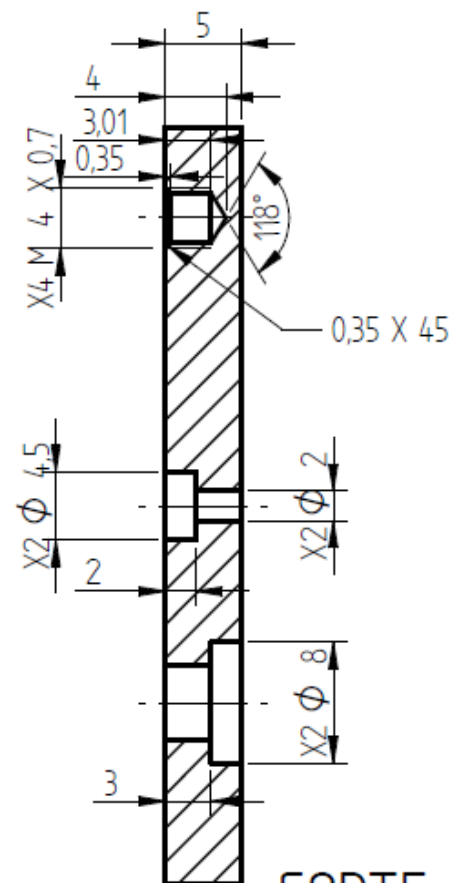
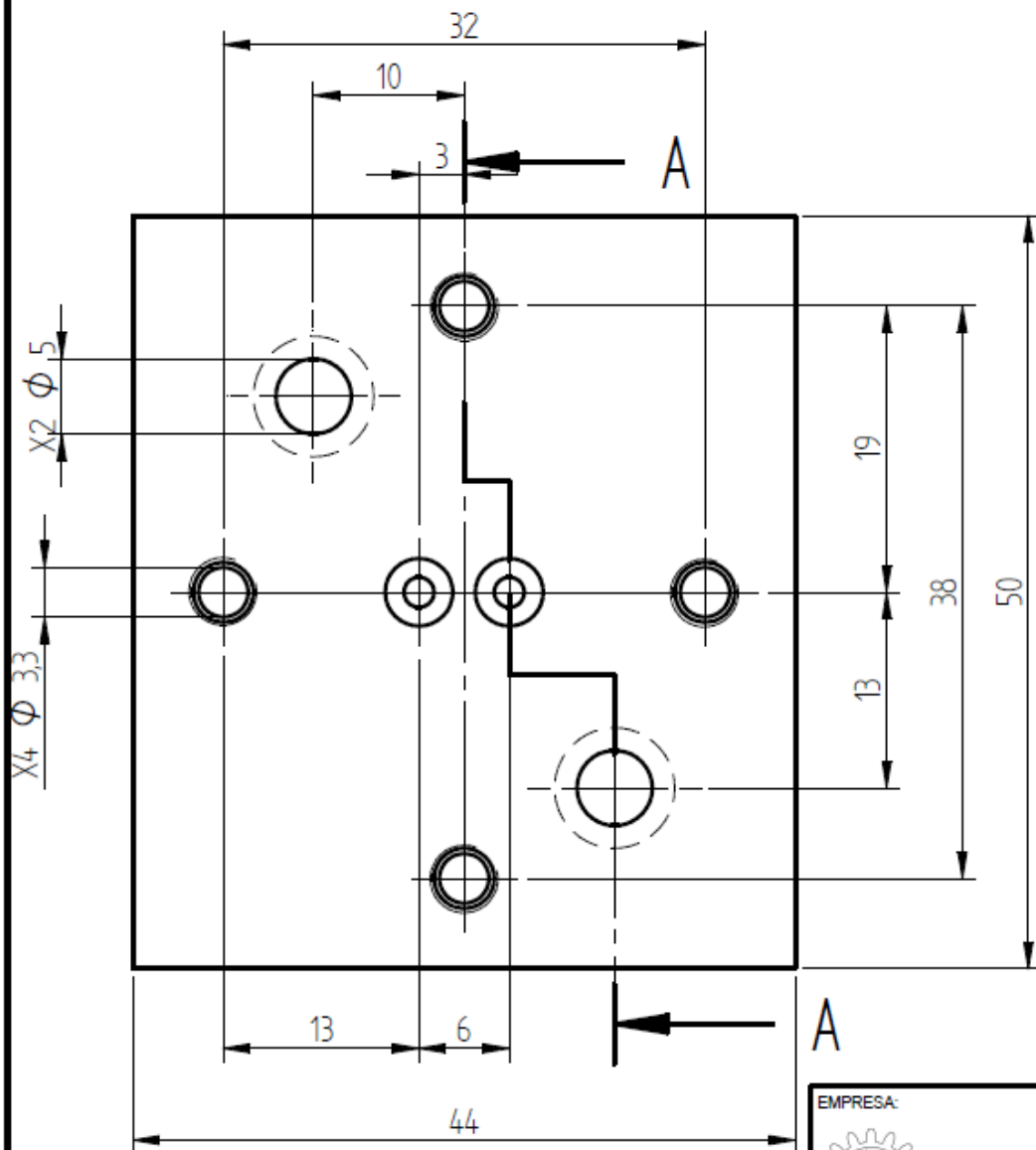
DETALLE B

CORTE A-A

EMPRESA:				Si no se indica lo contrario:		Proyecto:	
 Facultad INGENIERÍA MECÁNICA				- Las cotas se expresan en mm[in]		MOLDE PARA MICRO GRAPAS	
				- Tolerancias: lineal: $\pm 0,15$ angular: $\pm 1^\circ$		Cod. Proyecto:	
				MATERIAL:		MMG - 001	
				Acero P20		Nombre:	
				PESO:		PLACA PORTA-MOLDE MÓVIL	
				3.7065 N		Cod. de Dibujo:	
				ESCALA:		PHB - 005	
				1:1			
				REPRES:			
				Hoja No. 6/10			
				Rev.			



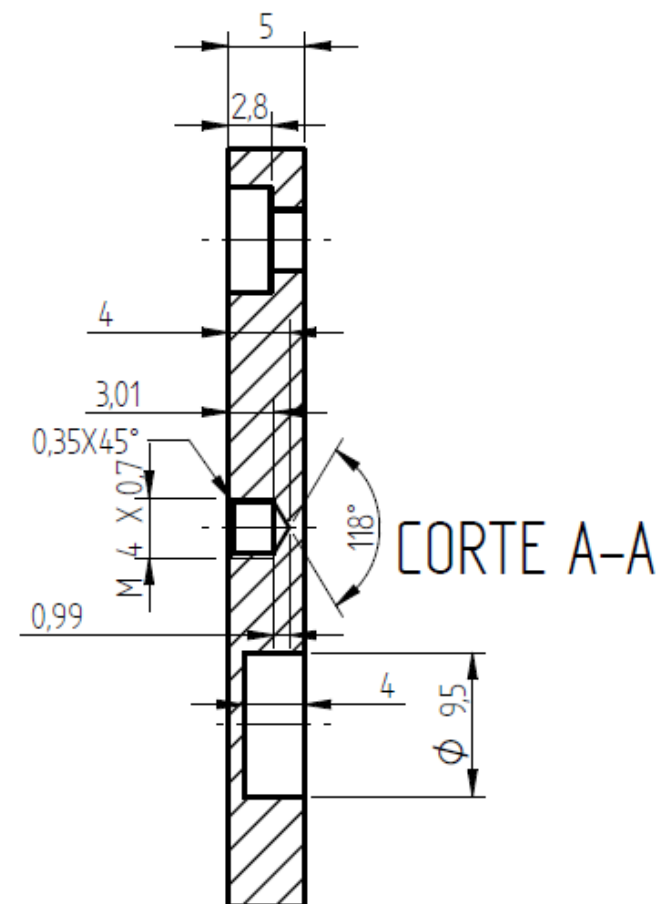
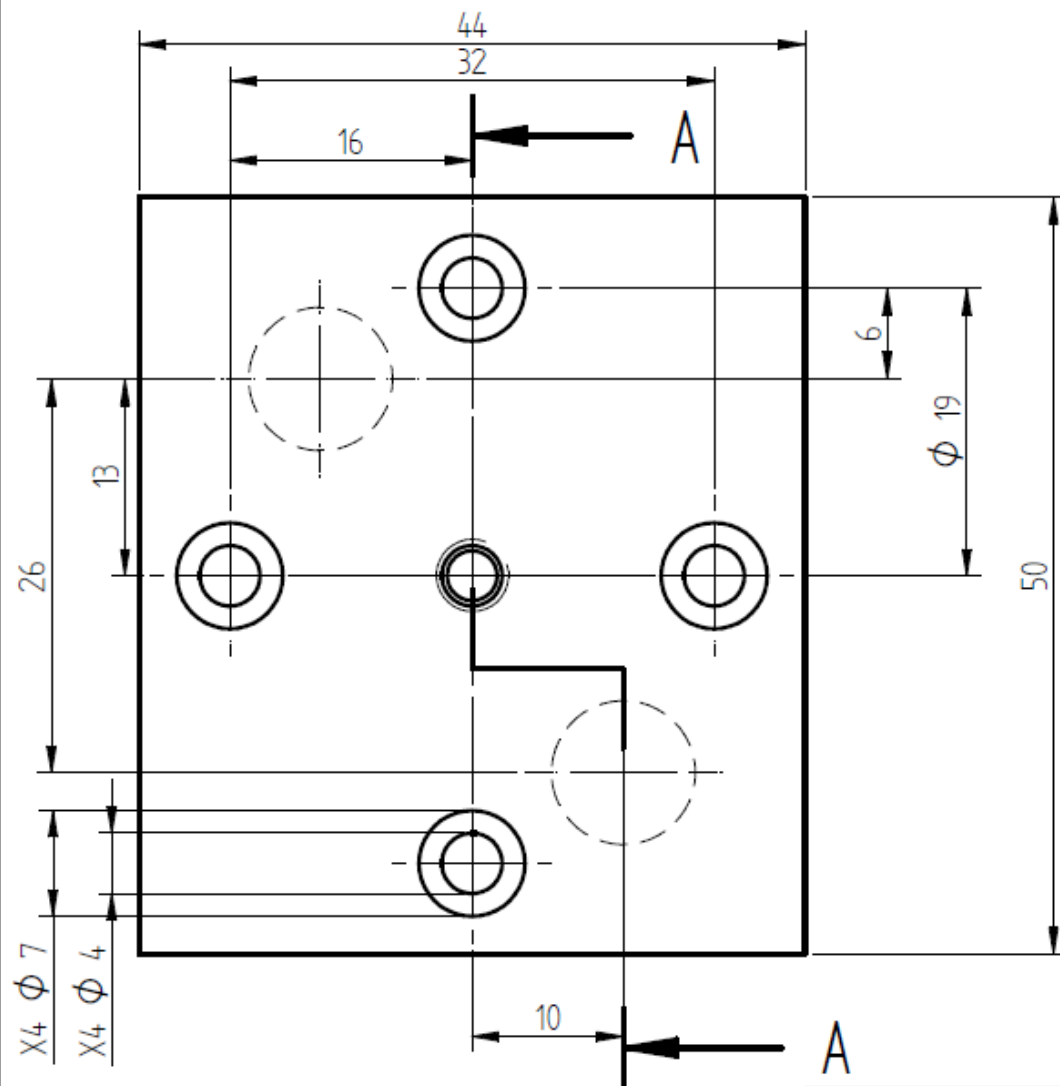
EMPRESA:				Si no se indica lo contrario:		Proyecto:	
 Facultad de Ingeniería Mecánica				- Las cotas se expresan en mm[in]		MOLDE PARA MICRO GRAPAS	
				- Tolerancias: lineal: ± 0.15 angular: $\pm 1^\circ$		Cod. Proyecto:	
				MATERIAL: Acero P20		Nombre:	
				PESO: 1.3141 N		PLACA BASE MÓVIL	
DIBUJO: Villalobos, J.				ESCALA: 1:1		Cod. de Dibujo:	
VERIF: García, J.				REPRES:		PBB - 006	
APROB:				Hoja No. 7/10		Rev.	
FABRICO:							



CORTE A-A

EMPRESA:				Si no se indica lo contrario:		Proyecto:	
 Facultad de Ingeniería Mecánica				- Las cotas se expresan en mm[in]		MOLDE PARA MICRO GRAPAS	
				- Tolerancias: lineal: ± 0.15 angular: $\pm 1^\circ$		Cod. Proyecto:	
MATERIAL:				Acero P20		Nombre:	
PESO:				0.7941 N		PLACA EXPULSORES	
DIBUJO:				Vitalobos, J.		25/04/2021	
VERIF:				García, J.		7/05/2021	
APROB:						Cod. de Dibujo:	
FABRICO:						PHE - 007	
Hoja No.				8/10		Rev.	

SOLID EDGE ACADEMIC



EMPRESA:

 Facultad
INGENIERÍA MECÁNICA

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJO:	Villalobos, J		25/04/2021
VERIF:	García, J		7/05/2021
APROB:			
FABRICO:			

Si no se indica lo contrario:

- Las cotas se expresan en mm[in]
- Tolerancias:
lineal: ± 0.15
angular: $\pm 1^\circ$

MATERIAL: Acero P20

PESO: 0.7477 N

ESCALA: 2:1

Hoja No. 9/10

REPRES:

Rev.

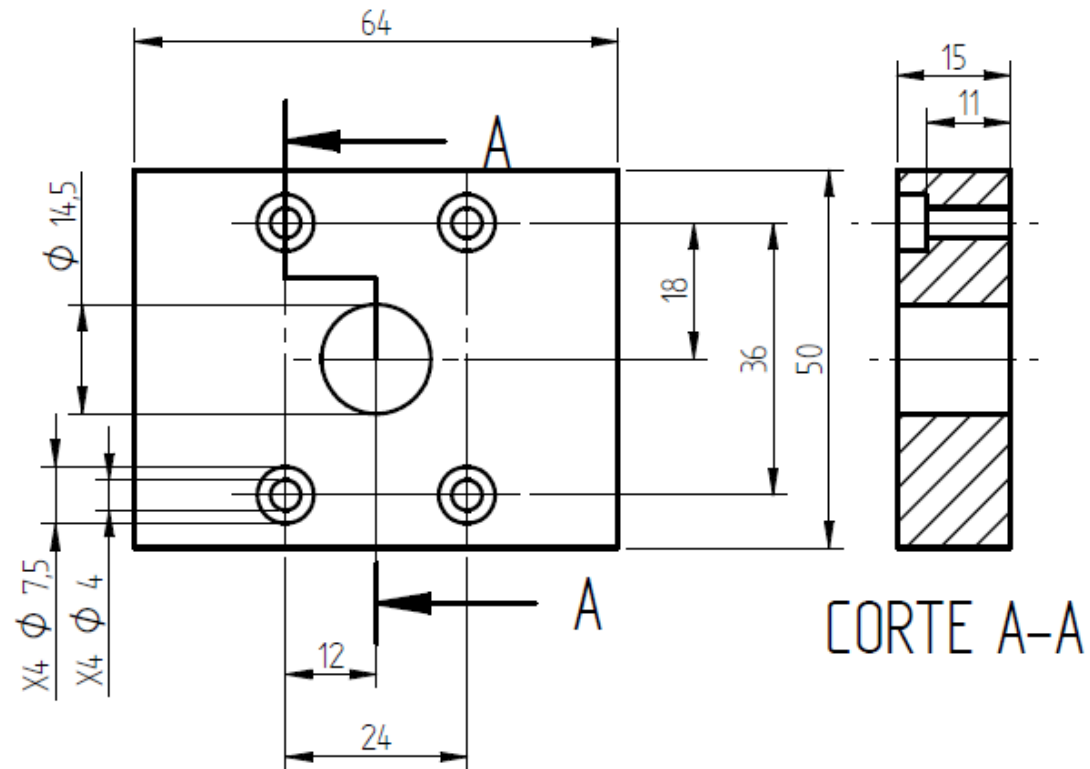
Proyecto: MOLDE PARA MICRO GRAPAS

Cod. Proyecto: MMG - 001

Nombre: PLACA RESORTES

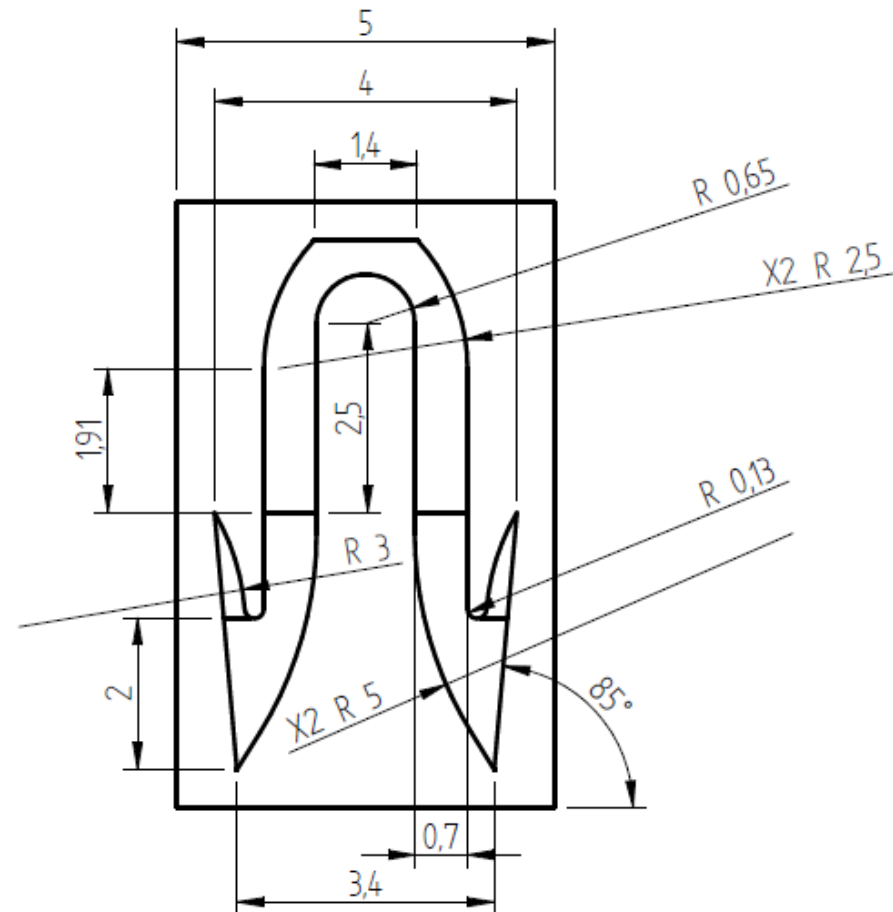
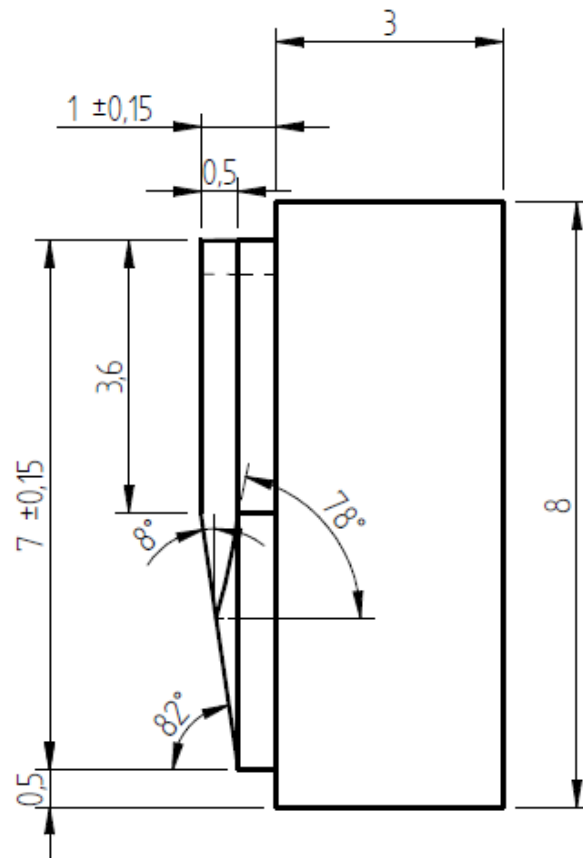
Cod. de Dibujo: PHR - 008

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



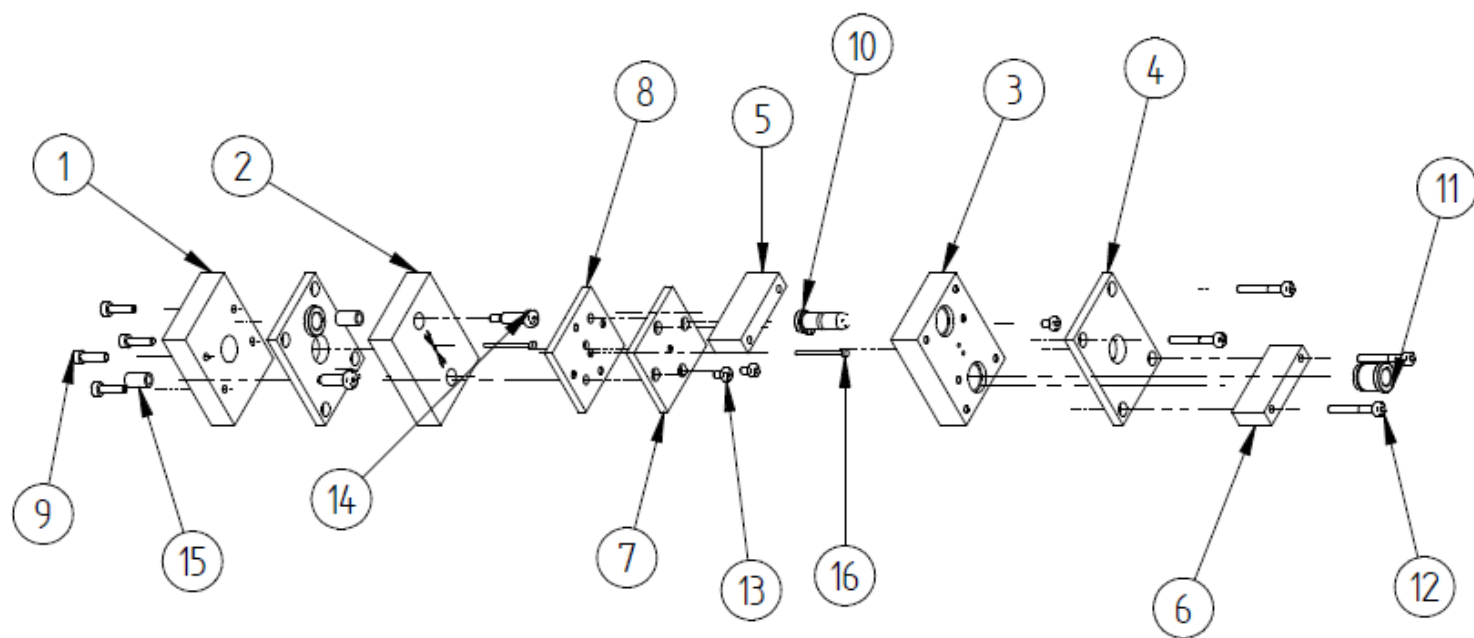
EMPRESA:				Si no se indica lo contrario:		Proyecto:	
 Facultad INGENIERÍA MECÁNICA				- Las cotas se expresan en mm[in]		MOLDE PARA MICRO GRAPAS	
				- Tolerancias: lineal: ± 0.15 angular: $\pm 1^\circ$		Cod. Proyecto:	
				MATERIAL:		Nombre:	
				Acero P20		PLACA BASE FIJA	
				PESO:		Cod. de Dibujo:	
				3.3570 N		SPA- 008	
				ESCALA:		REPRES:	
				1:1			
				Hoja No. 10/10		Rev.	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



EMPRESA:				Si no se indica lo contrario:		Proyecto:	
 Facultad INGENIERÍA MECÁNICA				- Las cotas se expresan en mm[in]		MOLDE PARA MICRO GRAPAS	
				- Tolerancias: lineal: ± 0.15 angular: $\pm 1^\circ$		Cod. Proyecto:	
MATERIAL:				Grafito		Nombre:	
PESO:				0.02 N		ELECTRODO MICRO GRAPA	
DIBUJO: Villalobos, J.				25/04/2021		Cod. de Dibujo:	
VERIF: García, J.				7/05/2021		PMC - 010	
APROB:							
FABRICO:							
Hoja No.				11/11		Rev.	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



Referencia	Descripción	Cantidad
1	Soporte placa A	1
10	Perno guía E 1020 9x40	2
11	Buje guía 9x17	2
12	Tornillo paralelas 4x30	4
13	Tornillo cabeza plana_1226_4x6_P lacaExpulsores	4
14	Tornillo Resorte_1240_5x16	2
15	E_1530_5x17_----- compressed_to_length_13_5	2
16	Expulsor_1710_2x40	2
2	Placa A	1
3	Placa B	1
4	Placa base	2
5	Paralela A	1
6	Paralela B	1
7	Placa resortes	1
8	Placa expulsores	1
9	Tornillo soporte placa A 4x16	4

