



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN PORTA MOLDES PARA INYECCIÓN
DE PLÁSTICOS.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

Presenta: González Hernández Eduardo

Director de Tesis: Dr. Álvaro Ayala Ruiz

MÉXICO D. F. 2008

Dedicatoria

A mis papas y mis profesores
Por transmitirme el gusto por aprender...

Agradecimientos

A mi asesor y director de tesis
Dr. Álvaro Ayala Ruiz

Por su apoyo y su paciencia a lo largo de la elaboración de la tesis...

A mis sinodales,
Dr. Javier Cervantes Cabello
Dr. Adrián Espinosa Bautista
M.I. Miguel Ángel Cruz Morales
M.I. Magdalena Trujillo Barragán

Por sus comentarios, aportaciones y apoyos...

A los miembros del LIMAC, al laboratorio de manufactura avanzada y laboratorio de máquinas herramientas convencionales por su ayuda y facilidades prestadas.

A mis padres
Agustín Ramiro González

Guadalupe del Carmen Hernández Vaca.

Por su apoyo y espera a pesar de la distancia...

A mi novia
Guadalupe Dueñas

Por siempre confiar en mí...

A mis amigos
Por los momentos que pasamos juntos, apoyarme incondicionalmente y por transmitirme su fabulosa cultura...

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme la formación de un ingeniero y por abrirme las puertas a un mundo nuevo.

Para todos ellos mi sincera gratitud por el interés y cuidado que se tomaron para asesorar esta tesis y haberle dedicado parte de su valioso tiempo.

González Hernández Eduardo.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	6
CAPITULO 1.	
Revisión de la metodología.....	8
1.1 Introducción.....	8
1.2 Antecedentes.....	8
1.3 Aplicación de la metodología propuesta (<i>Memoria de cálculo</i>).....	9
1.4 Actividad A11 (<i>Entender problema {voz del cliente}</i>).....	9
1.4.1 Actividad A111 (<i>Definir requerimientos y especificaciones</i>).....	9
1.4.2 Actividad A112 (<i>Dar prioridad de especificaciones</i>).....	11
1.5 Actividad A12 (<i>Realizar diseño conceptual y de detalle</i>).....	11
1.5.1 Actividad A121 (<i>Calcular número de cavidades</i>).....	11
1.5.2 Actividad A122 (<i>Realizar diseño del sistema mecánico</i>).....	13
Actividad A1221 (<i>Seleccionar tipo de molde</i>).....	13
Actividad A12211 (<i>Ubicar línea de partición</i>).....	13
Actividad A12212 (<i>Seleccionar número de placas y composición</i>).....	14
Placas fija y móvil del porta moldes.....	14
Placas de cavidades intercambiables superior e inferior.....	14
Actividad A12213 (<i>Definir tipo de molde</i>).....	15
Actividad A1222 (<i>Seleccionar mecanismo de cierre y apertura</i>).....	15
Actividad A1223 (<i>Desmoldear pieza</i>).....	15
Actividad A12231 (<i>Determinar fuerza de apertura del molde</i>).....	16
Actividad A12232 (<i>Determinar fuerza de desmoldeo</i>).....	17
Actividad A12233 (<i>Seleccionar medio de expulsión y su localización</i>).....	17
Actividad A12234 (<i>Definir dispositivo de desmoldeo</i>).....	17
Actividad A1224 (<i>Definir parámetros de diseño del sistema mecánico propuesto</i>).....	18
1.5.3 Actividad A123 (<i>Realizar diseño del sistema de distribución</i>).....	18
Actividad A1231 (<i>Recibir masa plástica</i>).....	18
Actividad A1232 (<i>Distribuir masa plástica</i>).....	20
Actividad A1233 (<i>seleccionar características de puntos de inyección</i>).....	20
Actividad A1234 (<i>Dar forma a la masa plástica e integrar parámetros</i>).....	20
Actividad A1235 (<i>Determinar fuerza mínima de cierre</i>).....	21
1.5.4 Actividad A124 (<i>Realizar diseño del sistema térmico</i>).....	21
Actividad A1241 (<i>Calcular tiempo de refrigeración</i>).....	21
Actividad A1242 (<i>Determinar calor que debe disiparse</i>).....	21
Actividad A1243 (<i>Elegir agente refrigerante</i>).....	21
Actividad A1244 (<i>Determinar arreglo y dimensiones de los canales de refrigeración</i>).....	22
1.5.5 Actividad A125 (<i>Integrar y seleccionar parámetros</i>).....	22
1.5.6 Actividad A126 (<i>Generar dibujo de detalle</i>).....	23
1.6 Especificaciones de los insertos intercambiables.....	24
1.6.1 Sistema mecánico en los insertos.....	24
1.6.2 Sistema de distribución en los moldes intercambiables.....	25

CAPITULO 2.	
Manufactura del porta moldes.....	26
2.1 Introducción.	26
2.2 Ventajas de la aplicación de una máquina herramienta con CNC.....	26
2.3 A133: Calcular parámetros de mecanizado.....	26
2.4 Generar ruta de trabajo.	34
2.5 Simular procesos de manufactura.	44
2.6 Proceso de manufactura manual.	63
2.7 Proceso de manufactura por electroerosión.	67
2.8 Ensamble del porta molde para inyección de plástico.....	73
CAPÍTULO 3.	
Proceso de inyección de plástico.....	77
3.1 Introducción.....	77
3.2 Caso práctico.....	77
3.2.1 Actividad A12232 (<i>Determinar fuerza de desmoldeo</i>).....	79
3.2.2 Actividad A125 (<i>Integrar y seleccionar parámetros</i>).....	80
3.3. Generar ruta de trabajo.....	82
3.4. Simular procesos de manufactura.....	89
3.5. Prueba de inyección de plástico.....	94
CONCLUSIONES.....	96
Apéndice A. <i>Actividad A0: Diseño de moldes para inyección de plástico utilizando el lenguaje IDEF0</i>.....	98
Apéndice B. Planos de fabricación del molde porta moldes realizados por González.....	109
Apéndice C. Planos de fabricación del molde porta moldes realizados por Castelan y Tapia.....	139
BIBLIOGRAFÍA.....	144

INTRODUCCIÓN.

En la asignatura de Diseño y Manufactura Asistido por Computadora, cada semestre se diseñan y maquinan moldes para inyección de plástico. La inyección de plástico se realiza con máquinas manuales, esto tiene en ocasiones problemas ya que existen variables como temperatura (T), presión (P), etc. que no se pueden controlar de la mejor manera. Las piezas se queman, presentan rechupes, mal acabado superficial, etc. Lo anterior repercute en la geometría y la calidad de la pieza a inyectar. Por lo que se presenta la necesidad de mejorar el proceso de los moldes para inyección de plástico.

Para mejorar el proceso de inyección se propone utilizar para fines académicos la máquina de inyección con la que cuenta la Facultad de Ingeniería, de la UNAM, modelo DEMAG ERGOTECH PRO 50-270, e inyectar diversos plásticos hasta plásticos de ingeniería.

- Cloruro de Polivinilo (PVC)
- Politetrafluoroetileno (PTFE)
- Polipropileno (PP)
- Poliestireno (PS)
- Poli(metacrilato de metilo) (PMMA)
- Poliamida (PA) (nylon)
- Tereftalato de polietileno (PET)
- Policarbonato (PC)
- Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)
- Acetal (POM)

Así como utilizar moldes sofisticados con sistema de expulsión de la pieza, sistema de sujeción, etc.

Si se considera que el diseño y fabricación de un molde puede llevar semanas o meses y considerando que se está en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Es imposible que en un semestre se realicen dos o tres moldes para inyección con las características señaladas anteriormente.

Basado en lo anterior se propone diseñar y fabricar un porta moldes que cuente con cavidades para poder insertar moldes pequeños de aluminio, que tenga la facilidad para soportar el intercambio de moldes de aluminio hechos por los alumnos. Obteniéndose así las distintas geometrías diseñadas en la materia mencionada anteriormente en lotes pequeños y en poco tiempo, complementando así el aprendizaje.

El objetivo del presente trabajo es diseñar y fabricar un porta moldes para inyección de plástico que asista las actividades desarrolladas en la asignatura de Diseño y Manufactura Asistido por Computadora, con lo cual el alumno se

concentre exclusivamente en el desarrollo de las placas de cavidades intercambiables del producto que este desarrollando. Utilizar y validar la metodología para el diseño de moldes para inyección de plástico propuesta por Castelan y Tapia [1] y en su caso modificar o complementar la metodología.

Se realizaron pruebas de ingeniería utilizando un molde como cavidades inserto intercambiables realizándose la inyección de plástico y moldeando una pieza verificando así la funcionalidad del porta moldes.

En el capítulo 1 se realizó la revisión del diseño de moldes. Comprende el desarrollo de la actividad A13: Generar información de manufactura del porta molde apéndice A.

Se revisó el diseño, los planos de fabricación y ensamble. En este caso existieron cambios y se realizaron nuevos planos de fabricación y ensamble, se obtuvo la lista de materiales y se definieron las rutas de trabajo de las piezas, y se realizaron algunos de los procesos de manufactura, con esto se verifico el diseño y se realizó la fabricación del porta molde.

Utilizando un programa comercial de CAD/CAM como Unigraphics NX5 y con la ayuda de los planos y dibujos de cada componente del molde, se realizó la simulación del proceso de manufactura y se obtuvo con un post procesador el código de control numérico para utilizar la máquina-herramienta EMCO VMC 300.

En el capítulo 2 se detallan las técnicas de manufactura empleadas durante el desarrollo del trabajo, se describe la manufactura del porta molde de inyección de plástico. Por último se recopilan los resultados obtenidos del caso de estudio

En el capítulo 3 se realizó el proceso de inyección de plástico para un molde hace tiempo maquinado por alumnos de la Facultad de Ingeniería el cual se adapto al porta molde.

Finalmente se presentan las conclusiones.

Capítulo 1

Revisión de la metodología.

1.1 Introducción.

En este capítulo, se revisó y utilizó la metodología para el diseño de moldes para inyección de plásticos que propone Castelan y Tapia [1].

La metodología se aplicó para el diseño de un porta moldes, así como para el diseño de cavidades intercambiables.

Nacidos hace más de un siglo como modestos sustitutos para fabricar bolas de billar, los plásticos han experimentado una evolución constante y creciente. Pocos hubieran imaginado hace años que este material haría tan extraordinaria carrera y que, incluso, pudiera darle nombre a una era.

Ya no se trata sólo de que ciertos plásticos sustituyan componentes o piezas de madera, metal y cerámica, sino que han venido a crear espacios propios derivados de sus extraordinarias propiedades y de su capacidad para adaptarse y servir a las necesidades de los usuarios. Una de las características principales es, la facilidad para deformarse, es decir, la plasticidad, que aunque también la poseen otros materiales, como los metales, parece haber sido la llave para entrar en el mundo de la industria y las tecnologías [2].

El proceso de inyección de plásticos es demasiado amplio, por lo que es recomendable, familiarizarse tanto con el proceso como con la misma máquina.

1.2 Antecedentes.

Para mejorar el proceso de inyección en la asignatura de Diseño y Manufactura Asistido por Computadora, se propone utilizar para fines académicos la máquina de inyección con la que cuenta la Facultad de Ingeniería, de la UNAM, modelo DEMAG ERGOTECH PRO 50-270, e inyectar diversos plásticos como:

- Cloruro de Polivinilo (PVC)
- Politetrafluoroetileno (PTFE)
- Polipropileno (PP)
- Poliestireno (PS)
- Poli(metacrilato de metilo) (PMMA)
- Poliamida (PA) (nylon)
- Tereftalato de polietileno (PET)
- Policarbonato (PC)
- Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)

Esto trae la necesidad de utilizar un molde más sofisticado con botadores, con sistema de sujeción, etc.

Partiendo de un molde con el que anteriormente se obtenían estuches de disquetes, se realizó un rediseño, para obtener un porta moldes.

Se pretende usar la mayor cantidad de componentes del molde para estuches de disquetes, con el objeto de minimizar costos de diseño y manufactura, así como tiempo en su desarrollo.

1.3 Aplicación de la metodología propuesta (*Memoria de cálculo*).

Utilizando la metodología propuesta por medio de un lenguaje llamado IDEF0 (Icam DEFinition languages) apéndice A, Castelan y Tapia [1], se siguió paso a paso su metodología (*Actividad A0: Diseño de moldes para inyección de plástico*), se realizó el proceso de diseño (*Actividad A1*). El desarrollo de esta actividad se describe en la siguiente sección.

1.4 Actividad A11 (*Entender problema {voz del cliente}*).

Es la primera actividad del proceso de diseño, esta actividad se divide en dos actividades A111 y A112, las cuales se describen a continuación:

1.4.1 Actividad A111 (*Definir requerimientos y especificaciones*).

En esta actividad se especifican los requerimientos del porta moldes, así como las especificaciones de la máquina y del plástico a inyectar, los cuales se muestran a continuación:

❖ Requerimientos de la pieza.

- Se inyectará la mayor cantidad de plástico por ciclo de inyección de la máquina, por lo tanto, se diseño el porta molde para que se pueda inyectar el mayor volumen de plástico.
- La geometría de la pieza a inyectar deberá contar con una cara plana paralela a la cara superior del perno botador empleado (ver figura 1.1).

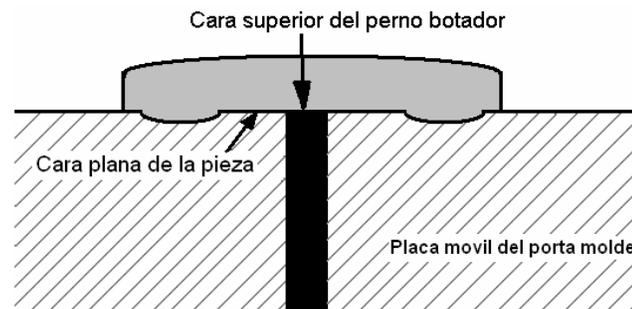


Figura 1.1. Perno botador que toca una cara plana de la pieza.

- La inyección de plástico no será manual como anteriormente se hacía, el porta moldes se utilizará para realizar inyección de plástico automática.
- Como los fines del porta moldes es para uso académico, se establece no usar acabados superficiales finos en las superficies de las cavidades del porta molde.

❖ **Requerimientos del porta moldes.**

- Se utilizó la mayor cantidad de piezas del molde que se usaban para obtener disquetes.
- Se inyectará un volumen de producción sumamente bajo, ya que el uso principal al que se le designará es a la docencia, por lo tanto, no sobrepasará una producción aproximadamente de 50 piezas en turnos esporádicos.
- Se propone usar un material económico para las placas del molde de cavidades intercambiables (que es lo único que se pretende maquinar), como lo es el acero de bajo carbono, por ejemplo: 1010, 1015, 1018, 1025.
- Los costos de manufactura deben ser extremadamente bajos, por lo tanto se deberá diseñar un porta molde de dos placas y sin deslizamientos laterales.
- Se inyectarán los plásticos más comúnmente usados en la industria, tal es el caso.
 - Cloruro de Polivinilo (PVC)
 - Politetrafluoroetileno (PTFE)
 - Polipropileno (PP)
 - Poliestireno (PS)
 - Poli(metacrilato de metilo) (PMMA)
 - Poliamida (PA) (nylon)
 - Tereftalato de polietileno (PET)
 - Policarbonato (PC)
 - Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)

Especificaciones de la máquina.

La máquina con la que cuenta la Facultad de Ingeniería es el modelo DEMAG ERGOTECH PRO 50-270, con las siguientes características:

Unidad de cierre hidráulica.

Fuerza de cierre	500 kN
Fuerza de enclavamiento	500 kN
Carrera máxima de apertura	400 mm
Altura mínima del molde	210 mm
Altura máxima del molde	-
Distancia máxima entre platos porta moldes	610 mm
Platos porta moldes	540x540 mm
Distancia útil entre columnas	355x355 mm
Peso máximo del molde	400 Kg

Datos generales.

Capacidad del tanque de aceite	135 lt
Grupo motobomba	11 kW
Potencia total instalada	18.5 kW
Peso neto sin aceite	2500 kg
Medidas LxAxAlto	13650x1150x1770 mm

Expulsor hidráulico.

Carrera del expulsor	125 mm
Fuerza del expulsor	41.2 kN
Fuerza de retroceso del expulsor	14.9 kN

Unidad de inyección (Cilindro plastificador).

Diámetro del husillo	35 mm
Relación L/D	20
Presión de inyección	1890 bar
Volumen desplazado	144.3 cm
Peso de pieza inyectada	128 g
Carrera máxima de dosificación	150 mm
Carrera máxima de boquilla	250 mm
Profundidad de inmersión de boquilla	40 mm
Presión de apoyo de boquilla	66 kN
Potencia instalada de calefacción del cilindro	7.5 Kw
Capacidad de tolva	35 lt
Cierre máximo	210 mm

Especificaciones de los plásticos a inyectar.

Los plásticos que se van a poder inyectar en los moldes intercambiables serán:

- Polietileno (PE).
- Polipropileno (PP).

1.4.2 Actividad A112 (*Dar prioridad de especificaciones*).

Las prioridades más importantes de acuerdo al criterio del diseñador son:

1. Usar la mayor cantidad de elementos que componen al molde de estuches para disquetes.
2. Emplear un acero de bajo carbono en la elaboración de los componentes del porta molde.
3. Los costos de manufactura deben ser bajos.
4. Los plásticos que se inyectaran serán PE y PP.
5. Inyectar la mayor cantidad de plástico por ciclo de inyección de la máquina.

1.5 Actividad A12 (*Realizar diseño conceptual y de detalle*).

En esta actividad se desarrollan las *Actividades A121, A122, A123, A124, A125 y A126*, las cuales se describen a continuación:

1.5.1 Actividad A121 (*Calcular número de cavidades*).

En esta actividad se calcula el número de piezas que se podrán inyectar en el porta molde, dependiendo del tipo de moldes intercambiables que se empleen en el porta molde, el cual depende del área efectiva de la máquina (*ver figura 1.2*) y de la distribución de las piezas que se inyectarán.

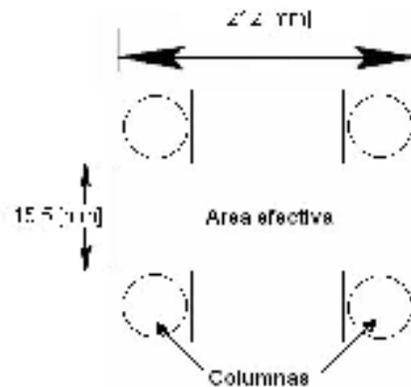


Figura 1.2. Área efectiva del molde, dependiendo de la distancia entre las columnas.

Para determinar el volumen máximo de cada pieza, se proponen las configuraciones siguientes figura 1.3.

Las configuraciones propuestas son:

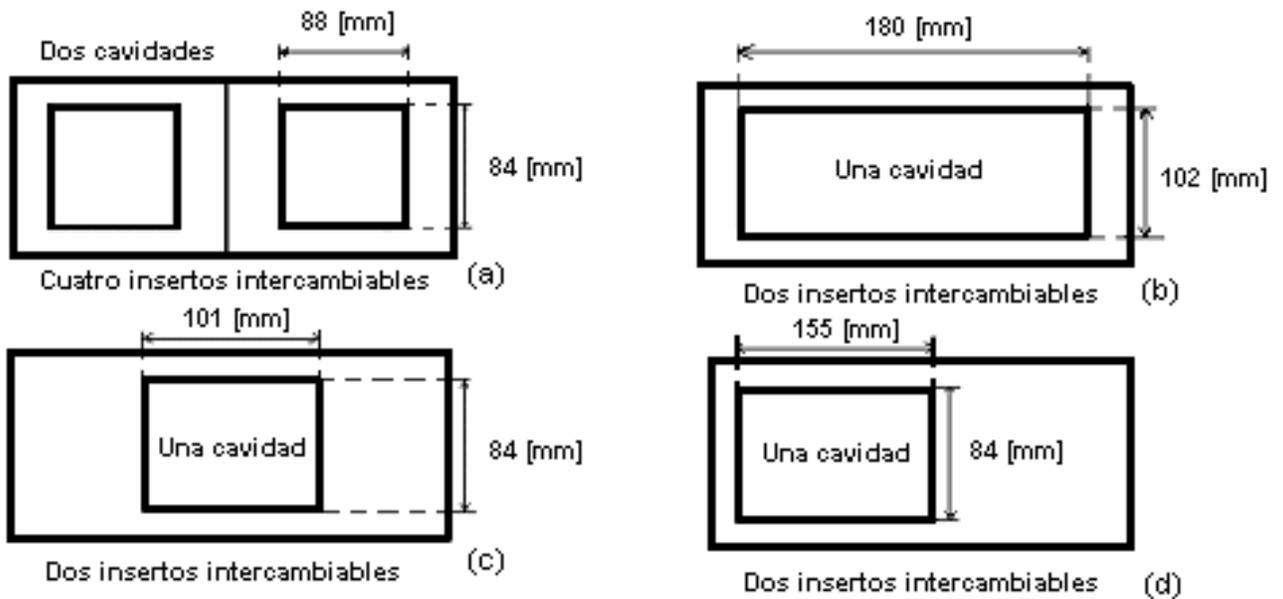


Figura 1.3. Inserto propuesto y arreglo propuesto para las cavidades.

Aún cuando, en ocasiones las piezas que se pretendan inyectar tengan diferentes geometrías y volúmenes, los arreglos anteriores no deberán exceder el volumen máximo $V = 89.04 \text{ [cm}^3\text{]}$, que se podrán inyectar en el porta molde.

El arreglo de la figura 1.3 (d), no es recomendable utilizarlo (aunque es posible) debido a que puede dañarse la máquina de inyección de plástico, ya que la configuración ejerce mayor fuerza en un lado del molde y esto ocasiona un desequilibrio en las columnas de la máquina de inyección.

1.5.2 Actividad A122 (*Realizar diseño del sistema mecánico*).

Para desarrollar esta actividad se realizaron las *Actividades A1221, A1222, A1223 y A1224*, las cuales se describen a continuación:

Actividad A1221 (*Seleccionar tipo de molde*).

Para desarrollar esta actividad se realizaron las *Actividades A12211, A12212 y A12213*, las cuales se describen a continuación:

Actividad A12211 (*Ubicar línea de partición*):

Debido a la necesidad de diseñar un molde de dos placas, tal y como se especificó anteriormente, se diseñó un porta molde para piezas que contengan sólo una línea de partición.

Las geometrías que se podrán inyectar, serán piezas que contengan máximo un cambio de sección en dirección de la apertura del porta molde, tal y como se especifica en la figura 1.4.

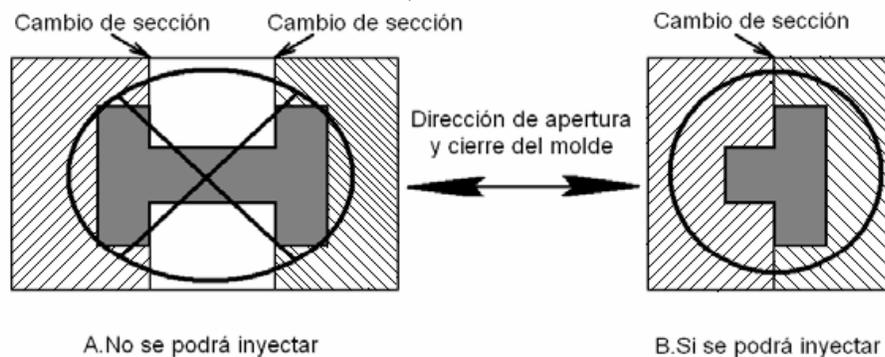


Figura 1.4. Geometrías con máximo un cambio de sección en dirección de la apertura del porta moldes.

La línea de partición de las piezas será ubicada en la geometría escogida, la limitante de esto es la altura ($h_1 = 8 \text{ [mm]}$) de la pieza (ver figura 1.5).

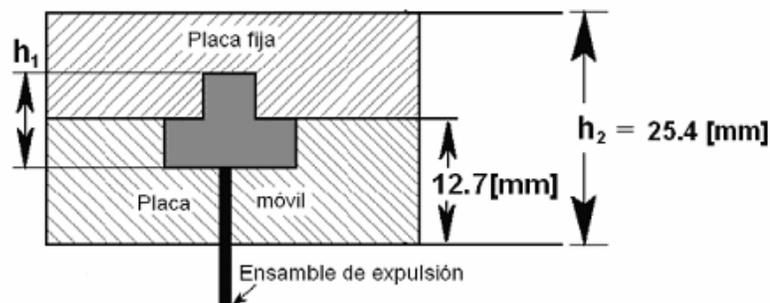


Figura 1.5. Altura de la pieza.

La orientación de las piezas dependerá de la localización del punto en el cual se aplicará el desmoldeo. Utilizando el criterio de proveer mayor área de contacto entre la pieza y la cavidad, se localizará la pieza en la placa móvil (cavidad

intercambiable), tal y como se muestra en la figura 1.6 el cual cumple con las restricciones propuestas.

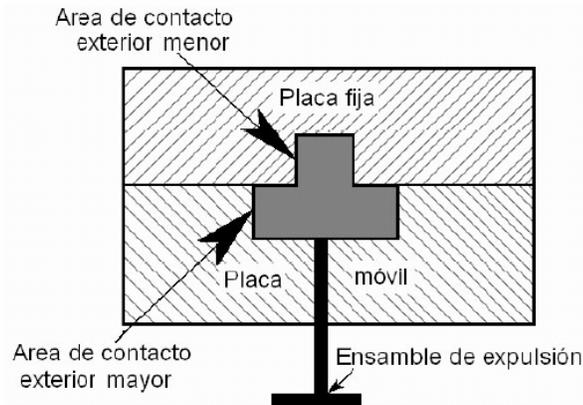


Figura 1.6. Orientación de la pieza entre la placa móvil y la placa fija.

Actividad A12212 (Seleccionar número de placas y composición):

Para simplicidad en la manufactura y minimizar los costos que implica la elaboración de un molde de tres placas, se optó por seleccionar un molde de dos placas, que es más económico, tal y como lo requiere el rediseño. El espesor de la placa móvil y la placa fija, Castelan y Tapia [1]. Lo consideraron de 24.4 y 36.6 [mm] respectivamente, ya que son las medidas del molde de estuches para disquetes.

❖ Placas fija y móvil del porta moldes:

Basado en lo propuesto por Castelan y Tapia [1], la selección es acero 1018 (Cold Roll), con un costo por kilogramo de \$4.50 dólares.

- Placa móvil de 24.4 [mm] de acero 1018 (Cold roll).
- Placa fija de 36.6 [mm] de acero 1018 (Cold roll).
- Insertos intercambiables de 11.7 [mm] de acero 1018 (Cold roll).
- Placa de retención de botadores 18.6 [mm] de acero 1018 (Cold roll).
- Placa de expulsión de botadores 18.6 [mm] de acero 1018 (Cold roll).

Sin embargo, estas medidas cambiaron debido al rediseño y manufactura del porta molde.

El bajo costo del acero 1018 y el bajo volumen de producción justifica el uso del material de las placas del porta moldes. Como este material es de bajo carbono, implica que es candidato a la corrosión, por lo que deberá ser protegido contra la corrosión con algún aceite anticorrosivo o un tratamiento superficial.

❖ Placas de cavidades intercambiables superior e inferior:

Se selecciona el espesor de 12.7 [mm] para cada placa intercambiable. Por otra parte, se sabe que los espesores máximos de las piezas serán de 8 [mm].

Análisis de la placa móvil y placa fija: Para verificar la posibilidad de pandeo de las placas Castelan y Tapia [1], realizaron análisis estructural a cada una, considerando una fuerza cierre de: $F_{\text{cierremáquina}}=1000$ [kN].

El desplazamiento máximo en la placa fija es de 3.62×10^{-2} [mm] y en la placa móvil de 3.353×10^{-1} [mm], lo anterior muestra que el espesor de las placas es adecuado.

Actividad A12213 (Definir tipo de molde):

La información resultante de las actividades anteriores, es la siguiente:

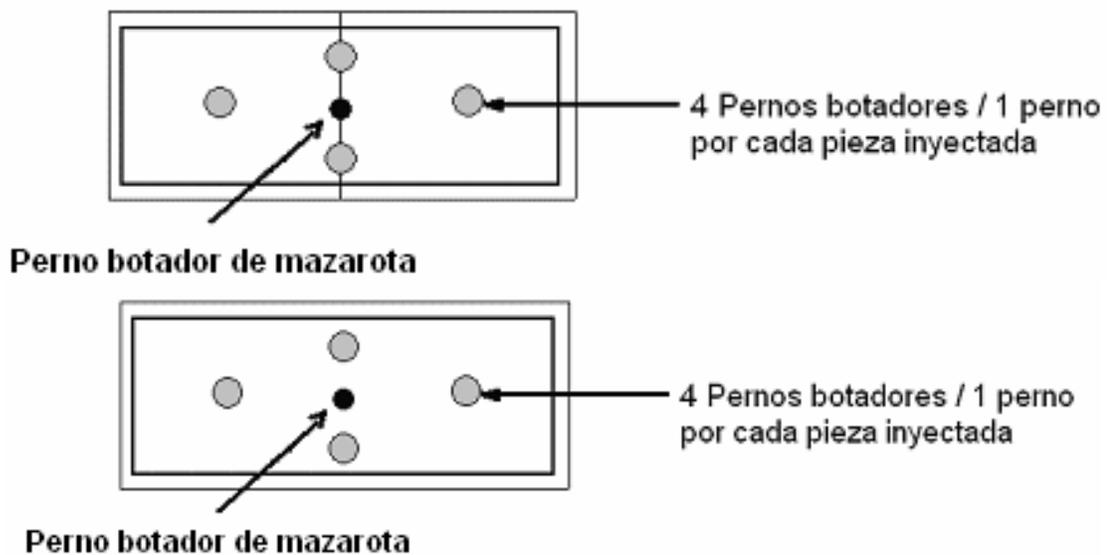
1. **Línea de partición:** Sólo se empleará el porta molde para diseños con una línea de partición.
2. **Tipo de molde:** Molde de dos placas de cavidades intercambiables.
3. **Material de las placas:** Para las placas se utilizó acero 1018 (Cold Roll) y para los moldes intercambiables aluminio comercial. El bajo volumen de producción justifica el uso del material de las placas para los moldes intercambiables y para simplicidad en la manufactura.

Actividad A1222 (Seleccionar mecanismo de cierre y apertura).

Para el caso de estudio, la máquina ya fue seleccionada, la cual tiene un mecanismo de cierre y apertura, del tipo hidráulico.

Actividad A1223 (Desmoldear pieza).

Queda definido que se expulsarán las piezas por medio de 4 pernos botadores. Debido a la configuración propuesta en la figura 1.2, cada pieza se podrá expulsar con un sólo perno botador (ver figura 1.7).



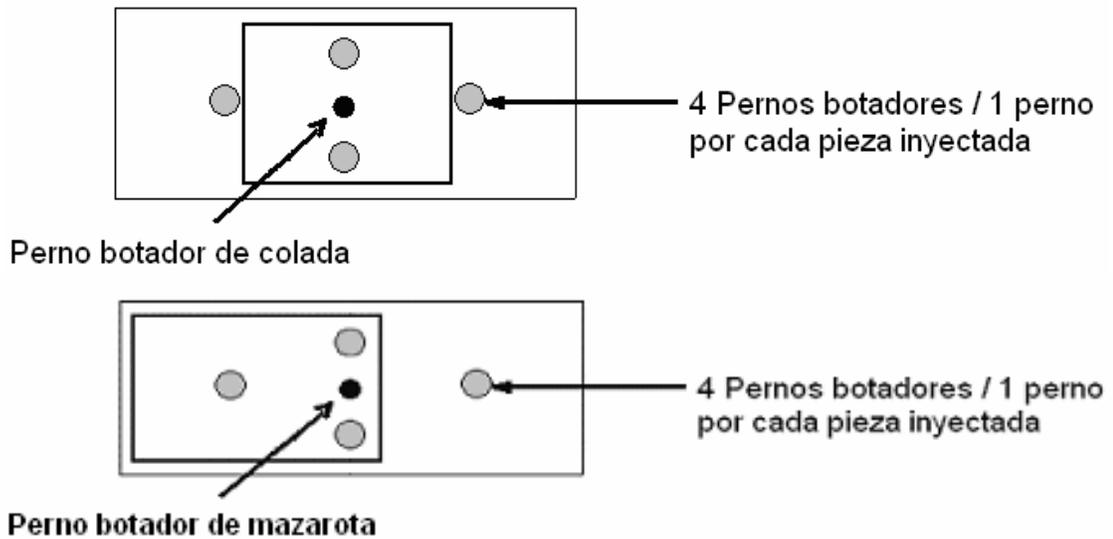


Figura 1.7. Piezas que se pueden expulsar con un sólo perno botador.

En el porta molde, se uso el ensamble de los elementos de soporte configurados en el molde de estuches para disquetes, que son los siguientes:

- Placa de soporte del molde.
- Placas de separación.
- Placas paralelas de separación.

Los pernos que se van a utilizar en la elaboración de este porta moldes, son:

- 4 pernos botadores de la pieza, con diámetro de 9.525 [mm].
- 4 pernos de retorno, con diámetro de 6.35 [mm].
- 1 perno para botar la colada de diámetro 4.7625 [mm].

Para completar esta actividad se desarrollaran las actividades A12231, A12232, A12233 y A12234, las cuales se describen a continuación:

Actividad A12231 (*Determinar fuerza de apertura del molde*):

Como se ignora el efecto de dilatación térmica del porta molde y dado que existe contacto entre las cavidades intercambiables de aluminio, se analizó el efecto de apertura teórico obteniendo que:

Para el PE:

$$K_{wth} = 445 \text{ [kN]}$$

Para el PP:

$$K_{wth} = 534 \text{ [kN]}$$

Analizando los valores anteriores, se nota que la fuerza de apertura en el caso del PP excede la fuerza de cierre de la máquina, por lo tanto se recomienda no llegar a un área que exceda la fuerza de cierre, es decir, un área de $36360 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$, utilizando el PP.

Actividad A12232 (Determinar fuerza de desmoldeo):

Para que las piezas sean desmoldeadas, existe la duda si la fuerza de $P = 41.2 \text{ [kN]}$, podrá dañar a las piezas. Castelan y Tapia [1] determinaron la resistencia de la pieza ante la fuerza del expulsor hidráulico, teniendo como dato la fuerza del expulsor y como incógnita el módulo de elasticidad.

Para el PE:

$$E = 2.115 \text{ [MPa]} \leq E_{PE} = 2.6 \text{ [GPa]}$$

Para el PP:

$$E = 2.677 \text{ [MPa]} \leq E_{PP} = 13.5 \text{ [GPa]}$$

Lo anterior indica que cuando el módulo de elasticidad sea grande, se necesitará una mayor fuerza para poder deformar la pieza y como esta deformación es constante, entonces no sobrepasará el límite de elasticidad de la pieza. Así el material no presentará deformación al aplicarle una fuerza de desmoldeo grande. Con lo anterior se afirma que no se dañará la pieza moldeada.

Actividad A12233 (Seleccionar medio de expulsión y su localización):

De acuerdo al diseño del porta moldes, los pernos para el medio de expulsión tienen las siguientes dimensiones.

- a) 1 Perno botador de mazarota o vela $d = 4.7625 \text{ [mm]}$, plano de fabricación N° 8, plano de ensamble N° 12. Apéndice B.
- b) 4 Pernos botador de pieza $d = 9.525 \text{ [mm]}$, plano de fabricación N° 9, plano de ensamble N° 12. Apéndice B.
- c) 4 Pernos de retorno $d = 6.35 \text{ [mm]}$, plano de fabricación N° 11, plano de ensamble N° 12. Apéndice B.

Actividad A12234 (Definir dispositivo de desmoldeo):

Esta actividad reúne la información del nivel en desarrollo (las actividades A12231, A12232, A12233), donde la información recopilada es la siguiente:

1. **Fuerza de apertura:** 445 [kN] para el PE y 534 [kN] para el PP.
2. **Fuerza de desmoldeo:** La fuerza de desmoldeo de 41.2 [kN], requiere un modulo de elasticidad para el PE: $E = 2.115 \text{ [MPa]} \leq E_{PE} = 2.6 \text{ [GPa]}$ y para el PP: $E = 2.677 \text{ [MPa]} \leq E_{PP} = 13.5 \text{ [GPa]}$.
3. **Medio de expulsión:** El medio de desmoldeo diseñado es un sistema de expulsión por pernos botadores con los siguientes diámetros: 4.7625 [mm] (botador de mazarota o vela) y 11.1125 [mm] (botador de piezas), los

pernos de retorno empleados son de 9.525 [mm] de diámetro. La altura del perno botador en el inserto inferior es fija a 8.7 [mm] de su base.

Actividad A1224 (*Definir parámetros de diseño del sistema mecánico propuesto*).

En esta actividad se reúne la información del nivel en desarrollo (las actividades A1221, A1222, A1223), donde la información recopilada es la siguiente:

1. **Ubicación de la línea de partición en las piezas inyectadas:** Una vez seleccionada la geometría a inyectar se ubicará una línea de partición.
2. **Molde de dos placas:** Finalmente las medidas de las placas a utilizar para el porta molde en donde el proceso de manufactura se presenta en el capítulo 2 sección 2.3.
 - Placa móvil de 24.18 [mm] de acero 1018 (Cold roll).
 - Placa fija de 36.1 [mm] de acero 1018 (Cold roll).
 - Placas intercambiables de 12.7 [mm] de aluminio comercial.
 - 2 placas de soporte de 23.8 [mm] y 38.1 [mm] de acero estructural ASTM A-36, semejante al acero SAE 1320, resistencia a la tracción 400-500 [MPa] y al límite de fluencia mínimo por tracción 250 [MPa].
3. **Mecanismo hidráulico para la extracción de piezas.**
4. **Ensamble de la placa de botadores:** Contiene una placa de expulsión y una placa de retención.
5. **Sistema de retorno del ensamble de expulsión:** Utiliza 4 pernos de retorno.
6. **Fuerza de apertura:** 445 [kN] para el PE y 534 [kN] para el PP (para el volumen máximo definido).
7. **Fuerza de desmoldeo:** La fuerza de desmoldeo de 41.2 [kN], requiere un modulo de elasticidad para el PE de 2.115 [MPa] y para el PP de 2.677 [MPa].
8. **Medio de expulsión:** Un conjunto de 4 pernos botadores de piezas, ubicados en cruz; así como un perno botador de vela o mazarota ubicado en el centro de la placa móvil, con sus respectivas dimensiones y localizaciones, se muestran en los planos 8, 9 y 10 *del Apéndice B*. La altura del perno botador se encuentra a 8.7 [mm] de la base de la cavidad para colocar el inserto intercambiable de la placa móvil.

1.5.3 Actividad A123 (*Realizar diseño del sistema de distribución*)

Para realizar esta actividad se utilizaron las actividades A1231, A1232, A1233, A1234 y A1235; las cuales se describen a continuación:

Actividad A1231 (*Recibir masa plástica*)

De acuerdo al diseño que se tiene en la boquilla de inyección de la máquina (un diseño de superficie curva, *ver figura 1.8*), se diseñó la boquilla del porta moldes. Se determinó su radio de curvatura como se muestra a continuación:

$$R_D + 1 < R_A$$

$$R_A > 16 \text{ [mm]} + 1$$

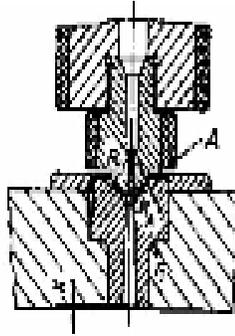


Figura 1.8. Superficie de contacto entre la boquilla del cilindro y la boquilla del molde, superficie curva.

Por lo cual se propuso el radio del bebedero del molde de 20 [mm].

El diámetro menor de la vela o mazarota, para la distribución del plástico a la cavidad, es de $d_S = 4.7625 \text{ [mm]}$.

Como las herramientas que se usan con mayor facilidad en los talleres de manufactura se basan en el sistema Inglés, se usó una broca de 4.7625 [mm] (3/16 [in]) y erosionó un cilindro para el cono de la mazarota que se muestra en el capítulo 2 sección 2.7. Usando el criterio de proveer un ángulo de desmoldeo de la mazarota será de 1-4° (según Menges [16]), se determinaron las dimensiones del cono de la vela o mazarota, como se muestra a continuación:

- I. **Altura:** 15.3 [mm]
- II. **Diámetro menor:** 4.7625 [mm]
- III. **Angulo:** 3°
- IV. **Diámetro mayor:** $d_F = 6.6 \text{ [mm]}$

Donde:

E_{II} - espesor del inserto intercambiable de 12.7 [mm], ver figura 1.9.

L_T - longitud total o altura del cono de la vela o mazarota (15.3 [mm]).

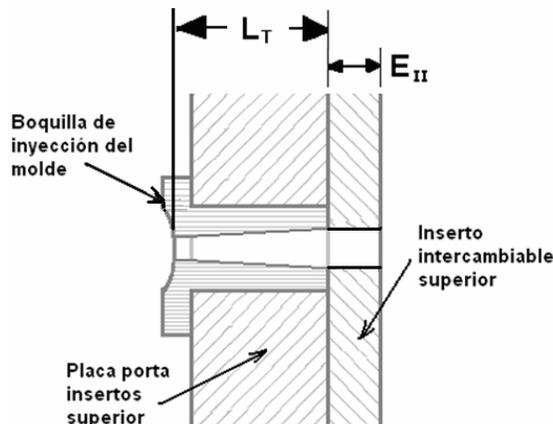


Figura 1.9. Dimensionado de la vela o mazarota.

Actividad A1232 (*Distribuir masa plástica*).

Se utilizará colada fría.

Actividad A1233 (*Seleccionar características de puntos de inyección*).

Se propone utilizar cuales quiera de los puntos de inyección siguientes:

- Estándar, convencional o de perfil rectangular.
- Conector de punto.

Actividad A1234 (*Dar forma a la masa plástica e integrar parámetros*).

Dentro de los parámetros que se calcularon en esta actividad se encuentran:

1. **Calcular la contracción lineal:** para la contracción, Castelan y Tapia [1] calcularon que los factores de contracción como se muestran a continuación:

$$S_{IPE} = 0.671\% = 6.71 \times 10^{-3}.$$

$$S_{IPP} = 0.671\% = 5.87 \times 10^{-3}.$$

2. **Dirección de flujo:** Depende del punto de inyección.
3. **Líneas de soldadura:** En caso de desear una menor cantidad de líneas de soldadura, se recomienda implementar la menor cantidad de corazones que se interpongan al flujo del plástico dentro de la cavidad.
4. **Determinar las dimensiones de los canales de ventilación.** Se usará un espesor de los canales de ventilación de 15 [μm].
5. **Tiempo de inyección:** Castelan y Tapia [1] calcularon el tiempo de inyección para los polímeros, el tiempo de inyección es:

$$t_{\text{inyección PE}} = 4.77 \text{ [s]}.$$

$$t_{\text{inyección PP}} = 9.78 \text{ [s]}.$$

Estos datos indican el tiempo que el plástico llenara la cavidad del molde intercambiable para ser inyectada completamente, así que el tiempo de llenado para piezas pequeñas que se diseñen para el porta molde será menor.

Los parámetros de diseño del sistema de distribución propuesto son los siguientes:

A. Concavidad del bebedero: radio de 20 [mm].

B. Dimensiones de la vela o mazarota:

Altura: 26.331 [mm].

Diámetro menor: 4.7625 [mm].

Angulo: 3°.

Diámetro mayor: 6.5 [mm].

C. Sistema de colada: colada fría.

D. Diámetro de los canales primarios de distribución: 6 [mm] como máximo.

E. Tipo de puntos de inyección o de entrada a la cavidad propuesto: Estándar o de perfil rectangular (ver figura 1.10).

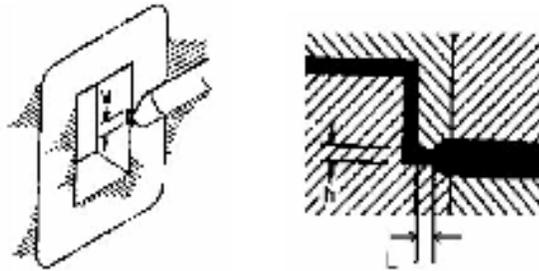


Figura 1.10. Diagrama de entrada de perfil rectangular.

F. Distribución del volumen máximo:

- Para la figura 1.3(a), dos volúmenes que no excedan de $V = 89.04 \text{ [cm}^3\text{]}$.
- Para la figura 1.3(b), un volumen que no excedan de $V = 89.04 \text{ [cm}^3\text{]}$.
- Para la figura 1.3(c) y (d), un volumen que no exceda de $V = 89.04 \text{ [cm}^3\text{]}$.

G. Ubicación de la distribución anterior: ver planos de fabricación N° 19, 20, 25, 26, 27 y 28 Apéndice B. Para la figura 1.3 planos 19, plano 20, planos 25, plano 26, plano 27 y plano 28. Apéndice B.

H. Contracción lineal de los polímeros:

$$S_{IPE} = 0.671 \times 10^{-3}$$

$$S_{IPP} = 0.5871 \times 10^{-3}$$

I. Canales de ventilación: espesor de $15 \text{ [}\mu\text{m}]$.

J. Tiempo de inyección:

$$t_{\text{inyección PE}} = 4.77 \text{ [s]}.$$

$$t_{\text{inyección PP}} = 9.78 \text{ [s]}.$$

K. $P_{\text{inyección de máquina máxima}} = 244.3 \text{ [bar]}$.

Actividad A1235 (Determinar fuerza mínima de cierre).

Castelan y Tapia [1] determinaron la presión máxima que se puede inyectar, para no sobrepasar el valor de la fuerza de cierre de la máquina. Tal y como se muestra a continuación:

$$P_{\text{inyección máquina}} = 24.43 \text{ [MPa]} = 244.3 \text{ [bar]}.$$

Este valor no sobrepasa la fuerza de cierre de la máquina utilizando un factor de seguridad de 75% para obtener la presión de inyección, por lo tanto se puede inyectar con la presión antes mencionada.

1.5.4 Actividad A124 (Realizar diseño del sistema térmico).

Para realizar esta actividad se desarrollan las actividades A1441, A1242, A1243 y A1244. Estas actividades no se desarrollarán debido a que están contempladas en la metodología propuesta por Castelan y Tapia [1].

Actividad A1241 (Calcular tiempo de refrigeración), Actividad A1242 (Determinar calor que debe disiparse) y Actividad A1243 (Elegir agente refrigerante). Estas actividades no se realizaron para el diseño de este porta molde de inyección plástico.

Actividad A1244 (Determinar arreglo y dimensiones de los canales de refrigeración). Esta actividad no se realizó ya que no se utilizará refrigerante, tampoco se emplearán canales de refrigeración dado que el molde carece de este sistema.

1.5.5 Actividad A125 (Integrar y seleccionar parámetros).

Una vez que se tienen los *parámetros de diseño de los sistemas: mecánico, térmico y de distribución propuestos*; se modelan los resultando y la configuración del porta molde se muestra en la figura 1.11.

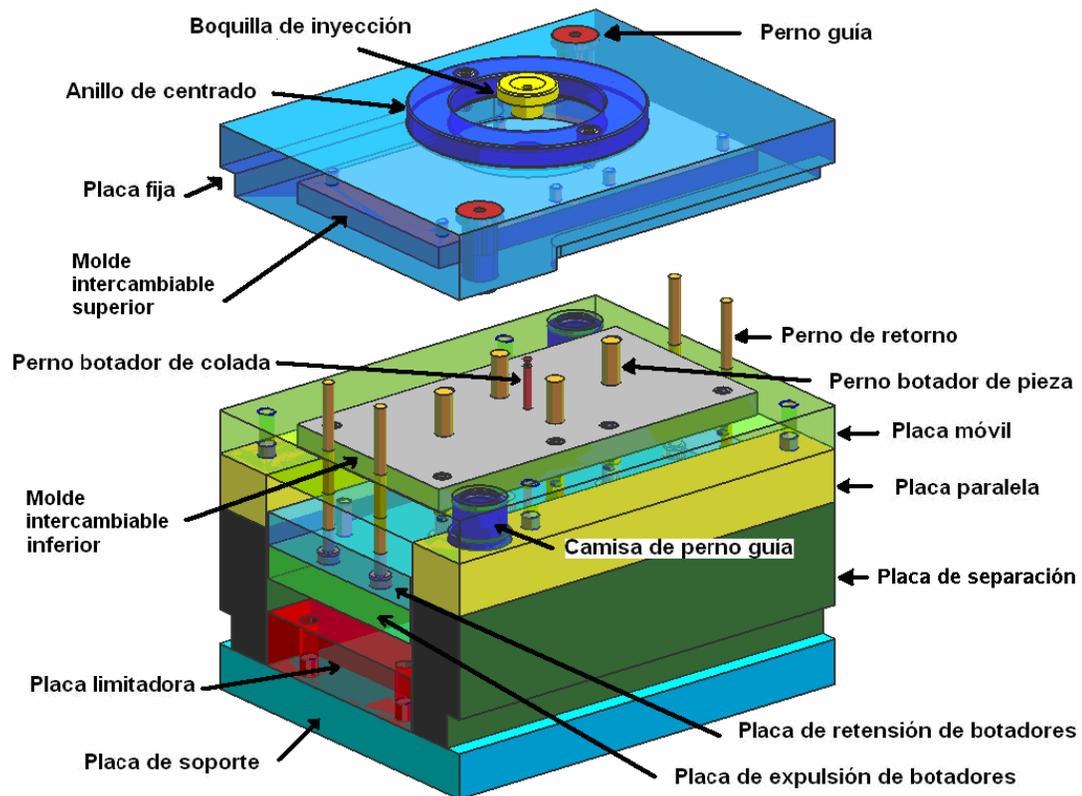


Figura 1.11. Modelado del porta moldes para confirmar los parámetros finales.

Una vez verificados los parámetros y rechazada la posibilidad de alguna interferencia, se aceptaron como *parámetros mecánicos, térmicos y de distribución finales*, los cuales se enlistan a continuación:

I. Parámetros del sistema mecánico finales:

1. **La línea de partición:** una línea de partición.
2. **Molde de dos placas de acero 1018 (Cold Roll), placa móvil de 24.18 [mm] y placa fija de 36.06 [mm].**

3. **Dos placas inserto de aluminio comercial de 12.7 [mm].**
4. **Mecanismo hidráulico para la extracción de piezas.**
5. **Ensamble de la placa de botadores:** contiene una placa de expulsión y una placa de retención o soporte.
6. **Sistema de retorno del ensamble de expulsión:** utiliza 4 pernos de retorno.
7. **Sistema de paro o retención:** por medio de la placa porta insertos móvil.
8. **Fuerza de apertura:** 445 [kN] para el PE y 534 [kN] para el PP.
9. **Fuerza de desmoldeo:** 14.45 [kN] en el ensamble de expulsión, 3.61 [kN] en cada perno botador.
10. **Medio de expulsión:** un conjunto de 4 pernos botador de pieza, ubicados en cruz; así como un perno botador de mazarota ubicado en el centro de la placa móvil, con sus respectivas dimensiones y localizaciones.
11. Dos placas de soporte una de 23.8 [mm] y otra de 38.1 [mm] de acero estructural ASTM A-36 semejante al acero SAE 1320, resistencia a la tracción 400-500 [MPa] y al límite de fluencia mínimo por tracción 250 [MPa].

II. Parámetros del sistema de distribución final:

12. **Concavidad del bebedero:** radio de 20 [mm].
13. **Dimensiones de la vela o mazarota:**
 - Altura: 15.3 [mm]
 - Diámetro menor: 4. 7625 [mm]
 - Angulo: 3°
 - Diámetro mayor: $d_F = 6.5$ [mm]
14. **Sistema de colada:** colada fría.
15. **Diámetro del canal primario de distribución:** 3 [mm].
16. **Tipos de puntos de inyección o de entrada a la cavidad propuesto:** Estándar o de perfil rectangular
17. **Distribución del volumen máximo:**
 - a) Para la figura 1.3(a), dos volúmenes que no excedan $V = 89.04$ [cm³].
 - b) Para la figura 1.3(b), un volumen que no exceda $V = 89.04$ [cm³].
 - c) Para la figura 1.3(c) y (d), un volumen que no exceda $V = 89.04$ [cm³].
18. **Ubicaciones de las distribuciones anteriores.** Para la figura 1.3 planos 19, plano 20, plano 25, plano 26, plano 27 y plano 28. *Apéndice B.*
19. **Contracción lineal de los polímeros:**

$$S_{PE} = 0.671 \times 10^{-3}$$

$$S_{PP} = 0.5871 \times 10^{-3}$$
20. **Canales de ventilación: espesor de 15 [μm].**
21. **Tiempos de inyección:**

$$t_{inyección\ PE} = 4.77$$
 [s].
$$t_{inyección\ PP} = 9.78$$
 [s].
22. **Máxima presión de inyección de la máquina = 244.3 [bar].**

1.5.6. Actividad A126 (*Generar dibujo de detalle*).

En las dimensiones de las placas utilizadas para fabricar el porta moldes de inyección de plástico, se hicieron nuevos planos en donde se mostraran los cambios propuestos, Apéndice B.

1.6 Especificaciones de los moldes intercambiables.

En el caso de utilizar la disposición propuesta en la *figura 1.3 (a)*, se usarán los planos 25, 26, del *Apéndice B*, donde el plano 25 es para la cavidad intercambiable inferior y el planos 26 es para la cavidad intercambiable superior.

- Si se selecciona inyectar una sola pieza, ya sea del lado izquierdo o derecho, se deberá realizar lo siguiente:
 - Maquinar una placa inserto inferior de aluminio (plano 25, Apéndice B) e insertar en el porta moldes (placa móvil) y colocar una cavidad intercambiable contra inferior de aluminio en el otro extremo.
 - Maquinar una placa inserto superior de aluminio (plano 26, Apéndice B) e insertar en el porta moldes (placa fija) y colocar una cavidad intercambiable contra superior de aluminio en el otro extremo.

En el caso de utilizar la disposición propuesta en la *figura 1.3 (b)* y *1.3 (c)*, se usarán los planos 19 y 20, *Apéndice B*, donde el primero es la cavidad inferior y el segundo la cavidad superior, ambos de aluminio.

1.6.1 Sistema mecánico en los insertos.

Se describe la localización de los pernos de botado en los planos 19, 20, 25 y 26 Apéndice B, con los ajustes establecidos y la ubicación vertical de las geometrías escogidas será a 8.7 [mm] a partir de la base del molde intercambiable inferior, la ubicación vertical del perno de la vela o mazarota, estará a la misma altura que los pernos de retorno, con un diseño de botador de mazarota tipo cuña retactil, ayudará a mantener las piezas y las venas de distribución, en el molde intercambiable inferior. Para el retorno del ensamble de botado, se emplean pernos de retorno. La distancia entre los pernos botadores y los pernos de retorno es fija, por lo que no se puede modificar la altura de los pernos botadores. Para entender mejor la definición, se muestra en la figura 1.12 la ubicación vertical del perno.

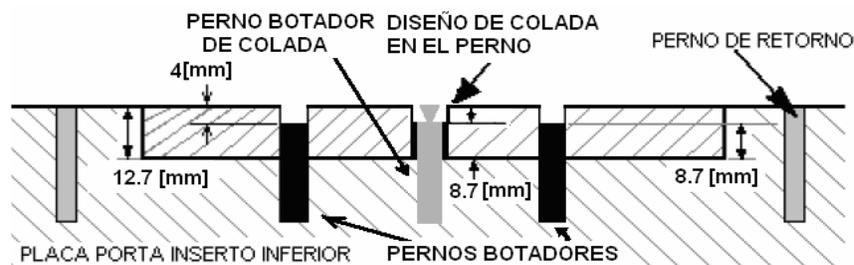


Figura 1.12. Ubicación del perno botador a partir de la base del molde intercambiable inferior, perno botador de vela o mazarota, distancia vertical fija entre los pernos botadores y los pernos de retorno.

1.6.2 Sistema de distribución en los moldes intercambiables.

Dimensiones y localización de la vela o mazarota son fijas, por lo tanto, no se pueden modificar.

Para la extracción de la vela o mazarota se debe maquinarse un canal con geometría de extracción de mazarota de cuña retráctil (ver Figura 1.13).



Figura 1.13. Botador de mazarota tipo cuña retráctil.

Las dimensiones de colada en el inserto superior son (ver figura 1.14):

- a) Diámetro 6.5 [mm].
- b) Altura: 12.7 [mm].

La cual se debe barrenar sin excepción, tolerancia + 0.1[mm].

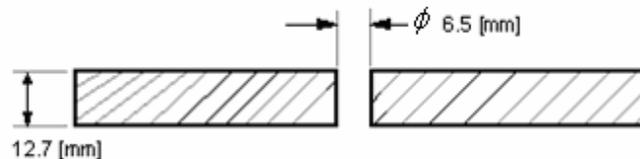


Figura 1.14. Dimensiones del barreno de la colada en el molde intercambiable superior de aluminio.

Las dimensiones de colada en el molde intercambiable inferior y tolerancia + 0.1[mm]. (ver figura 1.15):

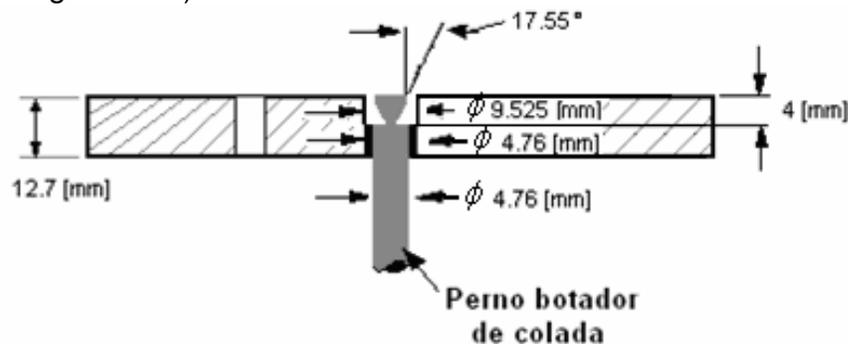


Figura 1.15. Dimensiones del cono de la colada en el molde intercambiable inferior de aluminio.

En este proyecto se realizó el rediseño de un molde para inyección de plástico de estuches para disquete, el cual es transformado en un porta molde para inyección de plástico, se muestra su manufactura en el capítulo 2, por lo que la metodología propuesta por Castelan y Tapia [1] es funcional.

Capítulo 2

Manufactura del porta moldes.

2.1 Introducción.

En este capítulo, se realizó la actividad A133: Calcular parámetros de mecanizado para la manufactura y diseño del porta moldes para inyección de plástico, con este fin se realizó la manufactura de las placas que componen al porta molde.

2.2. Ventajas de la aplicación de una máquina herramienta de CNC.

En una máquina con CNC, automatiza los movimientos y acciones como son: desplazamiento de los carros o mesa, giro de el o los cabezales, las distintas gamas de avances y de velocidades de corte, los cambios de herramientas y piezas, etc. simplemente cambiando la programación de la máquina.

De esta manera, podemos afirmar que ganamos en:

- Reducción en los tiempos de producción, por una importante disminución en los tiempos muertos.
- Mayor fiabilidad en la producción de las piezas, dado que existe menor posibilidad de piezas defectuosas.
- Reducción de los tiempos de control de la calidad.
- Reducción de los tiempos de control de proceso por medio de planos y hojas de ruta o de procesos.
- Ahorro de herramientas y dispositivos de corte, al optimizarse la utilización de las herramientas.

Evidentemente, esto redunda en un muy considerable ahorro económico [4].

2.3. A133: Calcular parámetros de manufactura.

A partir de la lista de procesos se realiza la actividad correspondiente a calcular parámetros de mecanizado. Utilizando programas de CAD/CAM.

Los parámetros para el mecanizado a considerar son: profundidad de corte, velocidad de avance, velocidad de corte y el fluido (refrigerante y lubricante) que se usaron para realizar el corte.

Las operaciones de maquinado que se realizaron son:

- Cortes de desbaste.
- Cortes de acabado.

Para seleccionar la velocidad de avance se debe considerar el tipo de herramienta.

En la tabla 2.1 se recomiendan velocidades y avance de corte para el tipo de herramienta a utilizar en la operación de fresado.

Tabla 2.1 Recomendaciones generales para las operaciones de fresado [9].

Material de la pieza.	Herramienta de corte.	Avance por filo. [mm / filo]	Velocidad de Corte. (V.C.) [m/min]
Acero de bajo carbono.	Acero rápido Desbaste.	0.20	16-22
Acero de bajo carbono.	Acero rápido Acabado.	0.08	25-35

En la tabla 2.2 se presenta la velocidad de corte adecuada para el trabajo utilizando brocas estándar de acero rápido en condiciones controladas.

Tabla 2.2 Velocidad de corte para brocas de acero rápido [5].

Material a taladrar.	Velocidad de Corte. (V.C.) [m/min]
Aceros (dulce)	30-40

La tabla 2.3 muestra las velocidades correspondientes de avance.

Tabla 2.3 Avance para brocas de acero rápido [5].

Diámetro de la broca. [mm]	Velocidad de avance. [mm / rev]
1.0-2.5	0.040-0.060
2.6-4.5	0.050-0.100
4.6-6.0	0.075-0.150
6.1-9.0	0.100-0.200
9.1-12.0	0.150-0.250
12.1-15.0	0.200-0.300
15.1-18.0	0.230-0.330
18.1-21.0	0.260-0.360
21.1-25.0	0.280-0.380

Fresado.

Utilizando solamente la máquina-herramienta CNC para realizar la manufactura de las placas se obtienen los parámetros siguientes.

Tabla 2.4 Diámetro de herramientas a utilizar.

Medidas (mm)	Medidas (in)	Medidas fracción (in)
12.7	0.5	1/2
9.525	0.375	3/8
3.175	0.125	1/8

Para calcular la velocidad de rotación del husillo se utilizó la siguiente ecuación:

$$N = \frac{v}{\pi * D} \dots(1)$$

Donde:

N = velocidad de rotación, [rev/min].

v = velocidad de corte [m/min].

D = diámetro de la fresa [m].

$$N_{Desbaste} = \frac{16}{(12.7 \times 10^{-3})\pi} = 401.02 \left[\frac{rev}{min} \right]$$

$$N_{Acabado} = \frac{25}{(12.7 \times 10^{-3})\pi} = 626.59 \left[\frac{rev}{min} \right]$$

$$N_{Acabado} = \frac{25}{(9.525 \times 10^{-3})\pi} = 835.5 \left[\frac{rev}{min} \right]$$

$$N_{Acabado} = \frac{25}{(3.175 \times 10^{-3})\pi} = 2506.4 \left[\frac{rev}{min} \right]$$

Para calcular el avance se utilizó la siguiente ecuación:

$$f_r = N * n_t * f \dots (2)$$

Donde:

f_r = avance [mm/diente].

f = velocidad de avance [mm/min].

N = velocidad de rotación del husillo [rev/min].

n_t = número de dientes en la fresa.

Teóricos.	Resultados
Desbaste.	
$f_r = (401.02)(4)(0.2)$	320.816 [mm/min]
Acabado.	
$f_r = (626.59)(4)(0.08)$	200.5 [mm/min]
$f_r = (835.5)(4)(0.08)$	267.4 [mm/min]
$f_r = (2506.4)(4)(0.08)$	802 [mm/min]

Los resultados teóricos de velocidad de avance no se utilizaron por cuestiones de uso de los cortadores y la maquina-herramienta CNC, así no afectar las herramientas como también las placas, para esto se utilizaron estos datos de corte.

Reales.
Desbaste.
$f_r = 50$ [mm/min]
Acabado.
$f_r = 40$ [mm/min]
$f_r = 100$ [mm/min]

Para calcular la distancia de aproximación se utilizó la siguiente ecuación:

$$A = \sqrt{d(D - d)} \dots (3)$$

Donde:

A = distancia de aproximación [mm].

D = diámetro de la fresa [mm].

d = profundidad de corte [mm].

Desbaste	Acabado
$A = \sqrt{3.05(12.7 - 3.05)} = 5.425[mm]$	$A = \sqrt{0.59(9.525 - 0.59)} = 2.3[mm]$
$A = \sqrt{3.025(12.7 - 3.025)} = 5.41[mm]$	$A = \sqrt{0.53(9.525 - 0.53)} = 2.18[mm]$
$A = \sqrt{3.6(12.7 - 3.6)} = 5.72[mm]$	$A = \sqrt{0.53(3.175 - 0.53)} = 1.18[mm]$
$A = \sqrt{3.612(12.7 - 3.612)} = 5.73[mm]$	$A = \sqrt{0.59(3.175 - 0.59)} = 1.23[mm]$
$A = \sqrt{3.9(12.7 - 3.9)} = 5.86[mm]$	$A = \sqrt{0.5(12.7 - 0.5)} = 2.47[mm]$
$A = \sqrt{4(12.7 - 4)} = 5.9[mm]$	$A = \sqrt{0.53(12.7 - 0.53)} = 2.54[mm]$
$A = \sqrt{4.7625(12.7 - 4.7625)} = 6.15[mm]$	

Para calcular el tiempo para fresar la pieza de trabajo se utilizó la siguiente ecuación:

$$T_m = \frac{L + A}{f_r} \dots(4)$$

Donde:

T =Tiempo para fresar la pieza de trabajo [min].

A = distancia de aproximación [mm].

L = longitud [mm].

f_r = velocidad de avance [mm/min]

L = Longitud de caja para moldes inserto menos el diámetro del cortador usado.

L = 211-12.7 = 198.3 [mm]

Desbaste:	Acabado:
Caja para inserto.	Caja para inserto.
$T_m = \frac{198.3 + 5.86}{50} = 4.08[\text{min}]$	$T_m = \frac{198.3 + 2.47}{40} = 5.019[\text{min}]$
$T_{mT} = (4.08)(12) = 49[\text{min}]$	$T_{mT} = (5.019)(12) = 60[\text{min}]$
Contorno circular para anillo.	Contorno recto para inserto.
$T_m = \frac{329.71 + 2.47}{50} = 6.64[\text{min}]$	$T_m = \frac{640.08 + 2.47}{100} = 6.43[\text{min}]$
$T_m = \frac{286.98 + 2.47}{50} = 5.79[\text{min}]$	Base circular para anillo.
$T_{mT} = 6.64 + 5.79 = 12.43[\text{min}]$	$T_m = \frac{329.71 + 2.47}{40} = 8.3[\text{min}]$

Caja de 82 (mm) boquilla. $T_m = \frac{78.07 + 5.41}{50} = 1.67[\text{min}]$	$T_m = \frac{286.98 + 2.47}{40} = 7.24[\text{min}]$
$T_m = \frac{117.97 + 5.41}{50} = 2.47[\text{min}]$	$T_{mT} = 8.3 + 7.24 = 15.54[\text{min}]$
$T_m = \frac{157.87 + 5.41}{50} = 3.27[\text{min}]$	Contorno circular para anillo. $T_m = \frac{352.8 + 2.47}{100} = 3.55[\text{min}]$
$T_m = \frac{197.76 + 5.41}{50} = 4.06[\text{min}]$	Caja de 82 (mm)
	$T_m = \frac{78.07 + 2.47}{40} = 2.09[\text{min}]$
	$T_m = \frac{117.97 + 2.47}{40} = 3.08[\text{min}]$
	$T_m = \frac{157.87 + 2.47}{40} = 4.08[\text{min}]$
	$T_m = \frac{197.76 + 2.47}{40} = 5.08[\text{min}]$
	$T_m = \frac{237.66 + 2.47}{40} = 6.08[\text{min}]$
	$T_{mT} = 20.41 [\text{min}]$
	Contorno para boquilla.
	$T_m = \frac{32.83 + 2.47}{100} = 0.353[\text{min}]$

Para calcular la velocidad de remoción de material se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{MRR} = w * f_r * d \dots (5)$$

Donde:

MRR = velocidad de remoción del material [mm³/min].

w = ancho de la pieza de trabajo [mm].

f_r = velocidad de avance [mm/min].

d = profundidad de corte [mm].

Desbaste	MRR
MRR = (185)(50)(3.9)	36075 [mm ³ /min]
MRR = (115.5)(50)(3.9)	22522.5 [mm ³ /min]
MRR = (12.7)(50)(3.05)	1936 [mm ³ /min]
MRR = (82)(50)(3.025)	12402.5 [mm ³ /min]
MRR = (33)(100)(4.7625)	13608.8 [mm ³ /min]

Acabado	
MRR = (12.7)(40)(0.5)	254 [mm ³ /min]
MRR = (125)(50)(0.5)	3.125x10 ³ [mm ³ /min]
MRR = (125)(40)(0.5)	2.5x10 ³ [mm ³ /min]
MRR = (125)(100)(0.5)	6250 [mm ³ /min]
MRR = (185)(100)(0.5)	9250 [mm ³ /min]
MRR = (82)(40)(0.5)	1640 [mm ³ /min]
MRR = (82)(100)(0.5)	4100 [mm ³ /min]
MRR = (19.075)(100)(0.5)	953.75 [mm ³ /min]
MRR = (25.36)(100)(0.5)	1268 [mm ³ /min]
MRR = (16.8)(100)(0.5)	840 [mm ³ /min]
MRR = (28.575)(50)(4)	5715 [mm ³ /min]
MRR = (115.5)(50)(0.5)	2887.5 [mm ³ /min]
MRR = (115.5)(40)(0.5)	2310 [mm ³ /min]
MRR = (115.5)(100)(0.5)	5750 [mm ³ /min]
MRR = (28.575)(100)(0.5)	1428.75 [mm ³ /min]
MRR = (185)(40)(0.5)	3700 [mm ³ /min]

Taladro.

Utilizando solamente la máquina-herramienta CNC para realizar la manufactura de las placas se obtienen los parámetros siguientes.

Tabla 2.5. Herramienta a utilizar.

Brocas Acero de alta velocidad.	Medidas (mm)	Medidas (in)	Medidas fracción (in)
Placa móvil parte superior (tornillo), placa de expulsión de botadores (tornillo 3/8).	7.9375	0.3125	5/16
Placa móvil parte superior, placa de retención de botadores (pernos de retorno).	6.35	0.246	¼
Placa de retención de botadores (tornillo).	6.5	0.257	F
Placa de retención de botadores, placa móvil parte superior, insertos inferior (pernos botadores de la pieza), placa móvil parte inferior (camisa perno guía).	9.525	0.375	3/8
Placa de retención de botadores, placa móvil parte superior, inserto inferior (perno para botar la colada).	4.7625	0.1875	3/16
Placa móvil parte superior (tornillo), placa fija parte superior, placa fija parte inferior (tornillo).	5.1	0.201	7
Broca de centro.	3	-	-

Para calcular la velocidad de rotación de la broca se utilizó la siguiente ecuación:

$$N = \frac{v}{\pi * D} \dots (6)$$

Donde:

N = velocidad de rotación del husillo [rev/min].

v = velocidad de corte [m/min].

D = diámetro de la broca [mm].

$N = \frac{40}{(7.9375 \times 10^{-3})\pi} = 1604.08 \left[\frac{rev}{min} \right]$
$N = \frac{40}{(6.35 \times 10^{-3})\pi} = 2005.1 \left[\frac{rev}{min} \right]$
$N = \frac{40}{(6.5 \times 10^{-3})\pi} = 1958.83 \left[\frac{rev}{min} \right]$
$N = \frac{40}{(9.525 \times 10^{-3})\pi} = 1336.7 \left[\frac{rev}{min} \right]$
$N = \frac{40}{(4.7625 \times 10^{-3})\pi} = 2673.47 \left[\frac{rev}{min} \right]$
$N = \frac{40}{(5.1 \times 10^{-3})\pi} = 2496.55 \left[\frac{rev}{min} \right]$
$N = \frac{40}{(3 \times 10^{-3})\pi} = 4244.13 \left[\frac{rev}{min} \right]$

Para calcular el avance se utilizó la siguiente ecuación:

$$F_r = N * f \dots(7)$$

Donde:

fr = velocidad de avance [mm/min].

f = avance [mm/rev].

N = velocidad de rotación [rev/min].

$F_r = (1604.08)(0.2)$	320.82 [mm/min]
$F_r = (2005.1)(0.2)$	401.02 [mm/min]
$F_r = (1958.83)(0.2)$	391.77 [mm/min]
$F_r = (1336.7)(0.25)$	334.18 [mm/min]
$F_r = (2673.43)(0.15)$	401.02 [mm/min]
$F_r = (2496.55)(0.15)$	374.48 [mm/min]
$F_r = (4244.13)(0.1)$	424.41 [mm/min]

Para calcular el tiempo de maquinado para un barreno pasado se utilizó la siguiente ecuación:

$$T_m = \frac{t + A}{f_r} \dots(8)$$

Donde:

T_m = tiempo de maquinado [min].

t = espesor del trabajo [mm].

f_r = velocidad de avance [mm/min].

A = tolerancia de aproximación que toma en cuenta el ángulo de la punta de la broca, y representa la distancia que la broca debe avanzar dentro del trabajo antes de alcanzar el diámetro completo:

$T_m = \frac{18.5 + 2.385}{50} = 0.42[\text{min}]$
$T_m = \frac{18.54 + 1.953}{50} = 0.41[\text{min}]$
$T_m = \frac{18.54 + 1.532}{50} = 0.4[\text{min}]$
$T_m = \frac{18.54 + 1.877}{50} = 0.41[\text{min}]$
$T_m = \frac{18.54 + 2.862}{50} = 0.43[\text{min}]$
$T_m = \frac{18.54 + 1.908}{50} = 0.41[\text{min}]$
$T_m = \frac{18.54 + 1.431}{50} = 0.4[\text{min}]$
$T_m = \frac{36.068 + 2.862}{50} = 0.779[\text{min}]$
$T_m = \frac{24.003 + 2.862}{50} = 0.537[\text{min}]$
$T_m = \frac{11.303 + 1.431}{50} = 0.255[\text{min}]$
$T_m = \frac{11.303 + 2.862}{50} = 0.283[\text{min}]$

Para calcular la tolerancia de aproximación se utilizó la siguiente ecuación:

$$A = 0.5(D) \tan\left(90 - \frac{\theta}{2}\right) \dots (9)$$

Donde:

A = tolerancia de aproximación [mm].

θ = ángulo de la punta de la broca.

D = diámetro de la broca [mm].

$A = 0.5(7.9375)Tan\left(90 - \frac{118}{2}\right) = 2.385[mm]$
$A = 0.5(6.5)Tan\left(90 - \frac{118}{2}\right) = 1.953[mm]$
$A = 0.5(5.1)Tan\left(90 - \frac{118}{2}\right) = 1.532[mm]$
$A = 0.5(6.2484)Tan\left(90 - \frac{118}{2}\right) = 1.877[mm]$
$A = 0.5(9.525)Tan\left(90 - \frac{118}{2}\right) = 2.862[mm]$
$A = 0.5(6.35)Tan\left(90 - \frac{118}{2}\right) = 1.908[mm]$
$A = 0.5(4.7625)Tan\left(90 - \frac{118}{2}\right) = 1.431[mm]$

Para calcular el tiempo de maquinado para un agujero ciego se utilizó la siguiente ecuación:

$$T_m = \frac{d}{f_r} \dots(10)$$

Donde:

T_m = tiempo de maquinado [s].

f_r = velocidad de avance [mm/min].

d = distancia entre la superficie de trabajo y el punto más profundo del barreno ciego [mm].

$$T_m = \frac{3}{800} = 3.75 \times 10^{-3} [\text{min}]$$

Una vez que se tienen los parámetros de mecanizado, se reúnen en la hoja de operaciones.

2.4 Generar ruta de trabajo.

El objetivo de esta actividad es generar la información de manufactura que permita realizar la manufactura del porta molde.

La ruta de trabajo describe secuencialmente el proceso y las operaciones de manufactura, abarcando las operaciones de proceso y las operaciones de ensamble de la pieza. La hoja de ruta cuenta con la siguiente información:

- Descripción de la operación, indicando el trabajo que se va a hacer, las superficies que se van a procesar ya indicadas en el plano de detalle de la parte, y las dimensiones que se van a obtener.

- Equipo para realizar el trabajo.
- Habilitación especial de herramientas requeridas, tales como moldes, herramientas de corte, plantillas, sujetadores, medidores, etc.
- Estándares de tiempo para cada operación.
- Estimación de tiempos de producción.
- Frecuencia de inspección.
- Herramientas que deben solicitarse.

Las placas con las que se van a trabajar son de diferentes dimensiones y varían con los propuestos por Castelan y Tapia [1], considerando que el espesor de las placas tiene las siguientes dimensiones, tabla 2.6 placas de acero 1018 (Cold roll).

Tabla 2.6. Placas de acero 1018 (Cold roll).

Descripción.	Espesor.	Medidas.	Acotaciones.
Placa de expulsión de botadores.	18.542	248.9 x 115.57	[mm]
Placa de retención de botadores.	18.542	248.9 x 115.57	[mm]
Placa fija.	36.068	250 x 195.5	[mm]
Placa móvil.	24.003	250 x 195.4	[mm]

Tabla 2.7. Ruta de trabajo de la placa de expulsión de botadores plano 14 apéndice B. Material en bruto 22.2 x 248.9 x 115.57 [mm] 0.874 x 9.7992 x 4.55 [in].

PROCESO	DIÁMETRO DE LA HERRAMIENTA (mm)	MEDIDA FINAL (mm)	MATERIAL A CORTAR (mm)	SOBRE MATERIAL (mm)	PROFUNDIDAD DE CORTE (mm)	Nº PASADAS	VELOCIDAD DE CORTE (rpm)	AVANCE (mm/min)	RMM (mm ² /min)	T _m (min)
Cepillado.		20.2	2							
Fresado.		19.042	1.158							
Rectificado.		18.542	0.5							
Barrenos.										
Broca de centro para colocar 4 tornillos, figura 2.8 (a).	3		3	0			800	50		4(3.75X10 ⁻³)
Barreno para colocar 4 tornillos de ensamble del porta molde, figura 2.8 (b).	7.9375		18.542	0			1000	50		4(0.42)
Fresado fino.										
4 Caja para tornillo, figura 2.8 (c).	9,525		8,3	0	0.59	14	840	100	708	14(0.28)
									T_m Total	5.6

Tabla 2.8. Ruta de trabajo de la placa de retención de botadores plano 15 apéndice B.
Material en bruto 22.2x248.9x115.57 [mm] 0.874x9.7992x4.55 [in].

PROCESO	DIAMETRO DE LA HERRAMIENTA (mm)	MEDIDA FINAL (mm)	MATERIAL A CORTAR (mm)	SOBRE MATERIAL (mm)	PROFUNDIDAD DE CORTE (mm)	Nº PASADAS	VELOCIDAD DE CORTE (rpm)	AVANCE (mm/min)	RMM (mm ³ /min)	T _m (min)
Cepillado.		20.2	2							
Fresado.		19.042	1.158							
Rectificado.		18.542	0.5							
Barrenos.										
Broca de centro para 13 barrenos y colocar tornillos de ensamble y pernos, figura 2.9(a).	3		3				800	50		21(3.75X10 ⁻³)
Barreno para colocar 4 pernos de botado de pieza, figura 2.9 (b).	9.525		18.542				1000	50		4(0.28)
Barreno para colocar 4 pernos de retorno, figura 2.9 (c).	6.35		18.542				1000	50		4(0.52)
Barreno para colocar perno de expulsión de mazarota, figura 2.9 (d).	4.7625		18.542				1000	50		0.25
Barreno para colocar 4 pernos de retorno, figura 2.9 (e).	5.1		18.542				1000	50		8(0.18)
Barreno para colocar 4 tornillos de ensamble de las placas de retensión y expulsión de botadores, figura 2.9 (f).	7.9375		18.542				1000	50		4(0.53)
Fresado fino.										
Caja perno de retorno, figura 2.9. (h).	9.525		6.35	0	0.53	12	840	100	841.38	4(0.37)
Perno de botador de pieza, figura 2.9 (h).	9.525		6.35	0	0.53	12	840	100	588.96	4(0.22)
Caja de perno de colada, figura 2.9 (i).	3.175		4.7625	0	0.53	9	900	60	302.9	0.35
Machuelo.										
Cuerda en superficie para colocar insertos.	6.35		7.468		0.25					120
Cuerda tornillo de ensamble.	9.525		24.003		0.25					60
									T_m Total	189.8

Tabla 2.9. Ruta de trabajo de la placa fija parte superior plano 13 apéndice B.
Material en bruto 41.3 x 195.5 x 250 [mm], 1.626 x 7.6969 x 9.8425 [in].

PROCESO	DIÁMETRO DE LA HERRAMIENTA (mm)	MEDIDA FINAL (mm)	MATERIAL A CORTAR (mm)	SOBRE MATERIAL (mm)	PROFUNDIDAD DE CORTE (mm)	N° PASADAS	VELOCIDAD DE CORTE (rpm)	AVANCE (mm/min)	RMM (mm ³ /min)	T _m (min)
Cepillado.		38.3	3							
Fresado.		36.588	1.732							
Rectificado.		36.068	0.5							
Barreno en el centro para la boquilla de inyección y los pernos de guía. 1.- Broca de centro, figura 2.10 (a). 2.- Broca, figura 2.10 (b).	3 12.7		3 36.06	0 0			800 1000	50 50		3(3.75X10 ⁻³) 3(0.8)
Fresado desbaste. Figura 2.10 (c).										
Desbaste de caja.	12.7		12.1	0.5	3.025	4	400	50	12402.5	4(16.33)
Desbaste de la caja para colocar el anillo de centro.	12.7		0.5	0.5	0.5	1	400	50	3125	17.42
Desbaste de los 2 pernos guía. 3.- Cortador barreno. 4.- Cortador caja.	12.7 12.7		18 18.06	0.5 0.5	3.6 3.612	5 5	400 400	50 50	3433.5 4580.016	5(0.47) 5(0.48)
Fresado acabado. Figura 2.10 (d).										
Desbaste del contorno de caja.	12.7		12.6	0	0.5	25	625	100	4100	25(2.6)
Desbaste de la base de caja.	12.7		0.5	0	0.5	1	625	40	1640	18.32
Desbaste del contorno para colocar el anillo de centro.	12.7		1	0	0.5	2	625	100	6250	2(3.72)
Desbaste de la base para colocar el anillo de centro.	12.7		1.5	0	0.5	1	625	40	2500	21.78
Desbaste barreno de la boquilla de inyección.	12.7		10.8	0	0.5	21	625	100	840	21(0.353)
Desbaste del contorno de los 2 pernos guía. 1.- Cortador barreno. 2.- Cortador caja.	12.7 12.7		18 18.06	0 0	0.5 0.5	36 36	625 625	100 100	953.75 1268	36(0.2) 36(0.21)

Tabla 2.10. Ruta de trabajo de la placa fija parte inferior plano 13 apéndice B.
Material en bruto 41.3 x 195.5 x 250 [mm], 1.626 x 7.6969 x 9.8425 [in].

PROCESO	DIÁMETRO DE LA HERRAMIENTA (mm)	MEDIDA FINAL (mm)	MATERIAL A CORTAR (mm)	SOBRE MATERIAL (mm)	PROFUNDIDAD DE CORTE (mm)	Nº PASADAS	VELOCIDAD DE CORTE (rpm)	AVANCE (mm/min)	RMM (mm ³ /min)	T _m (min)
Cepillado.		38.3	3							
Fresado.		36.588	1.732							
Rectificado.		36.068	0.5							
Fresado desbaste. <i>Figura 2.11 (a).</i>										
Desbaste de la superficie para colocar el inserto.	12.7		11.7	0.5	3.9	3	400	50	22522.5	3(49)
Extremos para sujeción de la placa en la maquina de inyección.	12.7		11.7	0.5	3.9	3	400	50	36075	2(3)(3.82)
Fresado acabado.										
Acabado del contorno para colocar el inserto, <i>figura 2.11 (b).</i>	12.7		0.5	0	0.5	25	625	100		25(6.43)
Acabado de la base para colocar el inserto, <i>figura 2.11 (b).</i>	12.7		0.5	0	0.5	1	625	40	2310	60.23
Acabado del contorno de los extremos para sujeción de maquina de inyección, <i>figura 2.11 (c).</i>	12.7		0.5	0	0.5	25	625	100	9250	2(25) (1.87)
Acabado de la base de los extremos para sujeción de maquina de inyección, <i>figura 2.11 (d).</i>	12.7		0.5	0	0.5	1	625	40	3700	2(4.69)
Barrenos.										
Broca de centro para colocar 8 tornillos de ensamble del inserto, <i>figura 2.11 (e).</i>	3		3	0			800	50		8(3.75X10 ³)
Barreno para colocar 8 tornillos de ensamble del inserto, <i>figura 2.11 (f).</i>	5.1		7.5	1.25			2000	50		8(0.18)
Machuelo.										
Cuerda para tornillos de ensamble del inserto.	6.35		7.5	0	0.1					120
									T_m Total	615.23

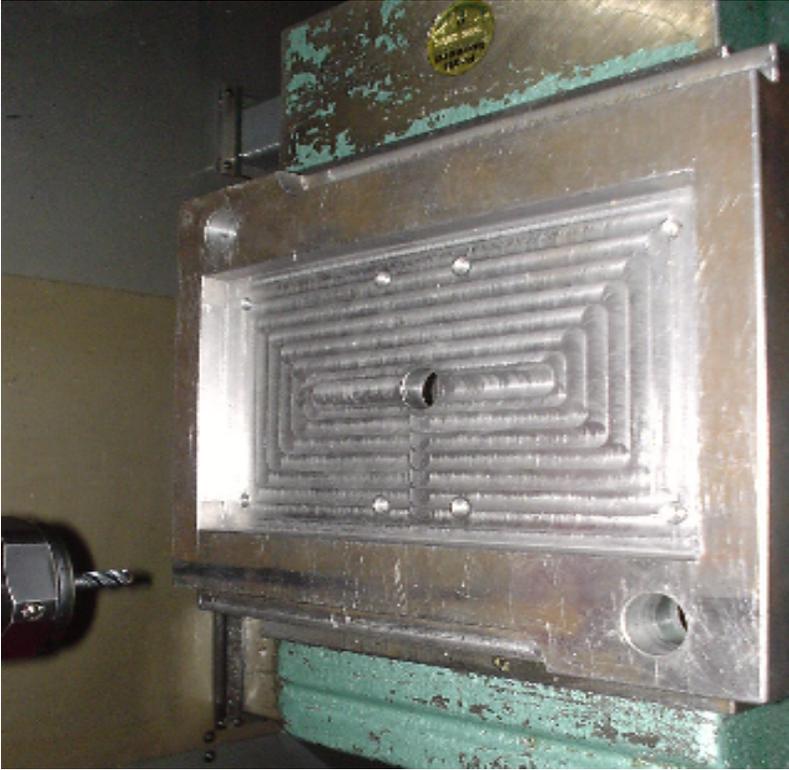


Figura 2.2. Placa fija parte inferior.



Figura 2.3. Colocación de un tornillo para el ensamble del inserto.

Tabla 2.11. Ruta de trabajo de la placa móvil parte superior plano 12 apéndice B.
Material en bruto 28,5 x 250 x 195.4 [mm] 1.626 x 9.8425 x 7.6772 [in].

PROCESO	DIÁMETRO DE LA HERRAMIENTA (mm)	MEDIDA FINAL (mm)	MATERIAL A CORTAR (mm)	SOBRE MATERIAL (mm)	PROFUNDIDAD DE CORTE (mm)	Nº Pasadas	VELOCIDAD DE CORTE (rpm)	AVANCE (mm/min)	RMM (mm ³ /min)	T _m (min)
Cepillado.		25.5	3							
Fresado.		24.503	0.997							
Rectificado.		24.003	0.5							
Fresado										
Desbaste de la superficie para colocar el inserto, figura 2.12 (a).	12.7		11.7	0.5	3.9	3	400	50	22522.5	3(49)
Fresado fino (acabado).										
Desbaste del contorno para colocar el inserto, figura 2.12 (b).	12.7		0.5	0	0.5	25	625	100	5775	25(6.43)
Desbaste de la base para colocar el inserto, figura 2.12 (c).	12.7		0.5	0	0.5	1	625	40	2310	48.96
Barrenos										
Broca de centro para 21 barrenos de tornillos de ensamble y pernos, figura 2.12 (d1 Y d2).	3		3	0			800	50		21(3.75X10 ⁻³)
Barreno para colocar 4 pernos de botado de pieza, figura 2.13 (f)	9.525		11.303				1000	50		4(0.28)
Barreno para colocar 4 pernos de retorno, figura 2.12 (h)	6.35		24.003				1000	50		4(0.52)
Barreno para colocar Perno expulsión de colada, figura 2.12 (g)	4.7625		11.303				1000	50		0.25
Barreno para colocar 8 tornillos de ensamble del inserto, figura 2.12 (i)	5.1		7.468				1000	50		8(0.18)
Barreno para colocar 4 tornillos de ensamble del porta molde, figura 2.12 (e)	7.9375		24.003				1000	50		4(0.53)
Machuelo.										
Cuerda en superficie para colocar insertos.	6.35		7.468		0.5					120
Cuerda tornillo de										

ensamble.	9.525	24.003	0.5	T _m Total	60
					543.8

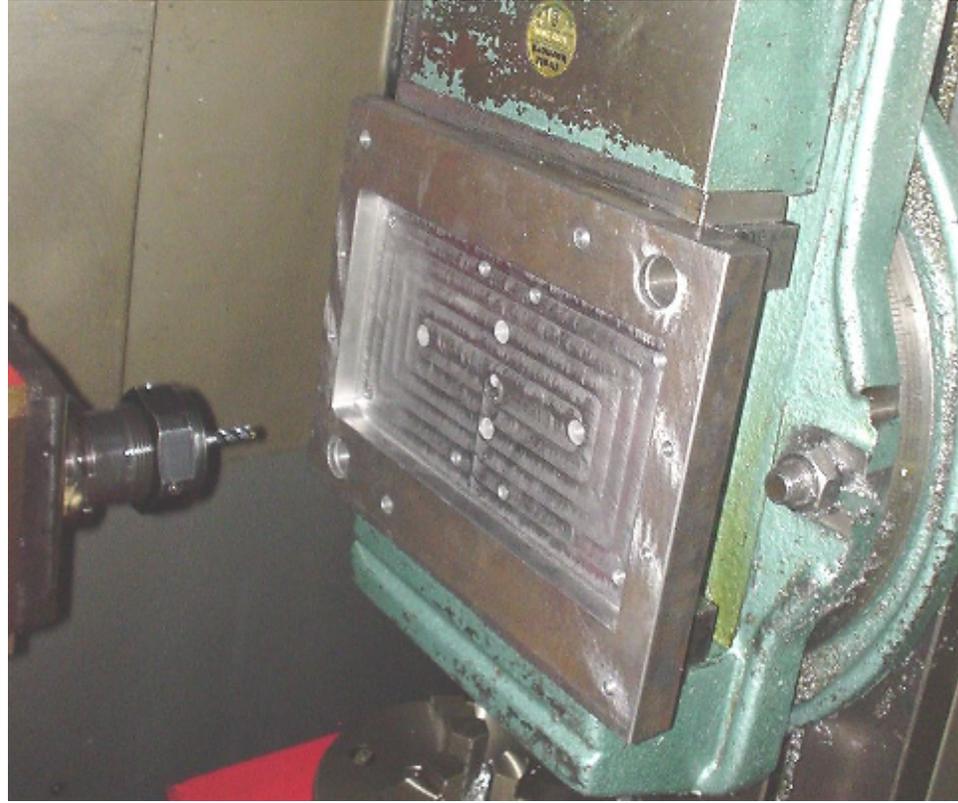


Figura 2.4. Manufactura de placa móvil parte superior.

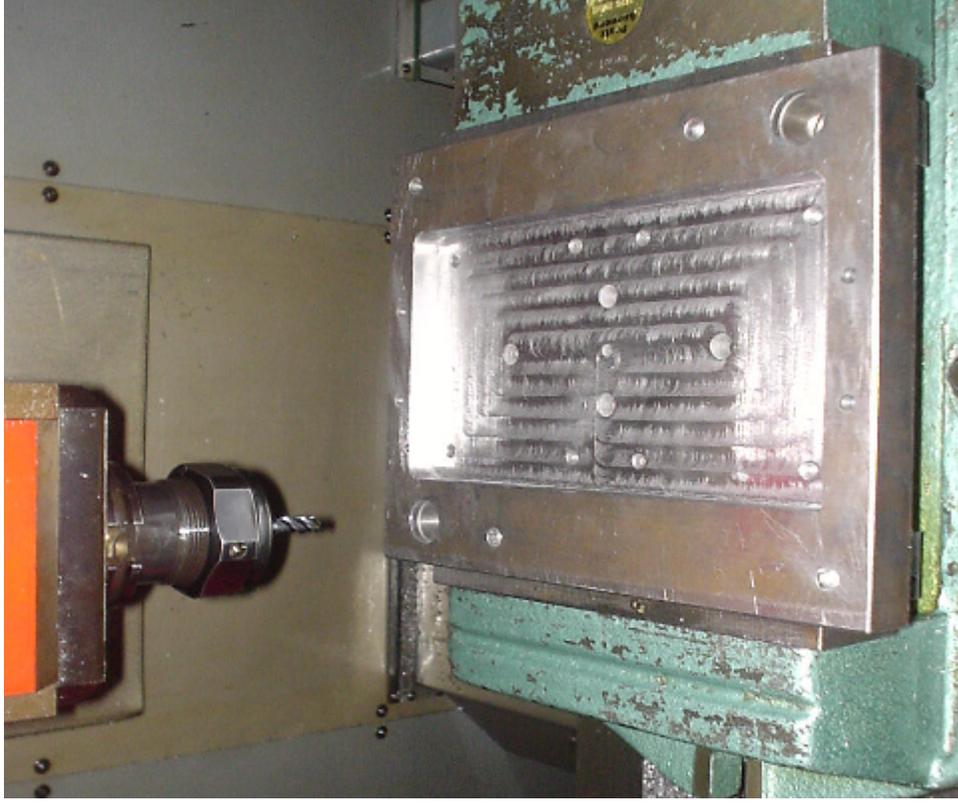


Figura 2.5. Placa móvil parte superior

Tabla 2.12. Ruta de trabajo de la placa móvil parte inferior plano 12 apéndice B.
Material en bruto 28,5 x 250 x 195.4 [mm] 1.626 x 9.8425 x 7.6772 [in].

PROCESO	DIÁMETRO DE LA HERRAMIENTA (mm)	MEDIDA FINAL (mm)	MATERIAL A CORTAR (mm)	SOBRE MATERIAL (mm)	PROFUNDIDAD DE CORTE (MM)	N° PASADAS	VELOCIDAD DE CORTE (rpm)	AVANCE (mm/min)	RMM (mm ³ /min)	T _m (min)
Cepillado.		25.5	3							
Fresado.		24.503	0.997							
Rectificado.		24.003	0.5							
Barreno en el centro para las camisas de pernos guía <i>figura 2.13 (a)</i> .										
1.- Broca de centro.	3		3				800	50		2(3.75X10 ⁻³)
2.- Broca.	9.525		24.003				1000	50		2(0.56)
Fresado desbaste.										
Desbaste del barreno para colocar camisa de perno guía, <i>figura 2.13 (b)</i>	12.7		24.003	0.5	4	6	400	50	5715	2(6)(1.48)
Fresado acabado.										
Acabado de caja para colocar camisa de perno guía, <i>figura 2.13 (c)</i> .	12.7		4.7625	0	4.7625	1	625	100	15716.25	2(0.9)
Acabado del barreno para colocar camisa de perno guía, <i>figura 2.13 (d)</i> .	12.7		16.2405	0	0.5	32	625	100	1428.75	2(32)(0.72)
									T_m Total	66.8



Figura 2.6. Camisas de pernos guía ensamblados.

2.5 Simular proceso de manufactura.

A partir de lista de operaciones, lista de procesos y parámetros de mecanizado, se realizó la simulación del proceso y operaciones de manufactura. Utilizando un programa de CAD/CAM, como: Unigraphics NX5, al simular las operaciones se pueden corregir errores que no se habían detectado en la planeación de la manufactura del porta molde.

Se realizó la simulación del maquinado de las placas porta molde ya que se cuenta con una máquina-herramienta CNC figura 2.7, que llevo a cabo la tarea de realizar el maquinado de las piezas del porta molde.



Figura 2.7. Máquina-herramienta EMCO VMC 300.

Simulación ruta de trabajo de la placa de expulsión de botadores.

Se realizó la simulación de la ruta de trabajo para barrenar utilizando una máquina-herramienta EMCO VMC 300, para una broca de centro figura 2.8 (a), una broca de 5/16 para 4 barrenos pasados figura 2.8 (b) y un cortador de 1/2 para hacer 4 cajas figura 2.8 (c).

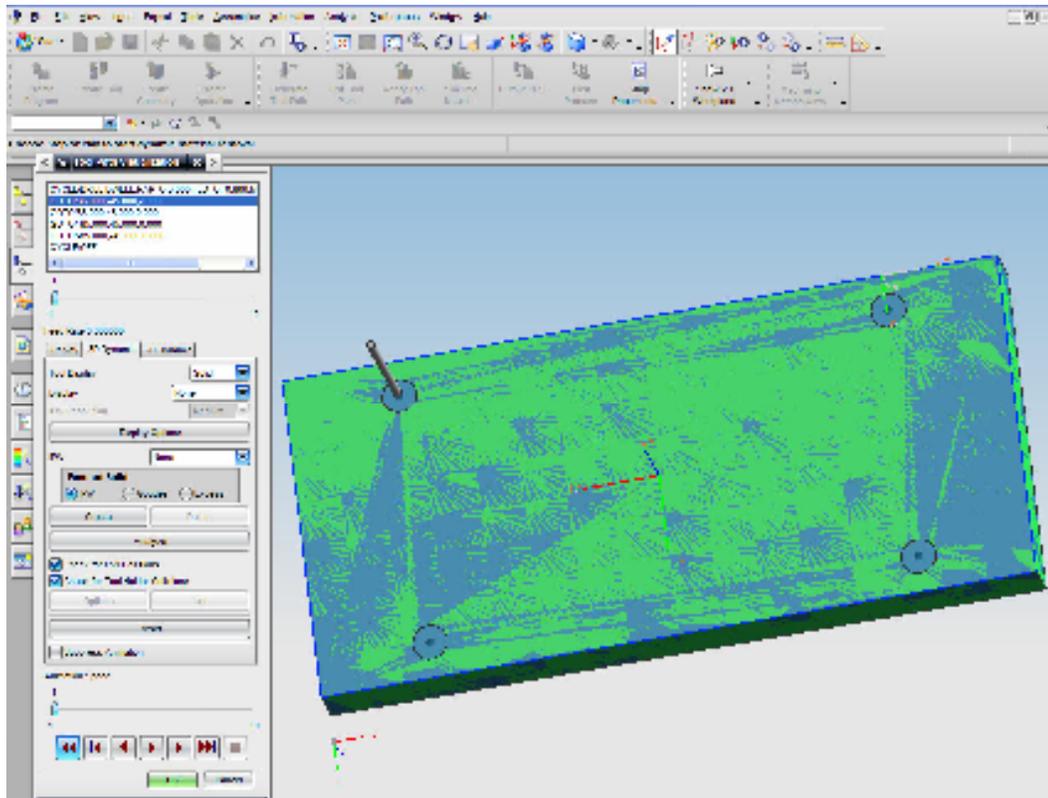


Figura 2.8 (a). Broca de centro para colocar 4 tornillos.

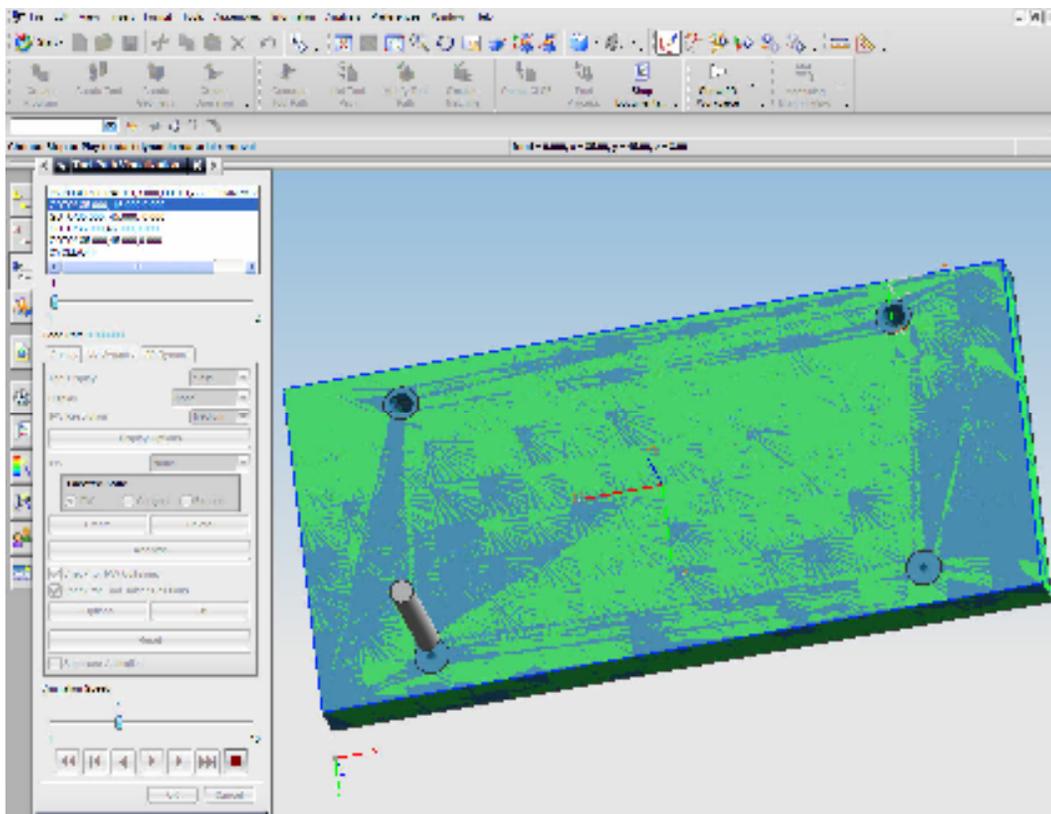


Figura 2.8 (b). Broca pasado 5/16 para colocar 4 tornillos de ensamble del porta molde.

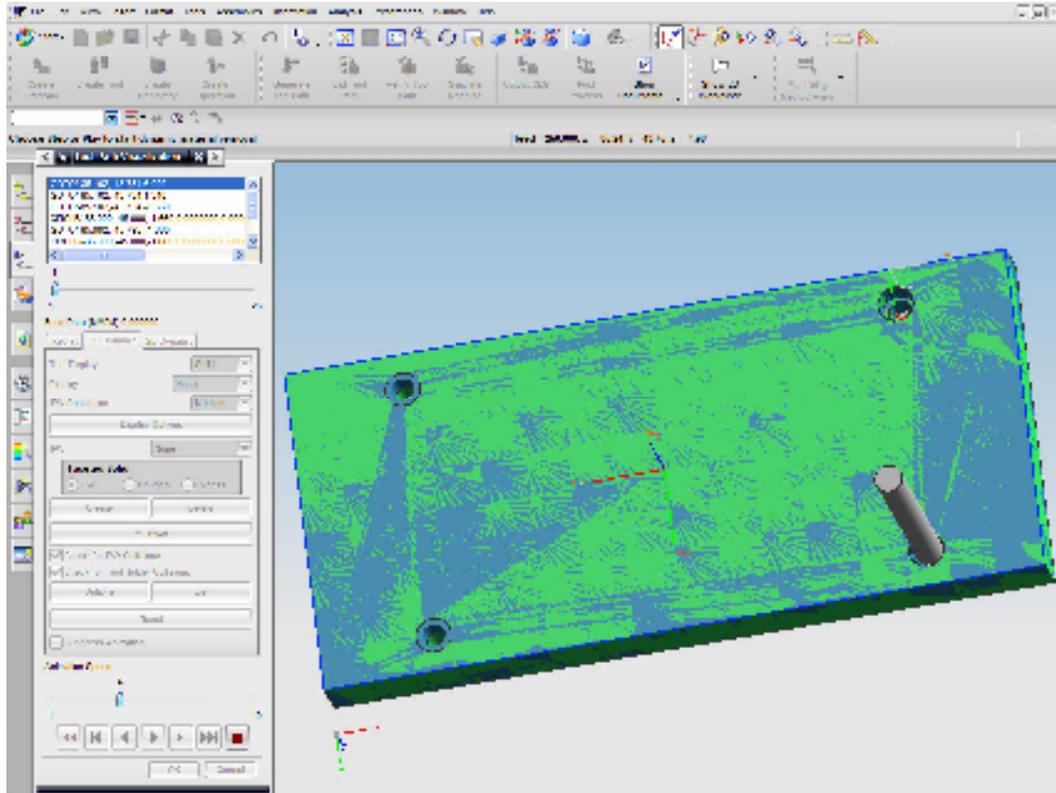


Figura 2.8 (c). Cortador $\frac{1}{2}$ para maquinar 4 caja para tornillo de $\frac{3}{8}$.
 Figura 2.8. Simulación de manufactura de la placa de retención de botadores.

Simulación ruta de trabajo de la placa de retención de botadores.

Se realizó la simulación de la ruta de trabajo para barrenar utilizando una máquina-herramienta EMCO VMC 300, para una broca de centro figura 2.9 (a), una broca F para 4 barrenos que se usaran para hacer cuerda estándar con un machuelo $\frac{5}{16}$ figura 2.9 (b), 4 barrenos de $\frac{3}{8}$ para colocar los pernos botadores de pieza figura 2.9 (c), un barreno de $\frac{3}{16}$ para el perno de colada figura 2.9 (d), 4 barrenos de $\frac{1}{4}$ para colocar los pernos de retorno figura 2.9 (e); 8 cajas usando un cortador $\frac{3}{8}$ para caja de pernos botador de pieza y pernos de retorno figura 2.9 (f), una caja de $\frac{3}{8}$ para el perno botador de colada figura 2.9 (g).

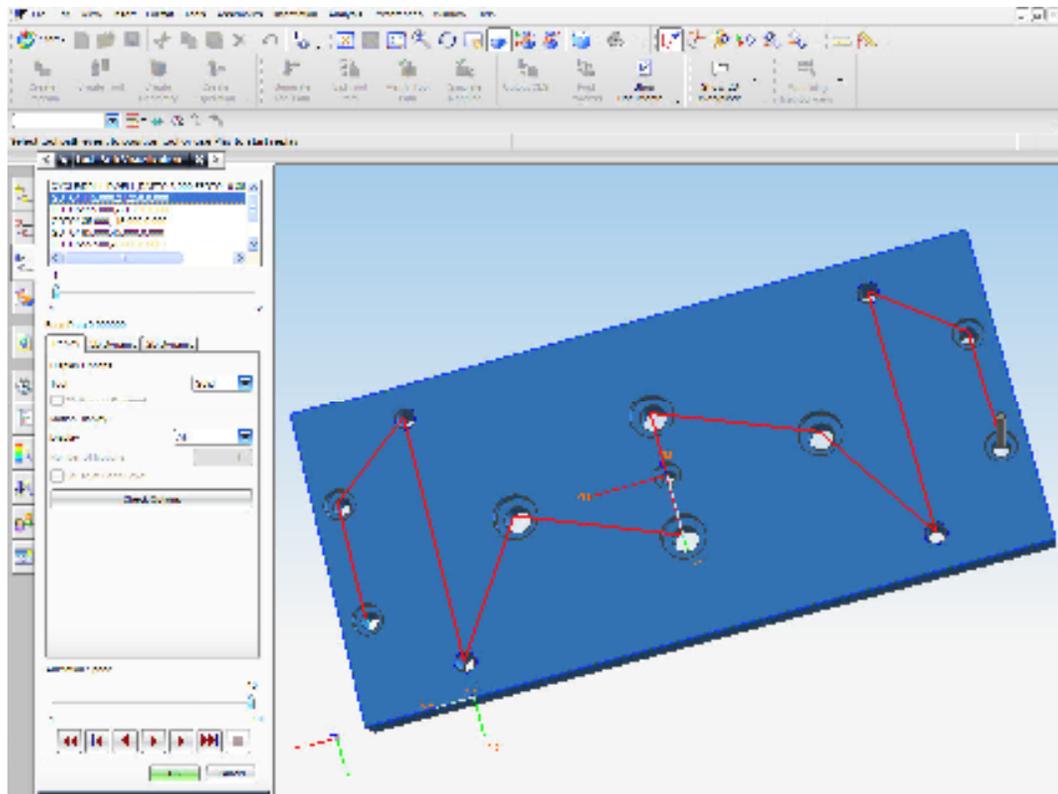


Figura 2.9 (a). Broca de centro para 13 barrenos y colocar tornillos de ensamble y pernos.

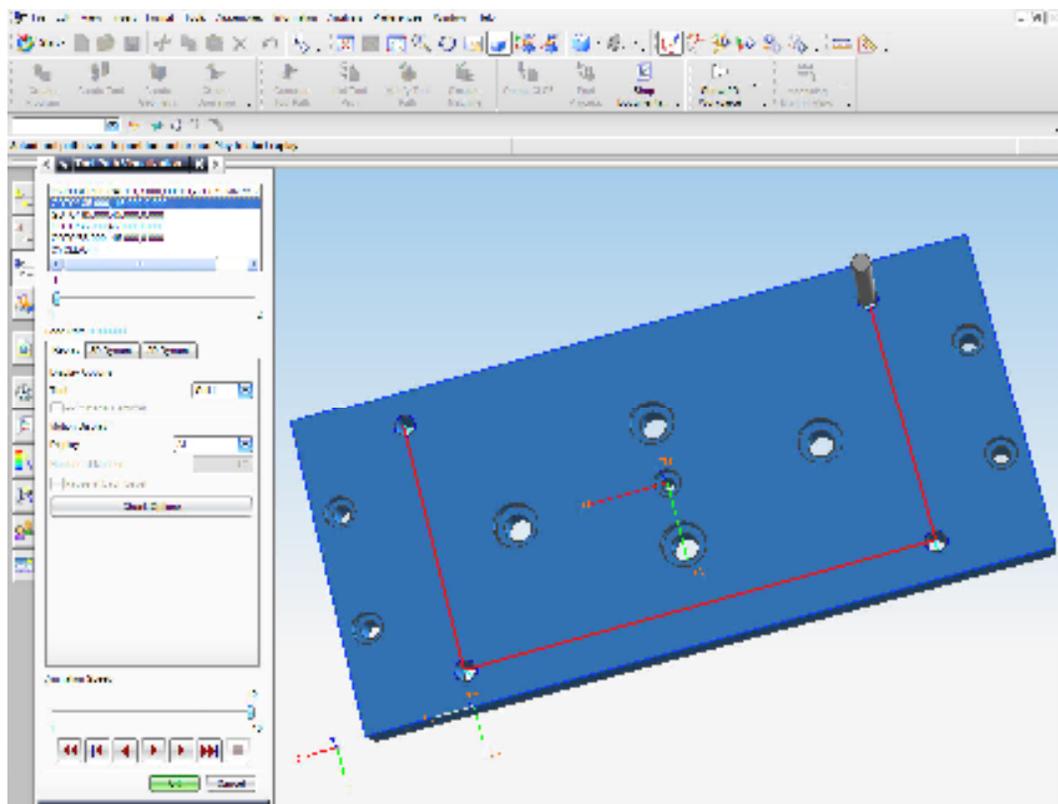


Figura 2.9 (b). Barreno F para colocar 4 tornillos de ensamble de las placas de retención y expulsión de botadores utilizando una machuelo de 3/8.

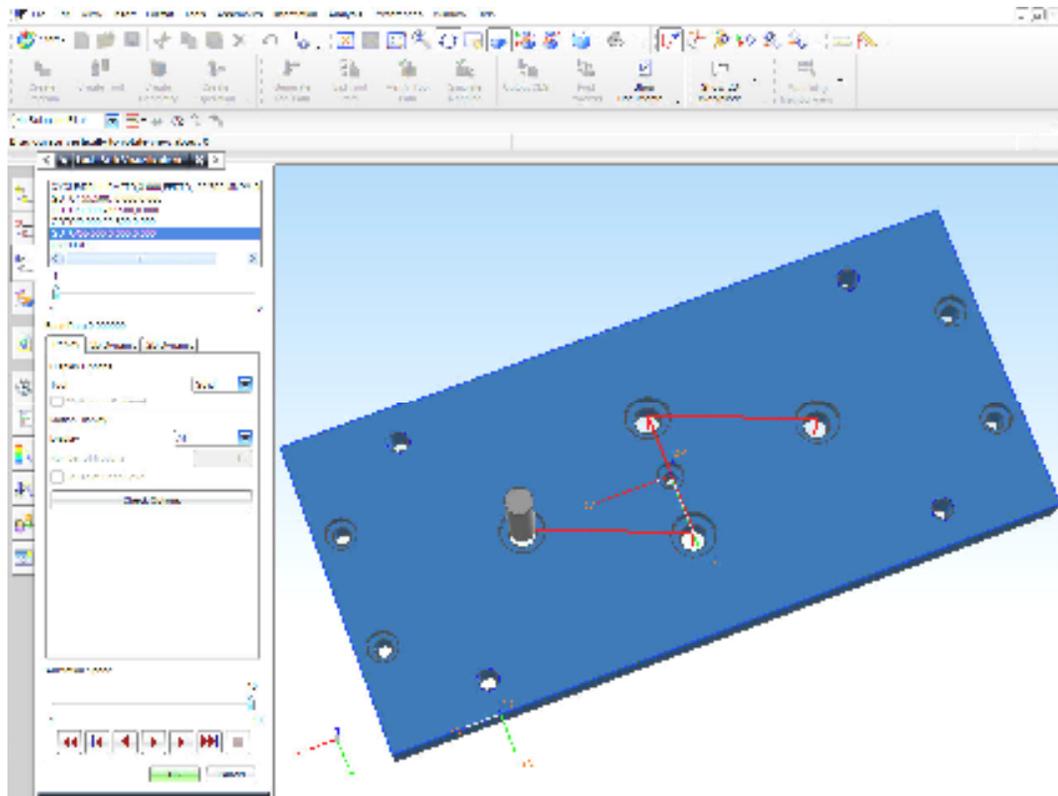


Figura 2.9 (c). Barreno 3/8 para colocar 4 pernos de botado de pieza.

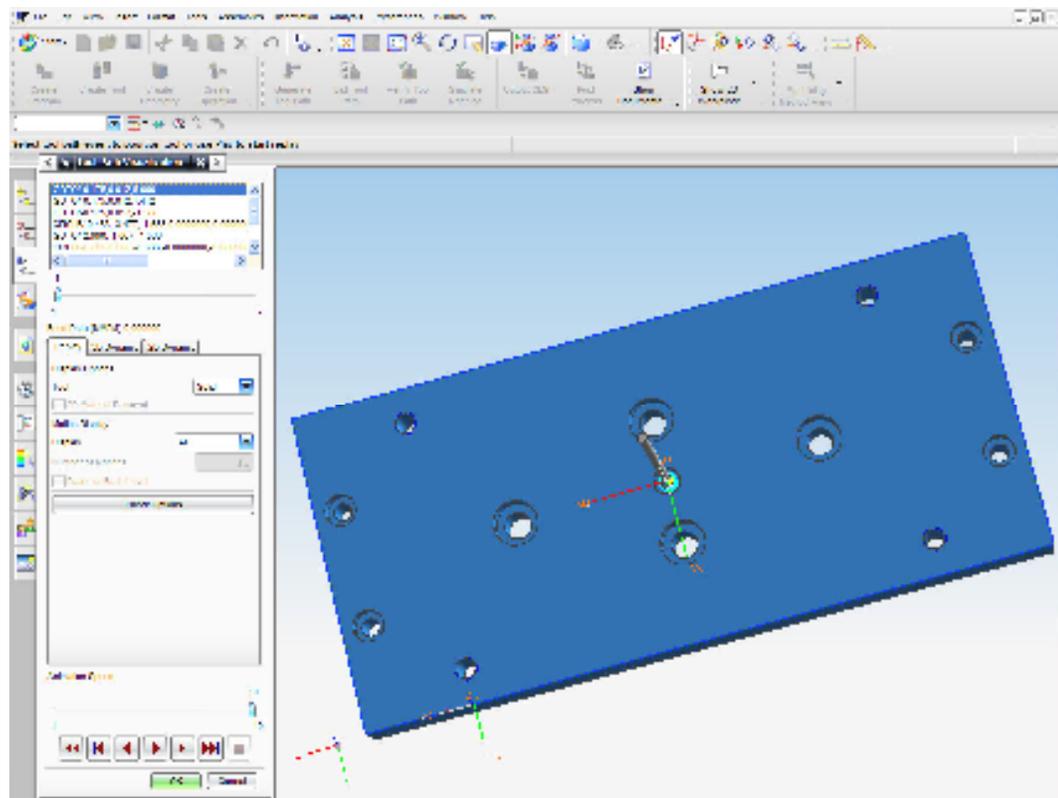


Figura 2.9 (d). Barreno 3/16 para colocar Perno expulsión de colada.

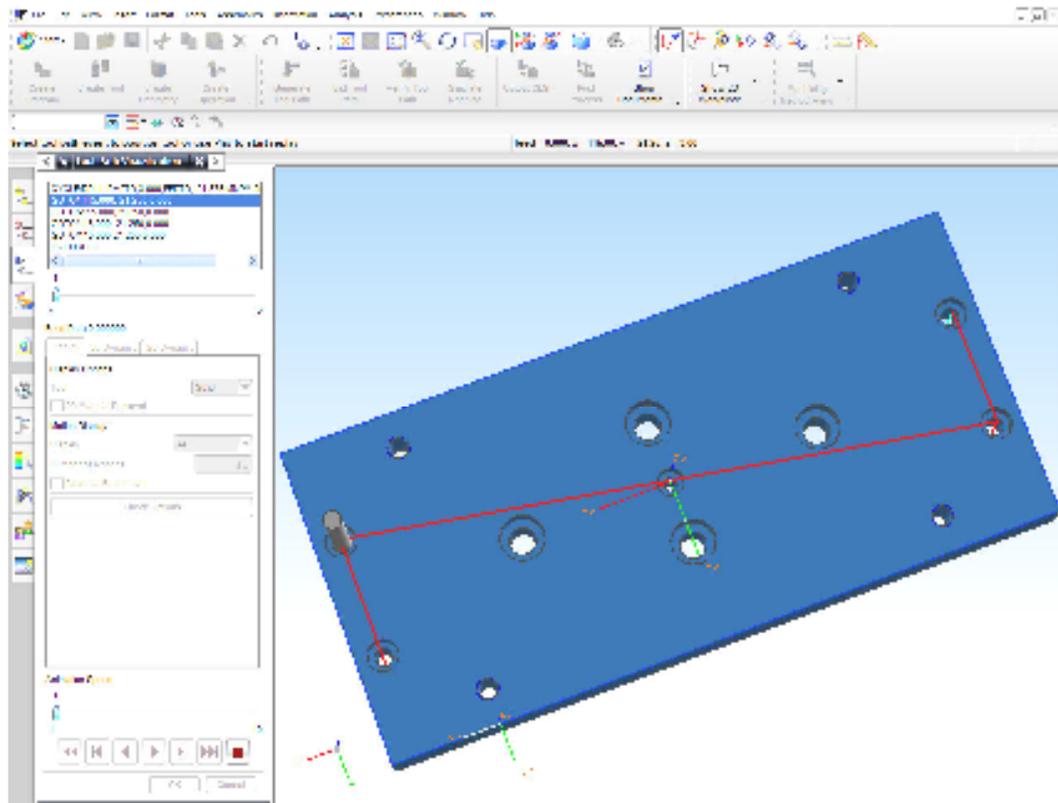


Figura 2.9 (e). Barreno $\frac{1}{4}$ para colocar 4 pernos de retorno.

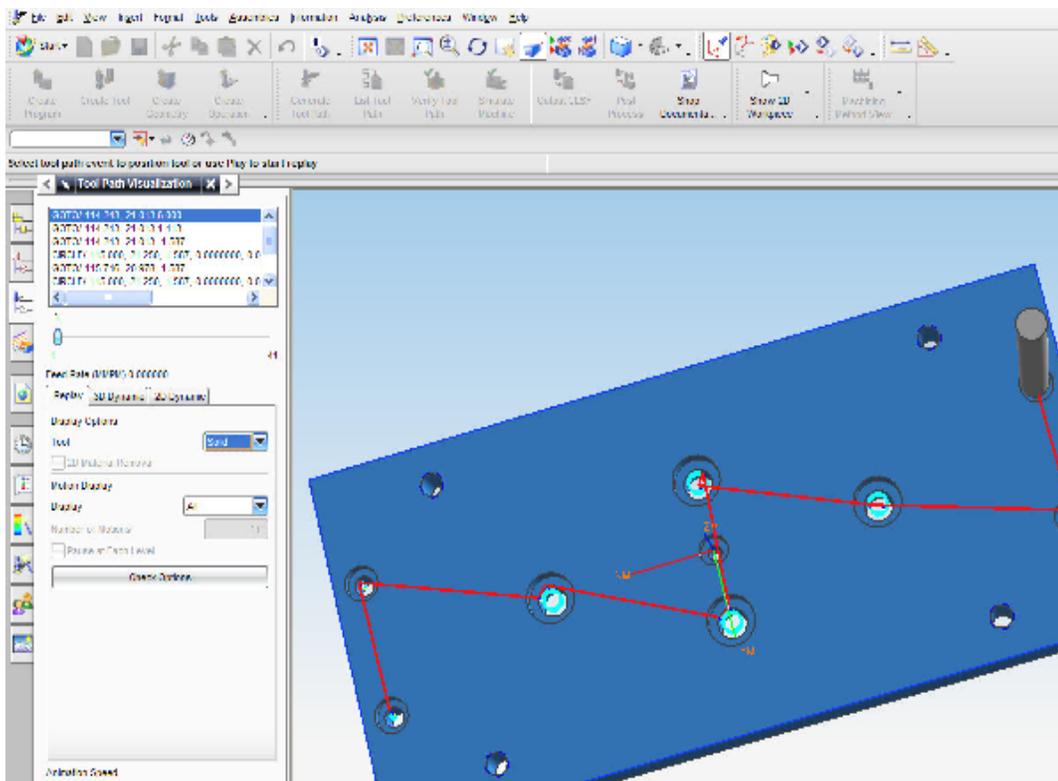


Figura 2.9 (f). Trayectoria del cortador $\frac{3}{8}$ para cajas de perno de retorno y perno botador de colada.

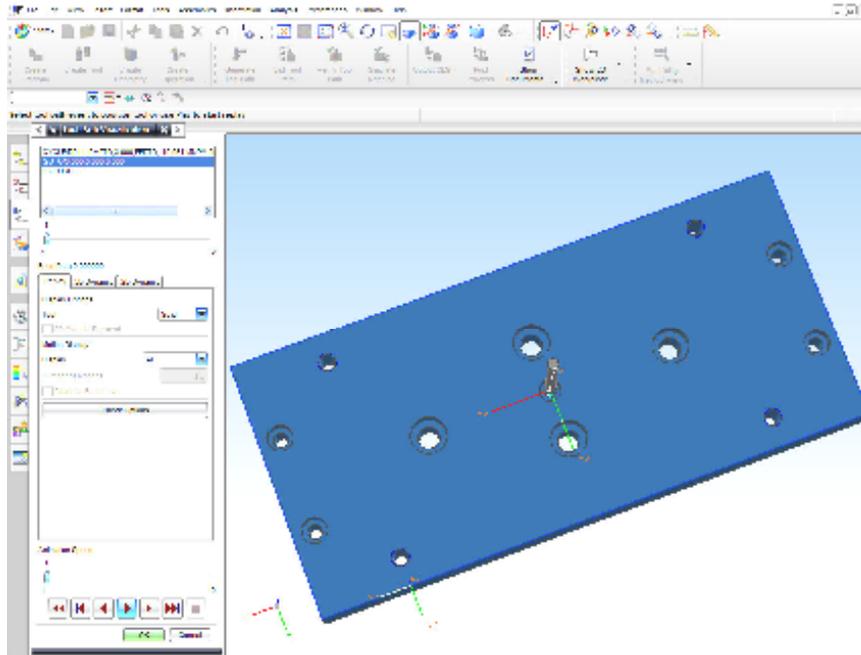


Figura 2.9 (g). Cortador 3/8 para Caja de perno de colada.
 Figura 2.9. Simulación de manufactura de la placa de retención de botadores.

Simulación de ruta de trabajo de la placa fija parte superior.

Se realizó la simulación de la ruta de trabajo para barrenar utilizando una máquina-herramienta EMCO VMC 300 para broca de centro figura 2.10 (a), una broca 7 para 2 barrenos que se usaran para hacer cuerda estándar con un machuelo 1/4 figura 2.10 (b), 3 barrenos de 1/2 para colocar los pernos guía y la boquilla de inyección figura 2.10 (c) y fresar 4 cajas usando un cortador 1/2 para colocar los pernos guía figura 2.10 (d).

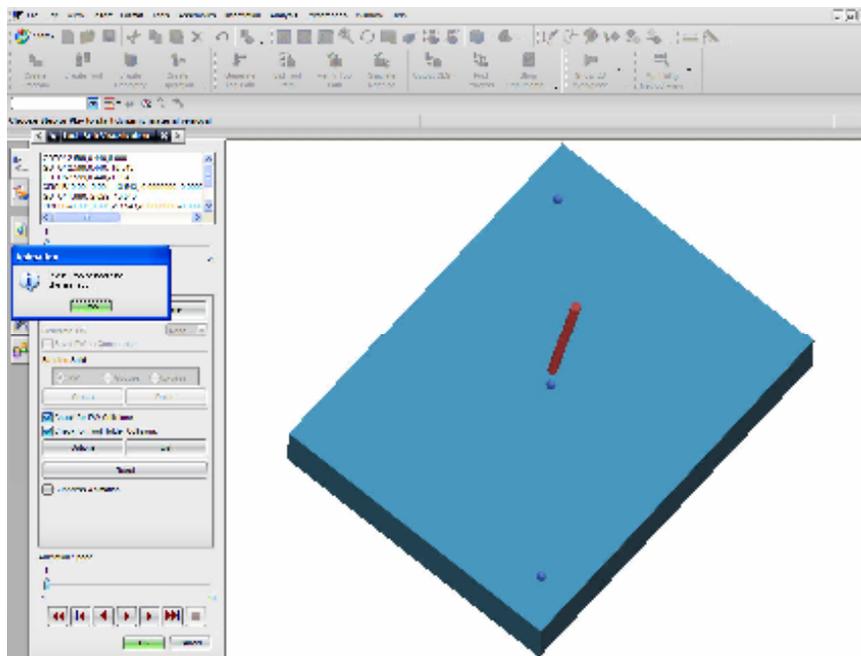


Figura 2.10 (a). Barreno broca de centro para la boquilla de inyección y perno guía.

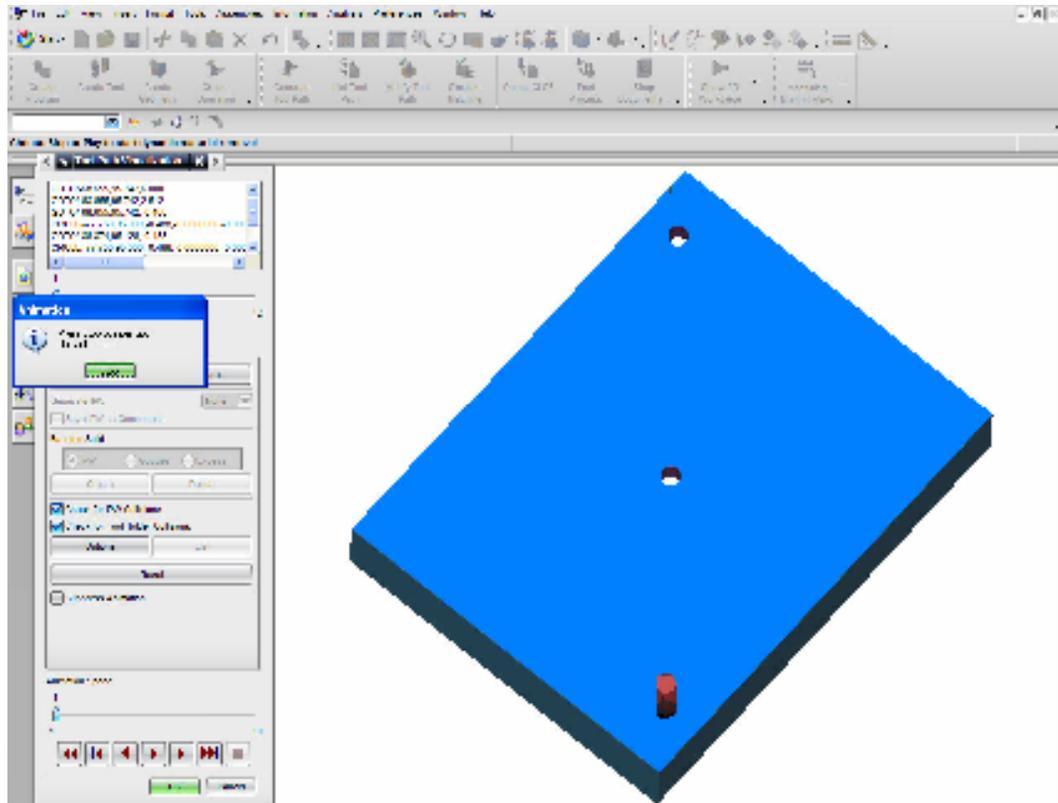


Figura 2.10 (b). Barreno Broca $\frac{1}{2}$ pasada para la boquilla de inyección y perno guía.

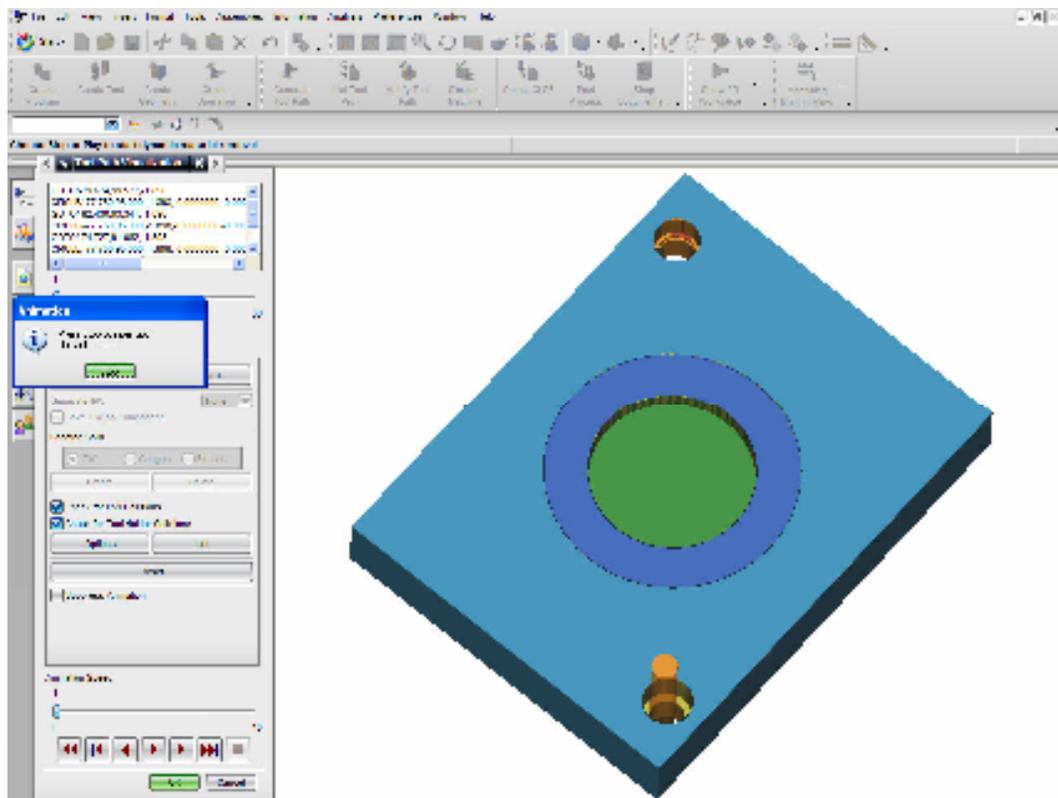


Figura 2.10 (c). Desbaste utilizando un cortador $\frac{1}{2}$ para cajas.

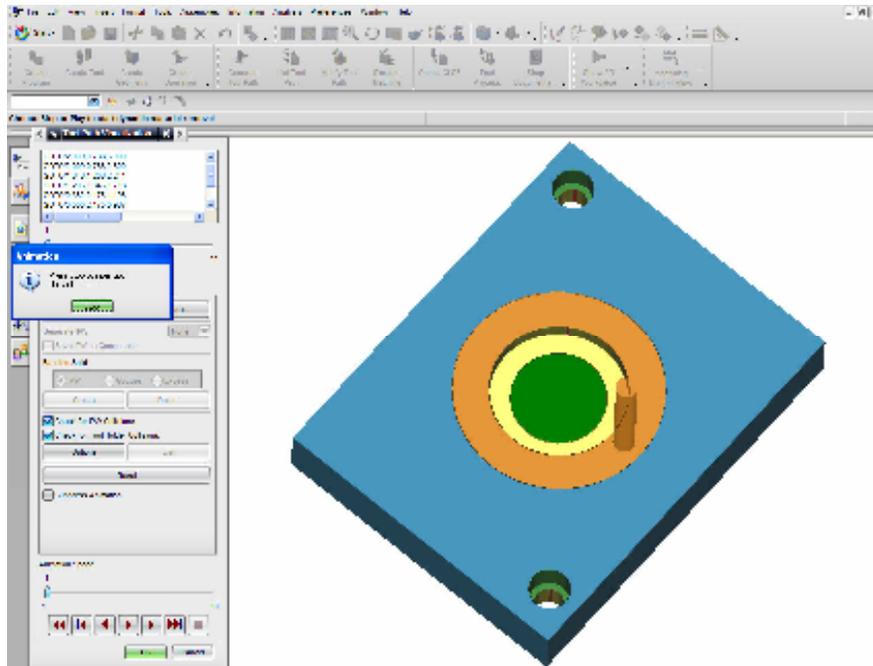


Figura 2.10 (d). Acabado Cortador $\frac{1}{2}$ para cajas.
 Figura 2.10. Simulación de manufactura de la placa fija parte superior.

Simulación de ruta de trabajo de la placa fija parte inferior.

Se realizó la simulación de la ruta de trabajo para fresar utilizando una máquina-herramienta EMCO VMC 300 para un cortador $\frac{1}{2}$ maquinara las cajas para los moldes intercambiables, además de 2 extremos para sujetar la placa en la máquina de inyección de plástico figura 2.11 (a), una broca de centro figura 2.11 (e), una braca F para 8 barrenos que se usaran para utilizar un machuelo $\frac{5}{16}$ figura 2.11 (f).

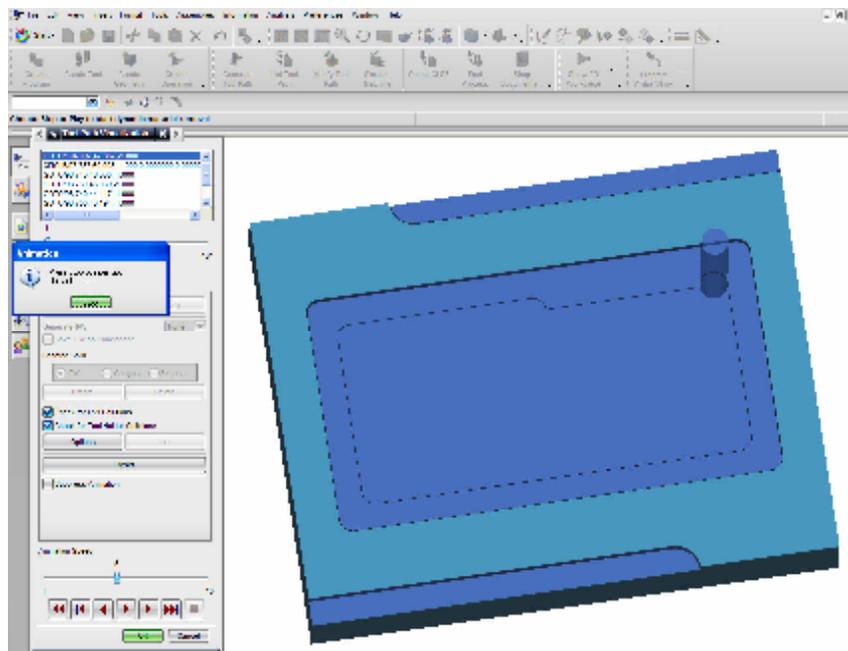


Figura 2.11 (a). Desbaste de cajas usando cortador de $\frac{1}{2}$

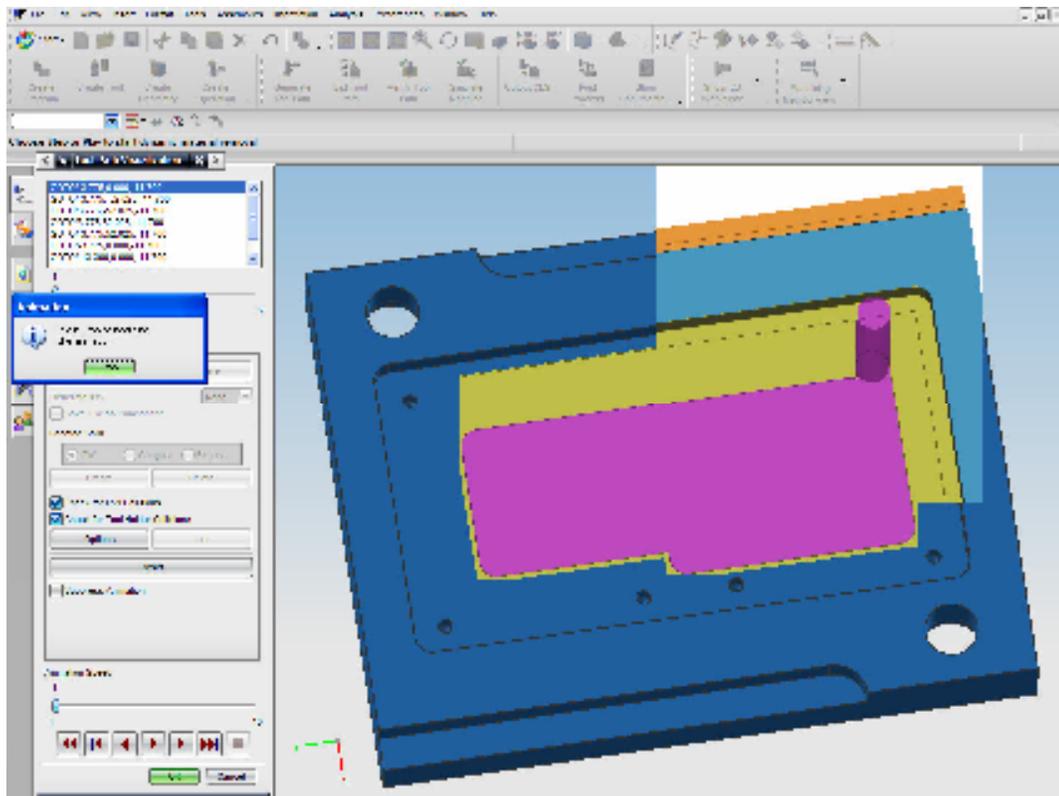


Figura 2.11 (b). Acabado de caja usando cortador de $\frac{1}{2}$ para colocar el molde intercambiable.

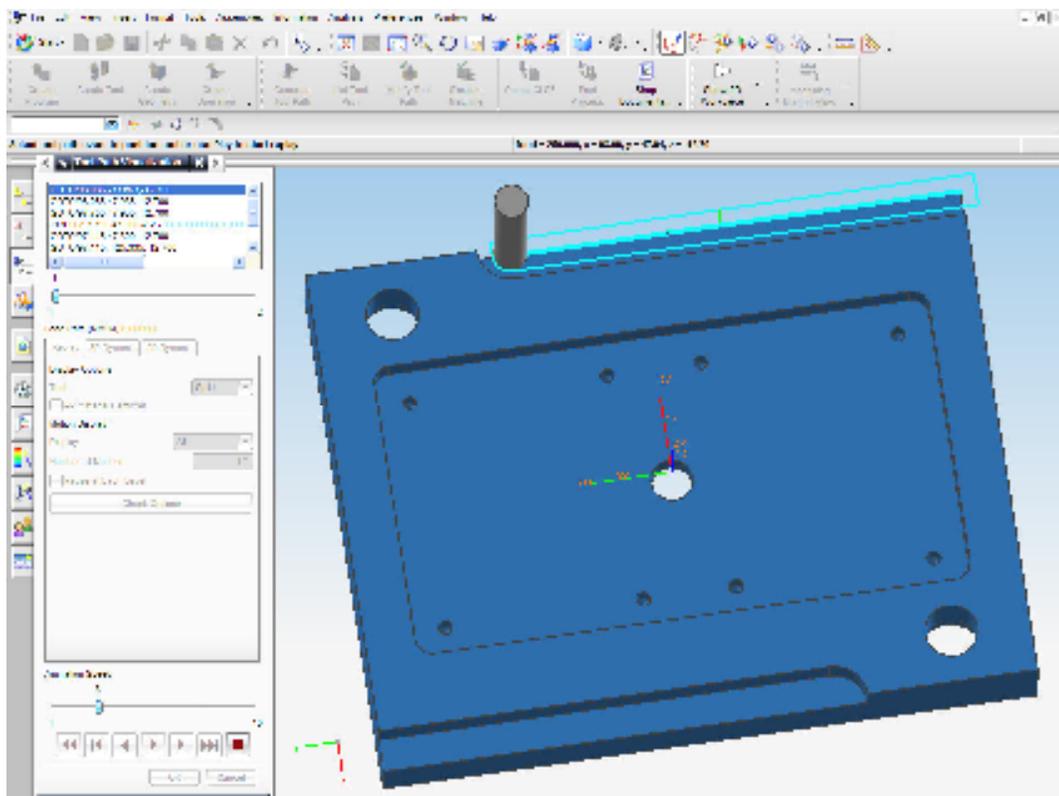


Figura 2.11 (c). Ruta del corte utilizando cortados $\frac{1}{2}$ para la sujeción de la placa.

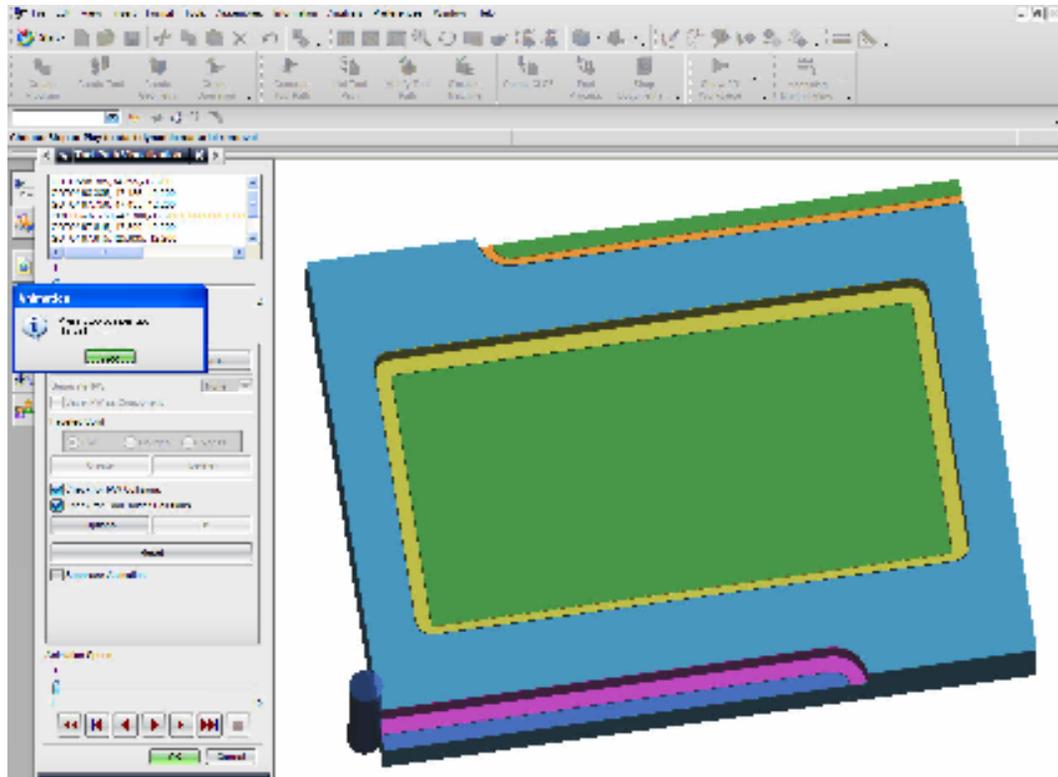


Figura 2.11 (d). Acabado de la parte de la sujeción de la placa usando un cortador de 1/2.

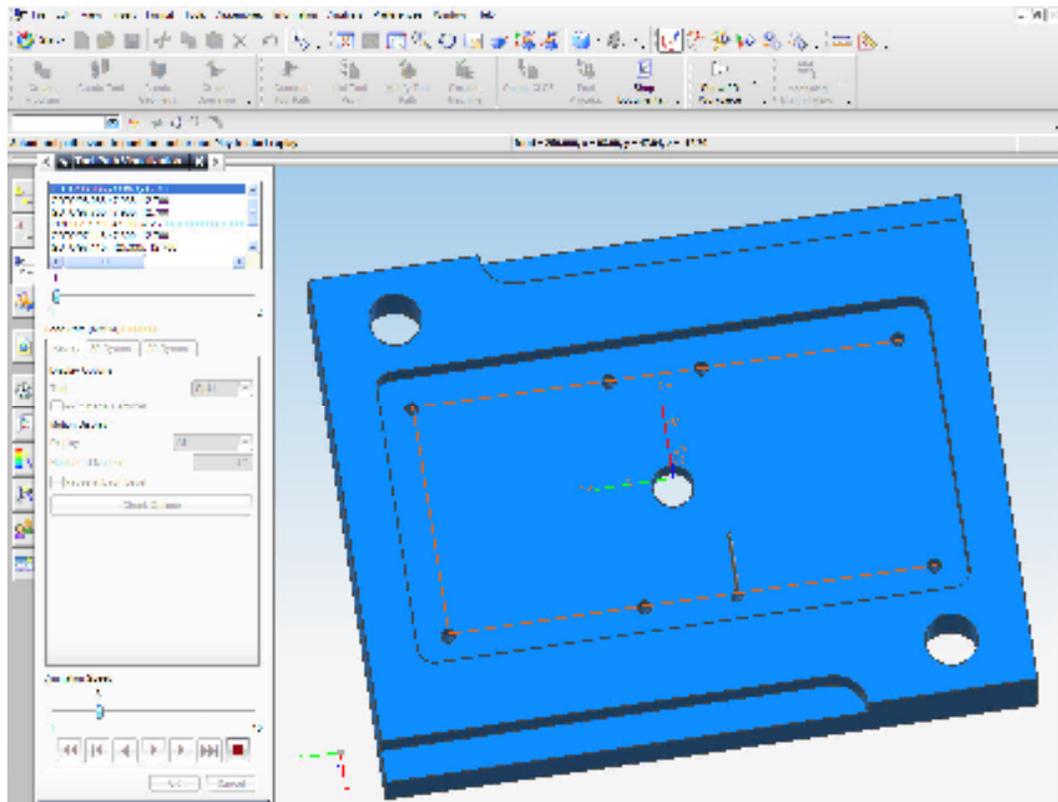


Figura 2.11 (e). Broca de centro para colocar 8 tornillos de ensamble del molde intercambiable.

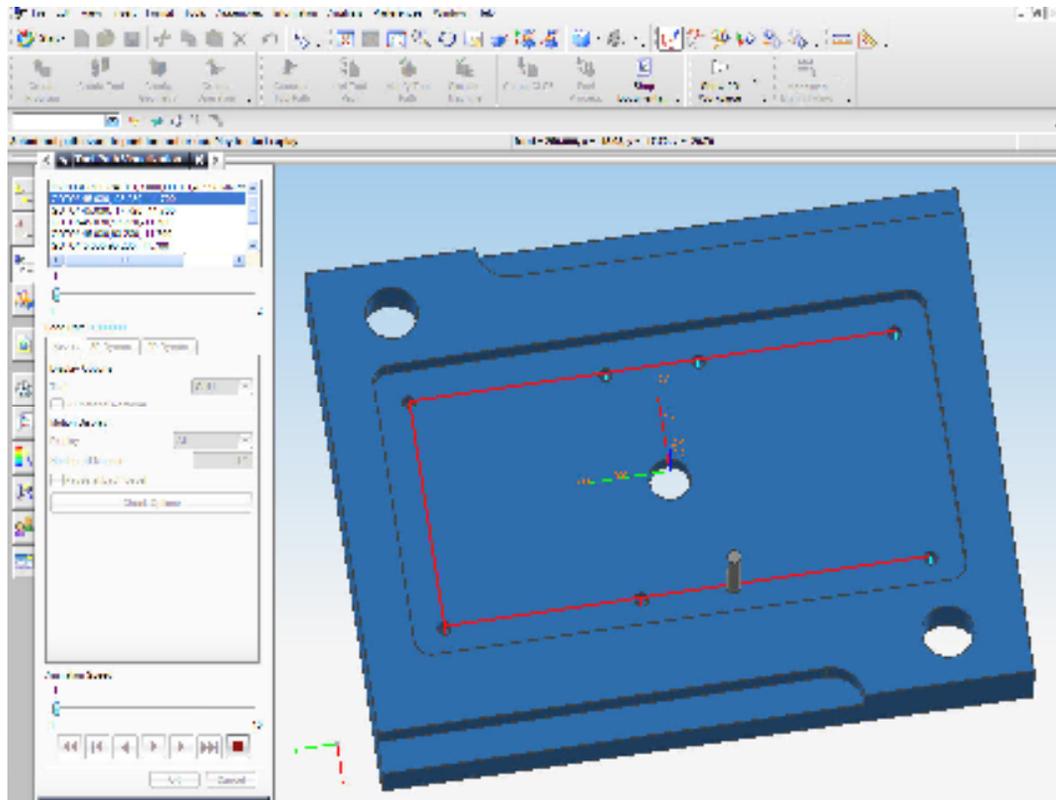


Figura 2.11 (f). Barreno broca 7 para colocar los tornillos de sujeción de los insertos usando machuelo $\frac{1}{4}$.

Figura 2.11. Simulación de manufactura ruta de trabajo de la placa fija parte inferior.

Simulación de ruta de trabajo de la placa móvil parte superior.

Se realizó la simulación de ruta de trabajo para fresar utilizando una máquina-herramienta EMCO VMC 300 para una caja usando un cortador $\frac{1}{2}$ para colocar los moldes intercambiables figura 2.12 (a), barrenar con una broca de centro figura 2.12 (d), una broca $\frac{5}{16}$ para 4 barrenos que se usaran para hacer cuerda estándar con un machuelo $\frac{3}{8}$ figura 2.12 (e), 4 barrenos de $\frac{3}{8}$ para colocar los pernos botadores de pieza figura 2.12 (f), un barreno de $\frac{3}{16}$ para el perno de colada figura 2.12 (g), 4 barrenos de $\frac{1}{4}$ para colocar los pernos de retorno figura 2.12 (h), una braca F para 8 barrenos que se usaran para utilizar un machuelo $\frac{5}{16}$ figura 2.12 (e).

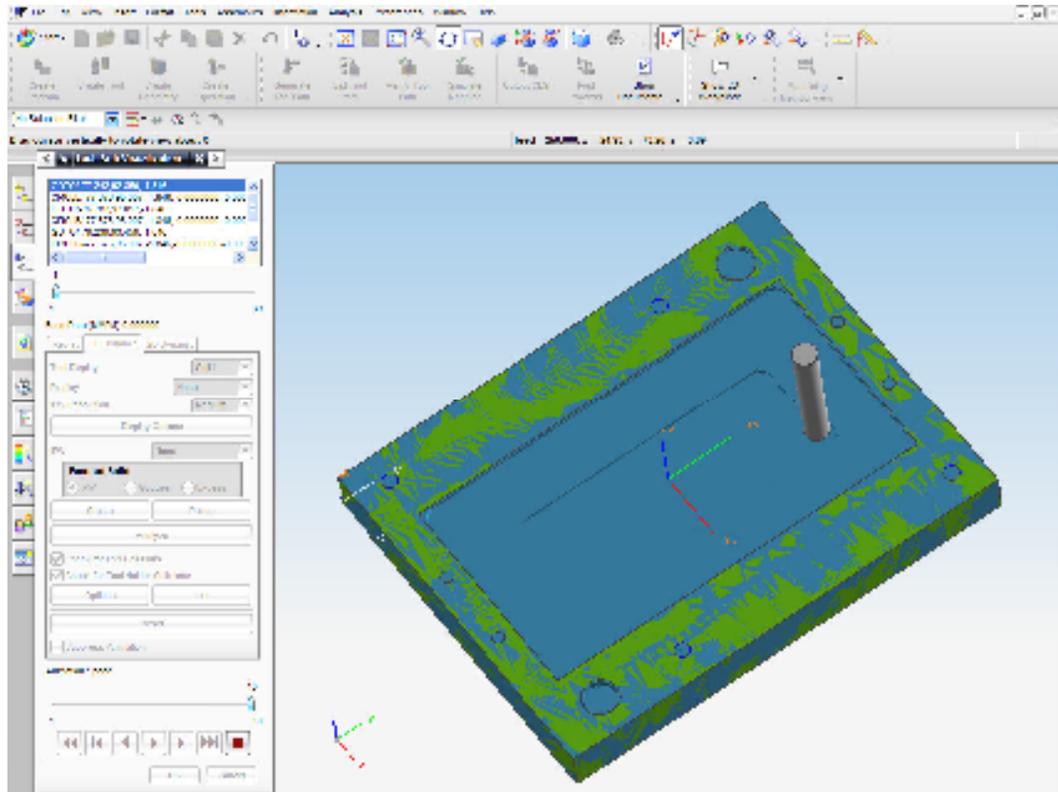


Figura 2.12 (a) Desbaste de caja cortador 1/2 para colocar el molde intercambiable.

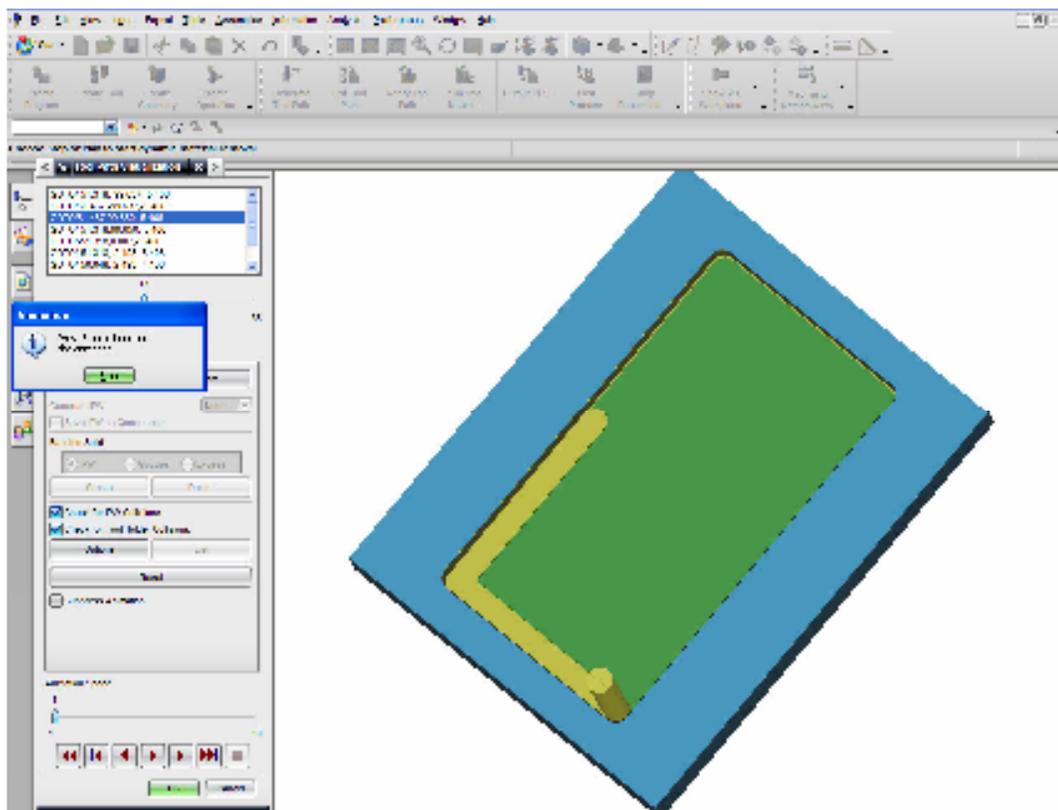


Figura 2.12 (b) Acabado de contorno usando cortador 1/2 para colocar el molde intercambiable.

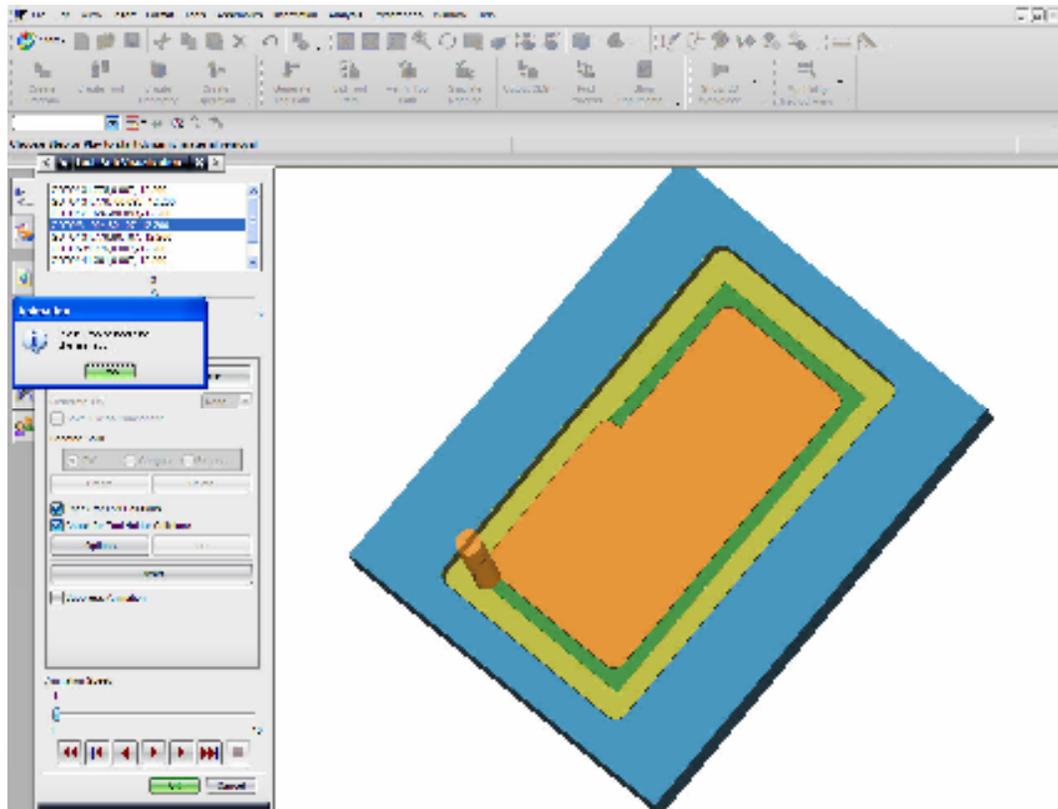


Figura 2.12 (c). Acabado para la base de caja para colocar el molde intercambiable.

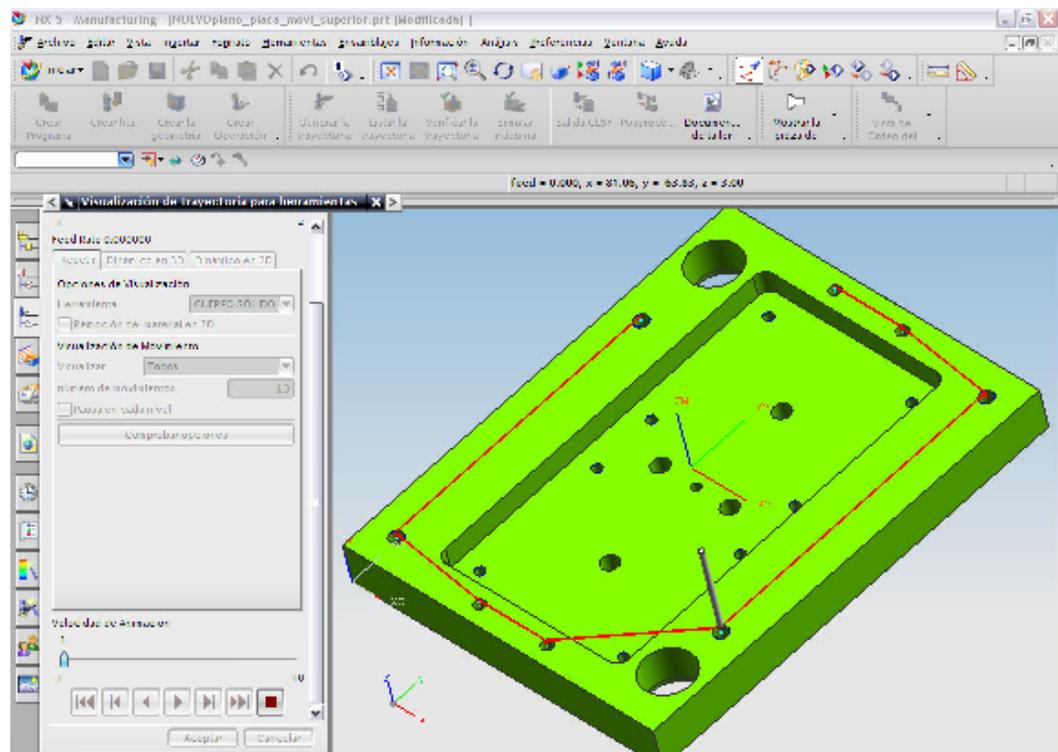


Figura 2.12 (d1). Broca de centro.

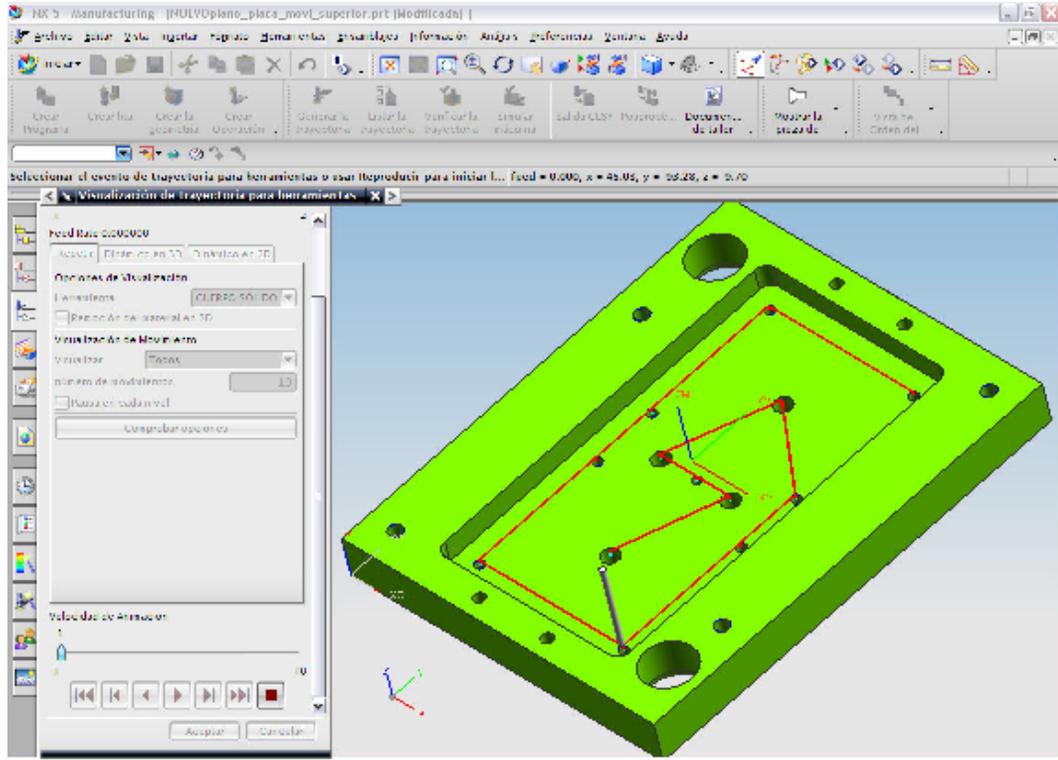


Figura 2.12 (d2). Broca de centro.

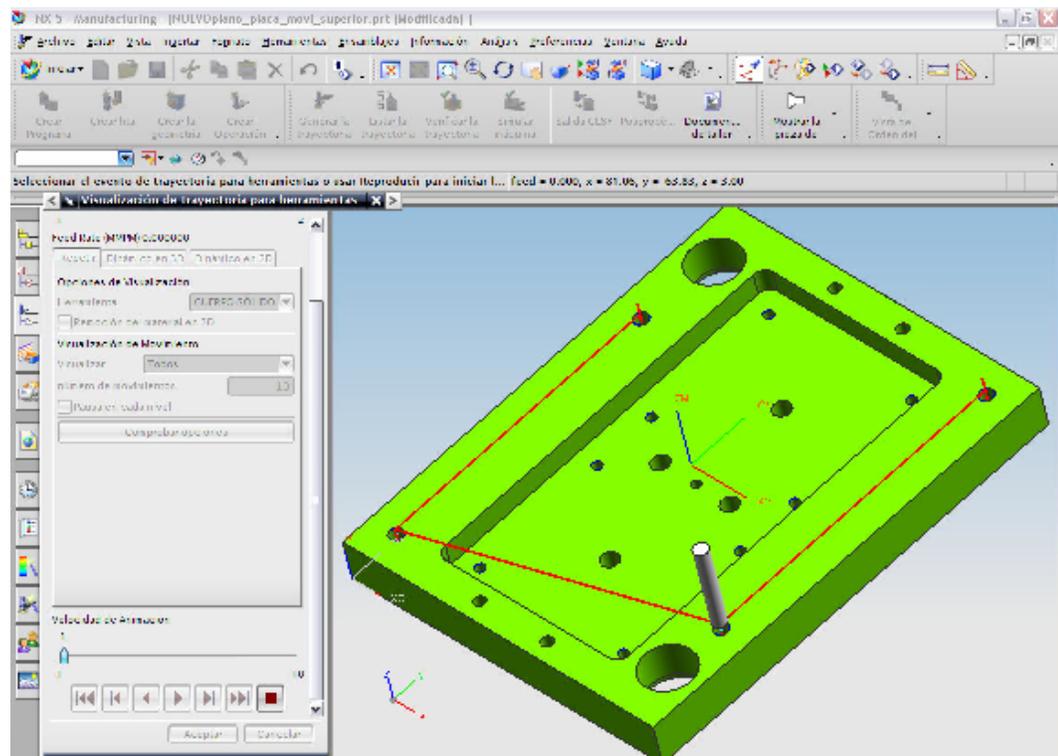


Figura 2.12 (e). Barreno 5/16 para cuerda con machuelo 3/8.

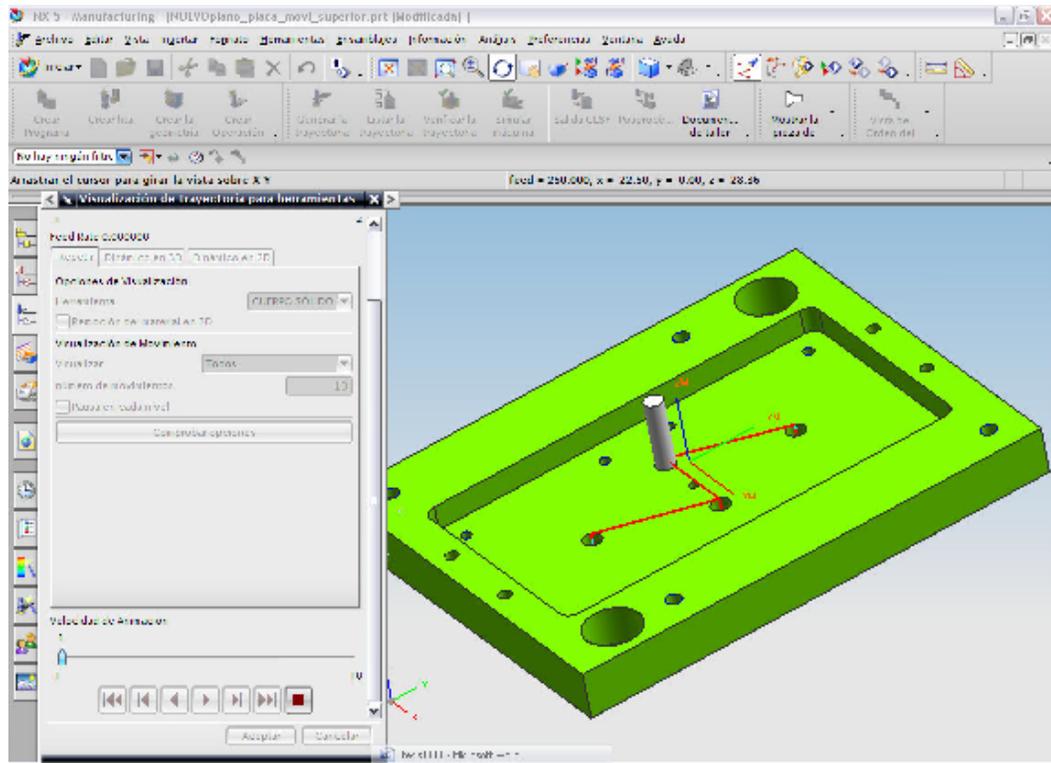


Figura 2.12 (f). 4 barrenos de 3/8 para colocar los pernos botadores de pieza.

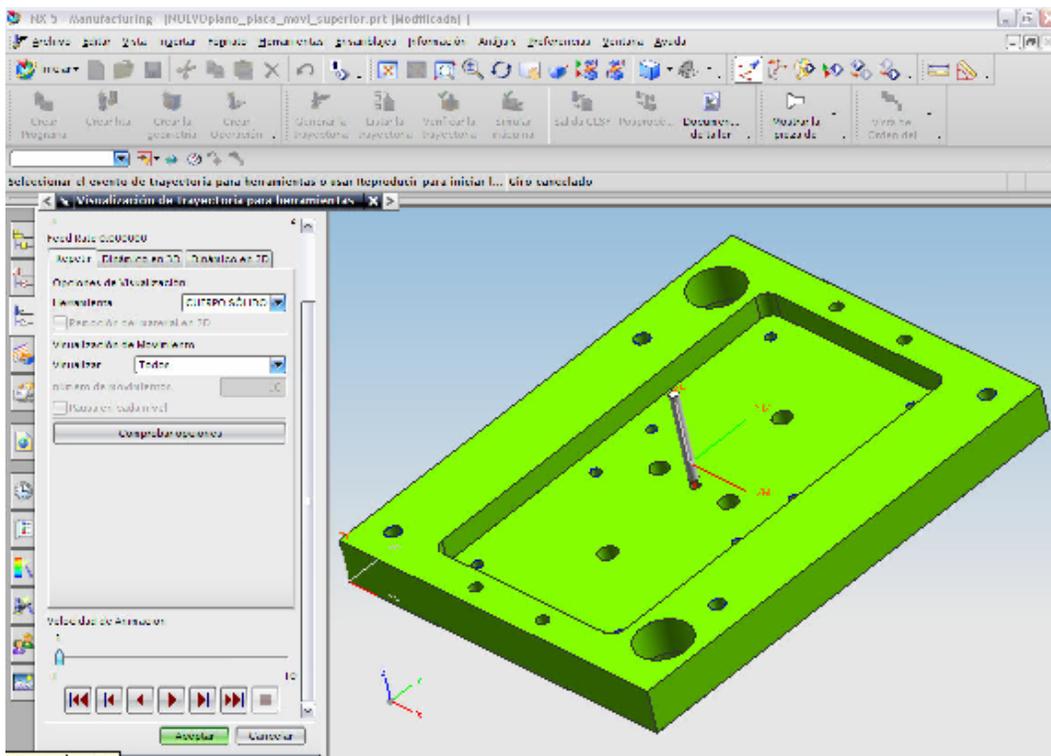


Figura 2.12 (g). Un barreno de 3/16 para el perno de colada.

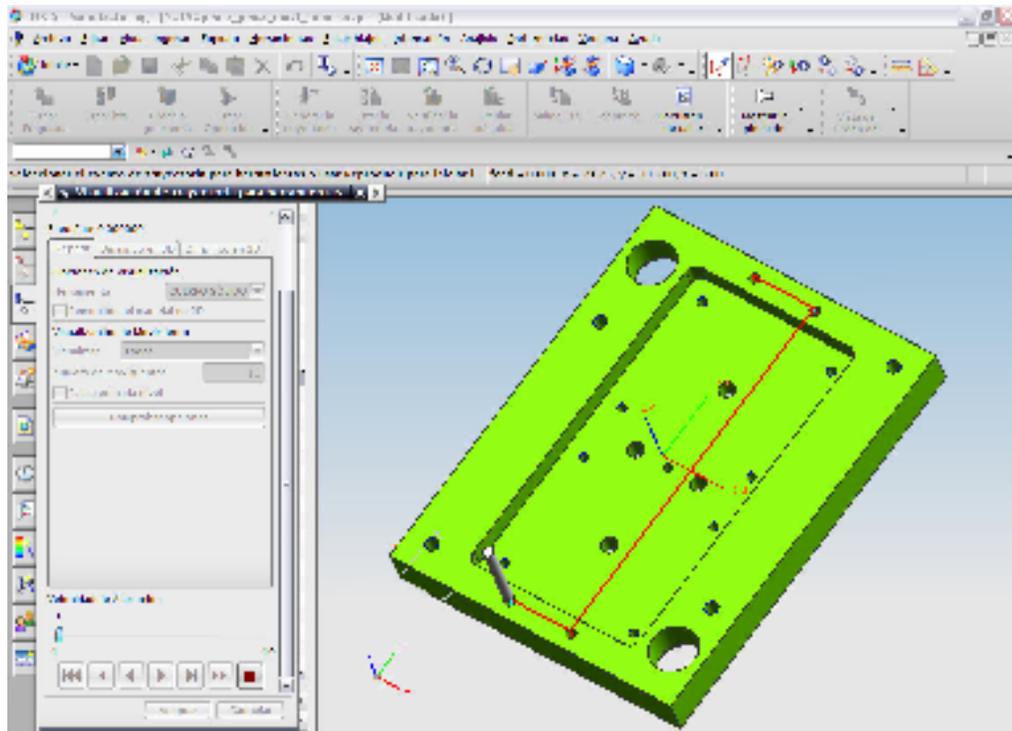


Figura 2.12 (h). 4 barrenos de $\frac{1}{4}$ para colocar los pernos de retorno.

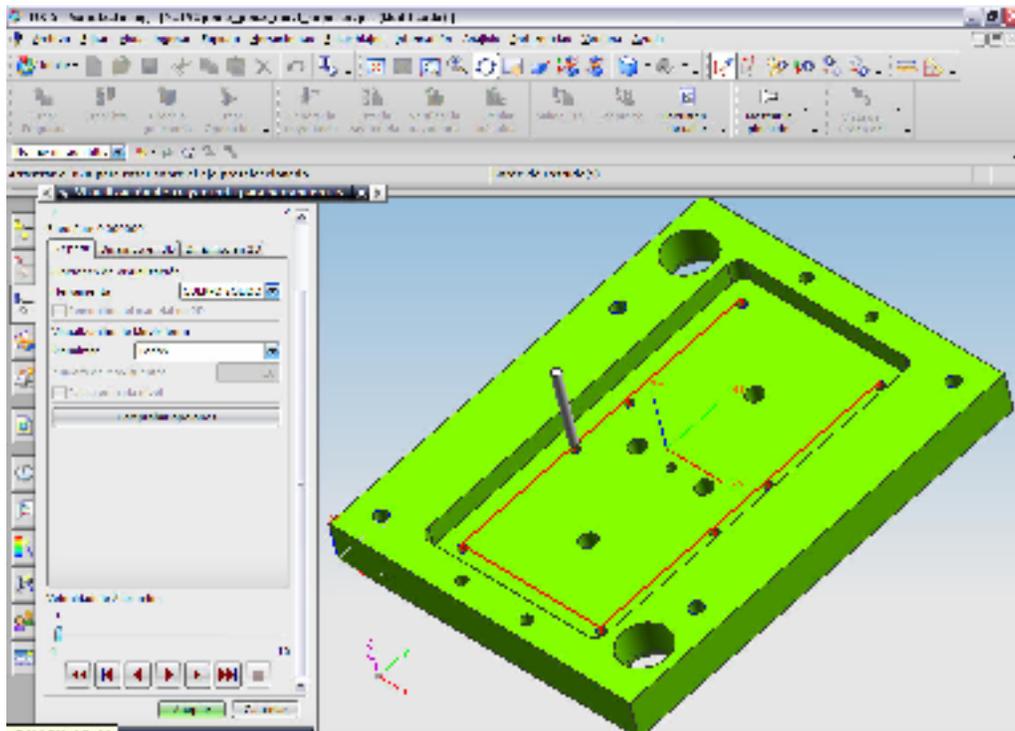


Figura 2.12 (i). Una braca F para 8 barrenos que se usaran para utilizar un machuelo $\frac{5}{16}$.
 Figura 2.12. Simulación de manufactura ruta de trabajo de la placa móvil parte superior.

Simulación de ruta de trabajo de la placa móvil parte inferior.

Se realizó la simulación de la ruta de trabajo para barrenar utilizando una máquina-herramienta EMCO VMC 300 para una broca de centro figura 2.13 (a), una braca 1/2 para 2 barrenos que se usaran para colocar la camisa de los pernos guía figura 2.13 (b) y un cortador de 1/2 para hacer 2 cajas figura 2.13 (c) (d) y (e).

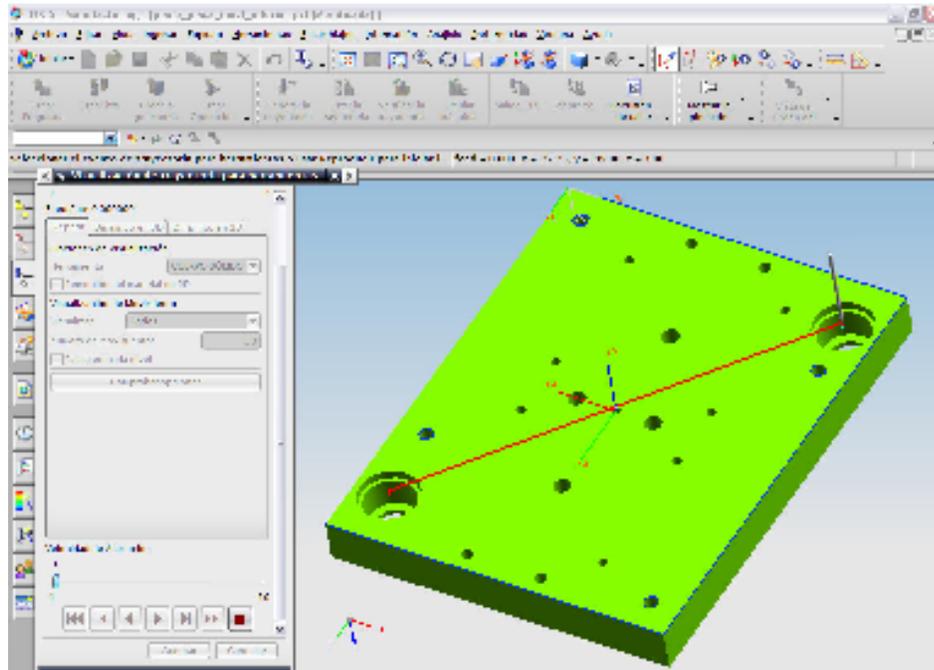


Figura 2.13 (a). Broca de centro.

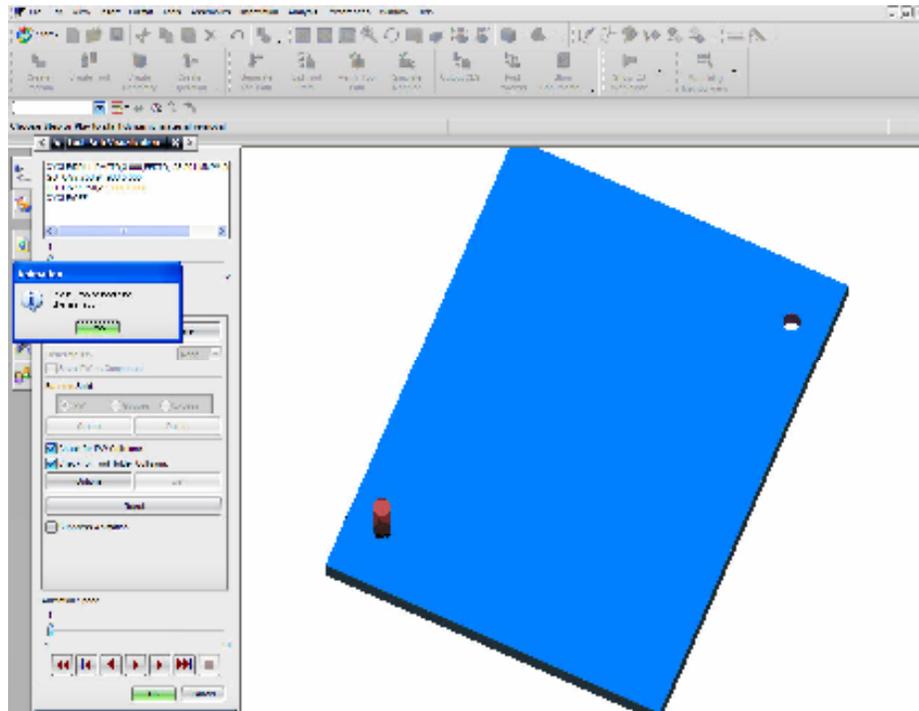


Figura 2.13 (b). Barreno 1/2 para las camisas de pernos guía.

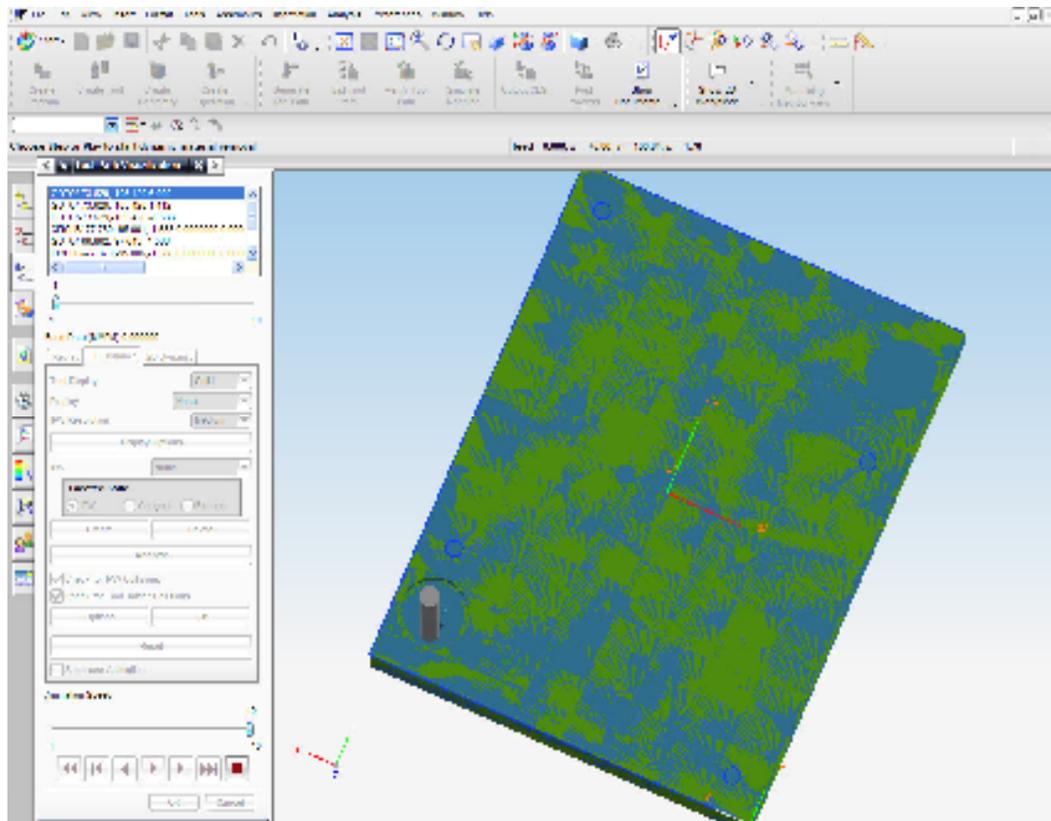


Figura 2.13 (c). Desbaste del barreno para colocar camisa de perno guía.

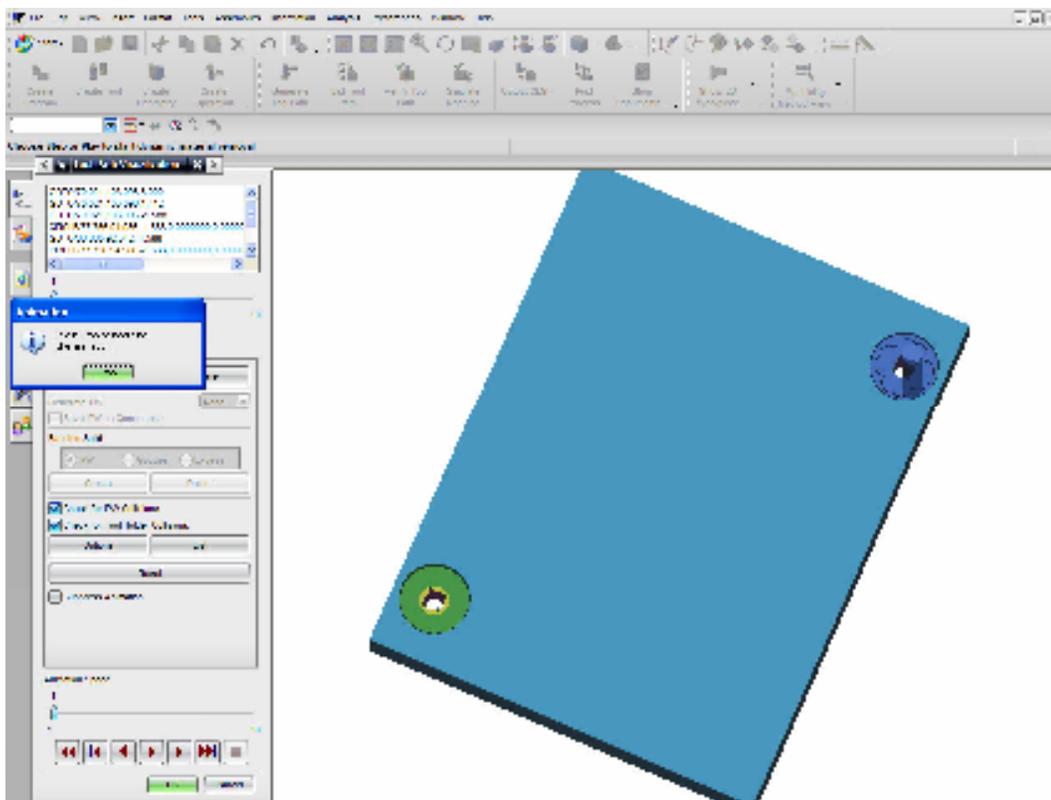


Figura 2.13 (d). Acabado de caja para colocar camisa de perno guía.

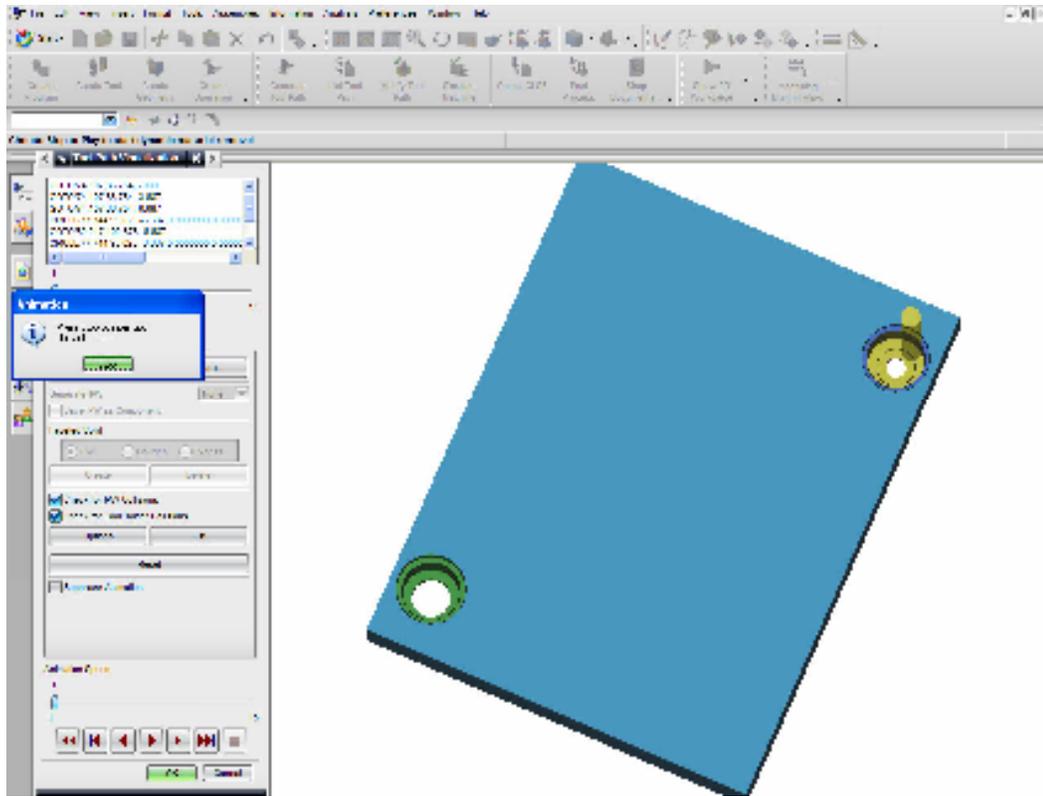


Figura 2.13 (e). Acabado de cajas para colocar el perno camisa de perno guía.
 Figura 2.13. Simulación de manufactura, ruta de trabajo de la placa móvil parte inferior.

2.6 Proceso de manufactura manual.

Torneado.

Utilizando solamente la máquina-herramienta torno para maquinara la boquilla figura 2.14 del diseño de la figura 2.15. Se obtienen los parámetros siguientes de las tablas 2.13 y 2.14.

Tabla 2.13. Velocidad de rotación [rev/min], para el torno.

Material.	Corte de desbaste (m/min).	Corte de acabado (m/min).
Acero para maquinaria.	40	56

Tabla 2.14. Avances para herramientas para alta velocidad.

	Desbastado.	Acabado.
Material.	Milímetros.	Milímetros.
Acero de herramientas.	0.25 - 0.50	0.07 - 0.25

Para calcular la velocidad de rotación de la pieza a tornearse se utilizó la ecuación:

$$N = \frac{v}{\pi * D_0} \dots (11)$$

$$N = \frac{40}{(38.1 \times 10^{-3})\pi} = 334.2 \left[\frac{rev}{min} \right]$$

$$N = \frac{56}{(31.8 \times 10^{-3})\pi} = 560.5 \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right]$$

Donde:

N = velocidad de rotación [rev/min].

v = velocidad de corte [m/min].

D_0 = diámetro original de la pieza [m].

Para calcular la profundidad de corte se utilizó la siguiente ecuación:

$$d = \frac{D_0 - D_f}{2} \dots(12)$$

$$d = \frac{38.1 - 31.8}{2} = 3.15 [\text{mm}]$$

$$d = \frac{313.8 - 16.8}{2} = 7.5 [\text{mm}]$$

Donde:

d = profundidad de corte [mm].

D_0 = diámetro original de la pieza [mm]

D_f = diámetro final de la pieza [mm].

Para calcular el avance se utilizó la siguiente ecuación:

$$f_r = N * f \dots(13)$$

$$f_r = (330)(0.5) = 165 [\text{mm/min}]$$

$$f_r = (560)(0.25) = 140 [\text{mm/min}]$$

Donde:

f_r = velocidad de avance [mm/min].

f = avance [mm/rev].

N = velocidad de rotación [rev/min].

Para calcular el tiempo para maquinarse una pieza de un extremo a otro se utilizó la siguiente ecuación:

$$T_m = \frac{L}{f_r} \dots(14)$$

$$T_m = \frac{10.8}{165} = 0.065 [\text{min}]$$

$$T_m = \frac{10.8}{140} = 0.077 [\text{min}]$$

$$T_m = \frac{2.1}{140} = 0.015 [\text{min}]$$

Donde:

T_m = tiempo de maquinado real [min].

L = longitud de la parte cilíndrica [mm].
 f_r = velocidad de avance [mm/min].

Para calcular la velocidad de remoción de material se utilizó la siguiente ecuación:

$$MRR = v * f * d \dots (15)$$

$$MRR = (330)(165)(1.5) = 81675 \text{ [mm}^3\text{/min]}.$$

$$MRR = (560)(140)(0.15) = 11760 \text{ [mm}^3\text{/min]}.$$

$$MRR = (330)(165)(1.75) = 95287.5 \text{ [mm}^3\text{/min]}.$$

$$MRR = (560)(140)(0.25) = 19600 \text{ [mm}^3\text{/min]}.$$

Donde:

MRR = velocidad de remoción del material [mm³/min].

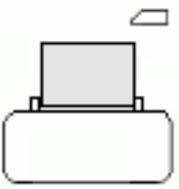
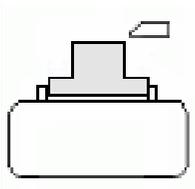
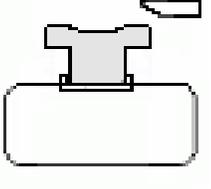
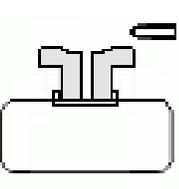
v = velocidad de corte [m/min].

f = avance [mm/rev].

d = profundidad de corte [mm].

Tabla 2.15. Ruta de trabajo de la boquilla de inyección plano 2 apéndice B.

Material en bruto 22,2x248.9x115.57 [mm] 0.874x9.7992x4.55 [in] Acero 4041.

Operación	Dibujo	Velocidad de corte (V.C.) (m/min)		Avance (mm/rev)		Observaciones	Desbaste	Acabado	AVANCE (mm/min)	RMM (mm ² /min)	T _m (min)	
		Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado							
Refrentado.		330	560	0.25 - 0.50	0.07 - 0.25	Pt= (38.1-31.8)/2 Pt= 3.15mm. (por ambos lados)	3mm m = 2 pasadas de 1.5mm	0.15mm m = 1 pasadas de 0.15mm	165 140	81675 11760	2(0.065) 0.077	
Cilindrado 1. Exterior con radios exteriores de 0.5 mm.		330	560	0.25 - 0.50	0.07 - 0.25	Pt= (31.8-16.8)/2 Pt= 7.5mm. (por ambos lados)	7mm m = 4 pasadas de 1.75mm	0.5mm m = 2 pasadas de 0.25mm	165 140	95287.5 19600	4(0.065) 2(0.077)	
Ángulo. R = 20 mm		330	560	0.25 - 0.50	0.07 - 0.25	Con un ángulo de 20° Longitud 2.1mm Diámetro 18.3mm	1mm con dos pasadas	0.5mm con dos pasadas			0.015	
Barrenos de 3/16" Diámetro.		560	560	0.075-0.15		1 barreno. Diámetro 4.7625mm					0.04	
											Tiempo	0.676

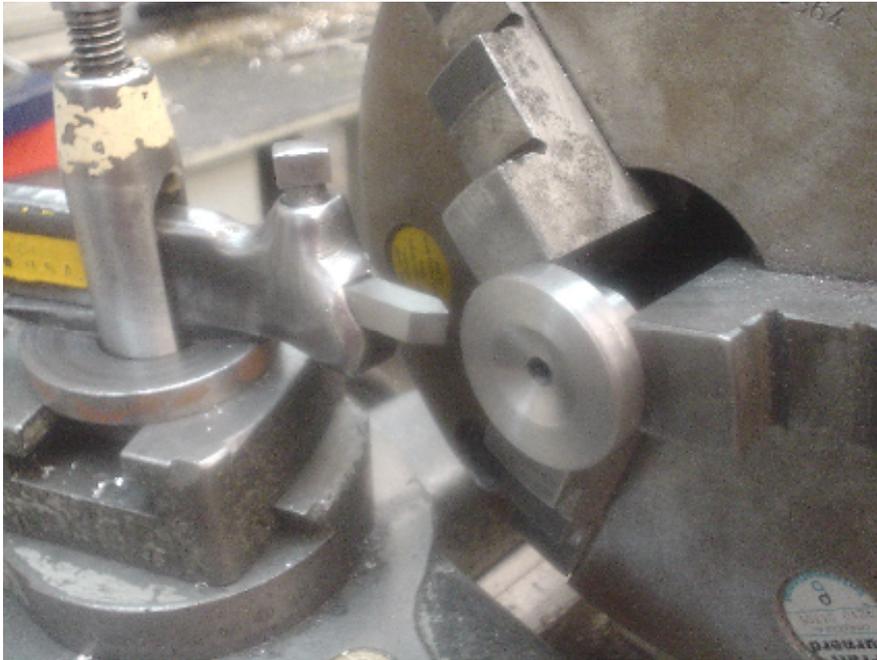


Figura 2.14. Desbaste de la boquilla en torno manual.

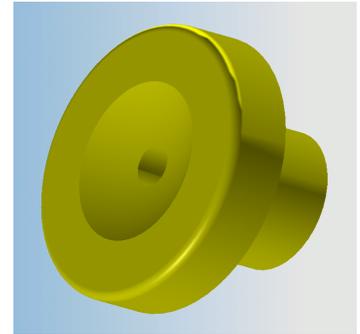


Figura 2.15. Diseño de la boquilla.

El mecanismo para la extracción de la mazarota o vela. Se maquina en el perno botador de mazarota, usando el torno para el desbaste a 4 [cm], de la punta del perno, dándole la forma de un perno de mazarota tipo cuña retráctil. Figura 2.16.



Figura 2.16. Botador de mazarota tipo cuña retráctil.

2.7. Proceso de manufactura por electroerosión.

Utilizando la máquina-herramienta ENGEMAQ EDM 440 NC, figura 2.17, se realizó el maquinado del cono de la boquilla figura 2.18, se encuadró la placa móvil y fija para colocar las cavidades inserto figura 2.19 y el corte de los pernos. Para ello se usaron los parámetros siguientes: Grado de rugosidad para desbaste tabla 2.16 y acabado tabla 2.17.

Parámetros de electroerosión. ENGEMAQ EDM 440 NC [6].

Tabla 2.16. Programación y grado de rugosidad para desbaste.

Nº Erosión	TS	TH	TON	DT	GAP	Sensibilidad	Rugosidad
4	2	0	100	55	5	8	5.2 Ra

Tabla 2.17. Programación y grado de rugosidad para acabado.

Nº Erosión	TS	TH	TON	DT	GAP	Sensibilidad	Rugosidad
3	1	0	50	55	6	8	3.0 Ra

Donde:

TON = Tiempo de duración de la descarga en microsegundos. 1 a 999 μ s.

DT = Régimen de trabajo 1 a 99%.

TS = Numero de transistores, para mecanizado de acero de grado normal.

1 TS = 3 [A].

TH = Numero de transistores, usado en erosión de micro acabado.

1TH = 0.8[A].

PROGRAMACIÓN PARA ELECTRODOS DE COBRE.

Tabla 2.18.

CONDICIÓN DE TRABAJO	INTENSIDAD DE CORRIENTE	NUMERO DE TS
Acabado – bajo desgaste de electrodo	1 a 3 [A/ cm ²]	Máximo 1 TS
Desbaste – alto arranque de material	4 a 7 [A/ cm ²]	Máximo 2 TS

GAP = distancia entre el electrodo y la pieza de trabajo.

Rugosidad = acabado relativo de la superficie mecanizada.

B = Alarma sonora 0= NO 1 = SI .

STOP = interrumpe la erosión 0= NO 1 = SI.

ZMAX = profundidad de la cavidad \pm 164 [mm].

ERO = tiempo de erosión 0.1 a 60 [s].

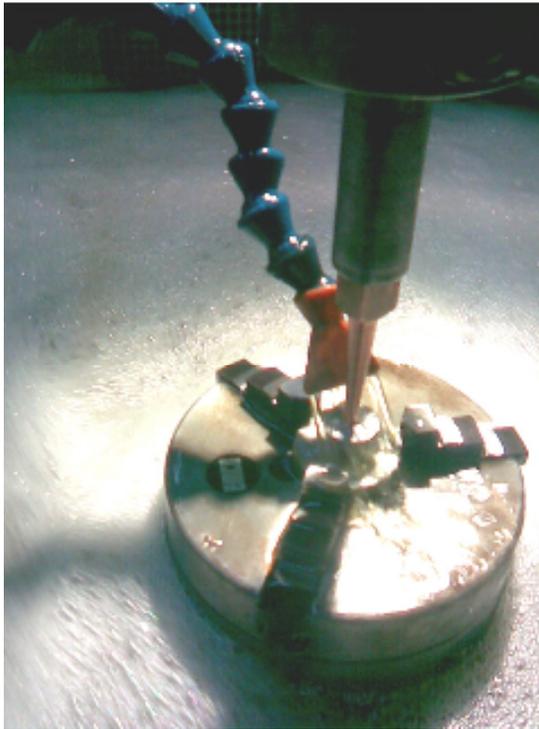
ALEJA = Alejamiento de Z 0.1 a 99 [mm].

INT= intervalo 0 a 99.



Figura 2.17. Maquina electroerosión ENGEMAQ EDM 440 NC.

Electro erosión de la boquilla para inyección de plástico de sección cónica Figura 2. 18.



(a). Diseño de la vela cónica de la boquilla.



(b) Electroerosión de una superficie cónica.

Figura 2.18. Electroerosión de la superficie cónica en la boquilla



Figura 2.19. Electrodo cuadrado de cobre.

Electroerosión de la placa fija para encuadrar los contornos para colocar los insertos. Figura 2.20.



Figura 2.20. Electro erosión de la placa fija para encuadrar los contornos para colocar los moldes intercambiables.

Electroerosión de la placa móvil para encuadrar los contornos para colocar los moldes intercambiables. Figura 2.21.

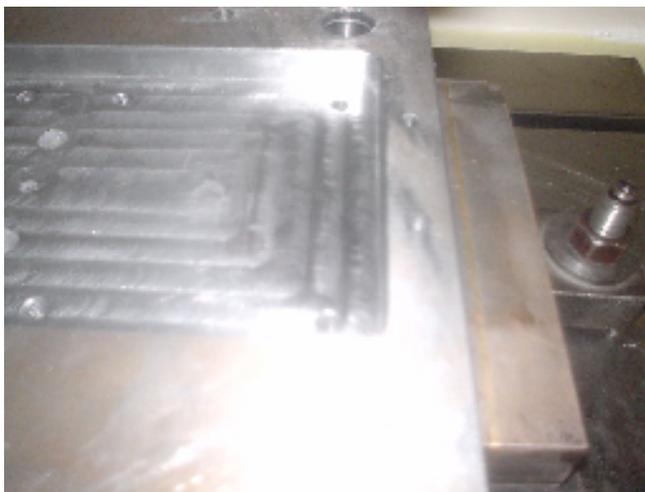


Figura 2.21. Electroerosión de la placa móvil para encuadrar los contornos para colocar los moldes intercambiables.

Corte de los pernos botadores y pernos guía y de expulsión de la colada usando electroerosión. Figura 2.22.



Figura (a).



Figura (b).

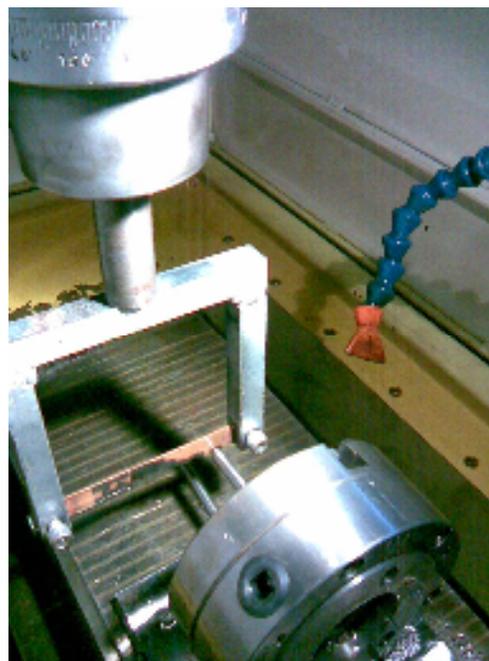


Figura (c).

Figura 2.22. Corte de los pernos botadores y pernos guía y de expulsión de la colada usando electroerosión.

Electroerosión de acabado en las caras de los pernos. Figura 2.23.

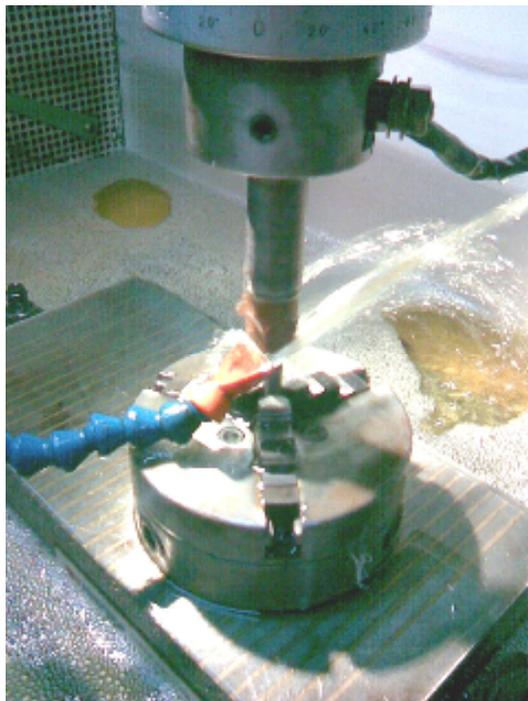


Figura (a).



Figura (b).



Figura (c).

Figura 2.23. Electroerosión de acabado en las caras de los pernos.

2.8. Ensamble del porta moldes para inyección de plástico.

En la figura 2.24 se muestra el ensamble del porta moldes para inyección de plástico,

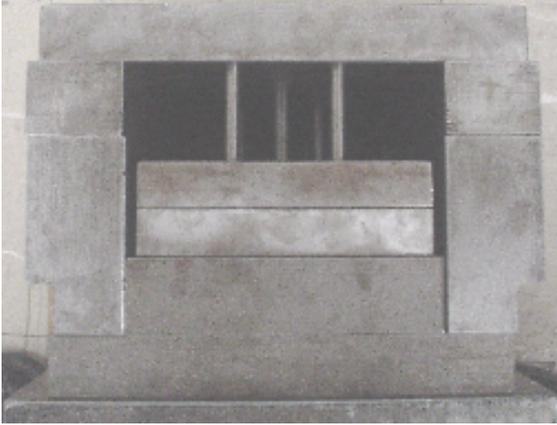


Figura (a).



Figura (b).



Figura (c).



Figura (d).

Figura 2.24. Ensamble de la placa móvil del porta moldes para inyección de plástico.

Colocación de tornillos y pernos en la placa móvil, figura 2.25.

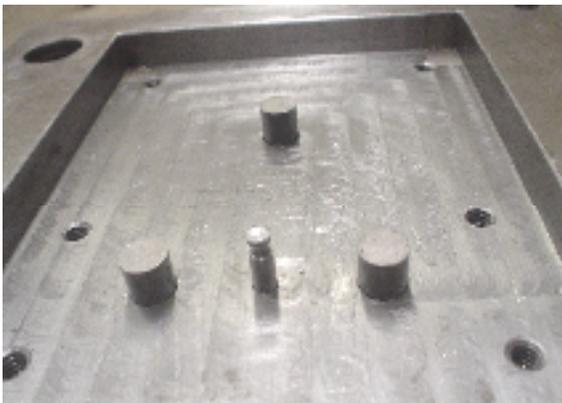


Figura 2.25 (a)



Figura 2.25 (b)

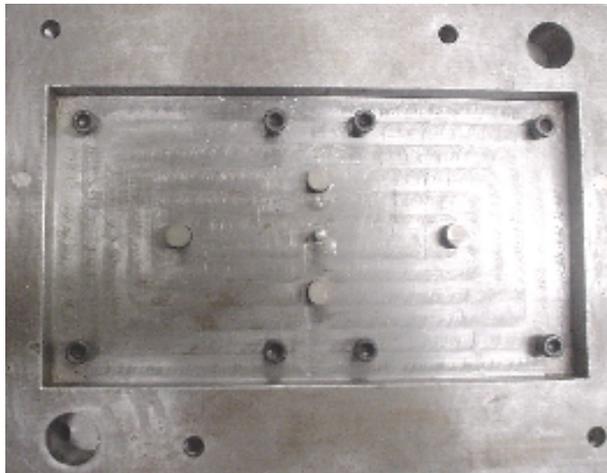


Figura 2.25 (c.)

Ensamble de anillo de centrado pernos guía boquilla y tornillos de sujeción en la placa fija figura 2.26.

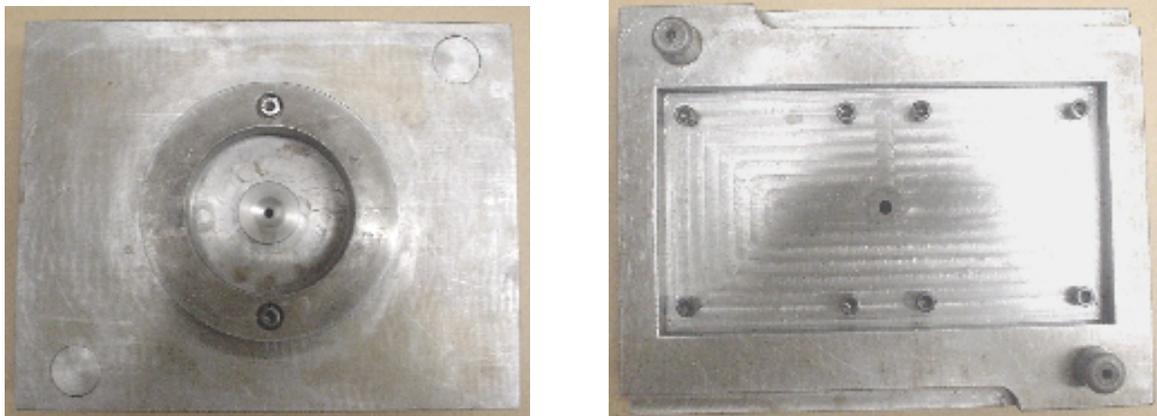


Figura 2.26.

Ensamble completo del porta moldes para inyección de plástico figura 2.27.



Figura 2.27.

Se describe cada una de las partes con las que cuenta el porta molde diseñado y fabricado:

- Tipo de molde.
- Sistema de alimentación.
- Refrigeración.
- Sistema extractor.

Tipo de molde:

El tipo de molde será de dos placas; una fija que va a estar unida a la placa móvil y a su vez es fija en la máquina de inyección de plástico. La placa móvil tiene un mecanismo con pernos botadores de pieza y pernos de retención de las placas de expulsión.

Sistema de alimentación:

Bebedero: Va a contar con una depresión en forma circular, en la cual se ajustará la boquilla de la máquina.

Canales de alimentación:

El canal elegido es rectangular, debido a que este canal es más común utilizarlo en moldes, tomando en cuenta que se consigue un desmoldeo adecuado. Y permite que el sistema de alimentación vaya en una sola parte del molde.

Sistema extractor:

El sistema extractor elegido es el ensamble de la placa botadora, que cuenta con 4 pernos botadores cada uno para una pieza o una sola pieza dependiendo del tamaño de la misma la cual será botada por los pernos.

Capítulo 3

Proceso de inyección de plástico.

3.1 Introducción.

En este capítulo se realizó como caso práctico la inyección de plástico, utilizando la máquina de inyección con la que cuenta la Facultad de Ingeniería, de la UNAM, modelo DEMAG ERGOTECH PRO 50-270, se inyectó en un molde de aluminio con la figura de un ratón, utilizando el porta molde propuesto.

3.2. Caso práctico.

Se propuso probar el porta moldes para inyección de plástico figura 3.1, como caso práctico se utilizó un molde realizado en semestres anteriores por alumnos de la asignatura de Diseño y Manufactura Asistido por Computadora, el cual se modificó para ensamblarlo en el porta molde y atornillándolo en la placa fija. Como el molde utilizado era para inyección de plástico manual tiene algunos barrenos los cuales se taparon y para ello se utilizó un rellenedor ultra ligero de resina polyester.

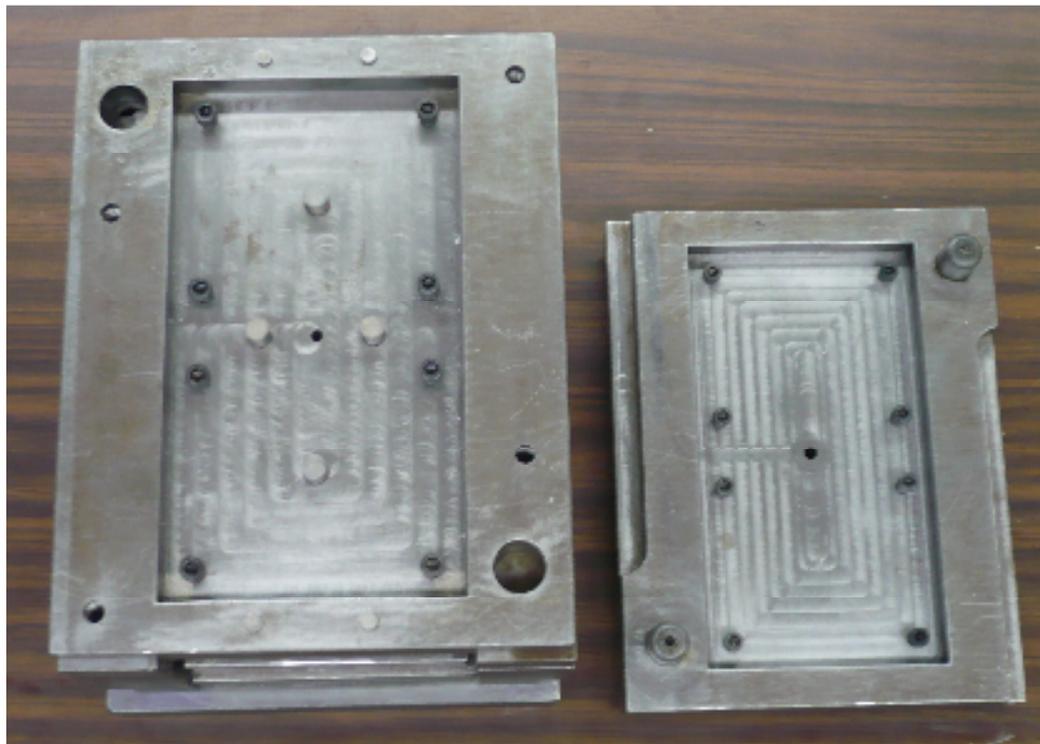


Figura 3.1 Porta molde para inyección de plástico.

Para realizar la inyección se necesitó una cavidad inserto inferior el cual se maquinó y con la forma de la figura 3.2, así como los barrenos para poder colocar los pernos botadores a 8.7 [mm] de la base, barreno de expulsión de mazarota y cajas para atornillarlo.

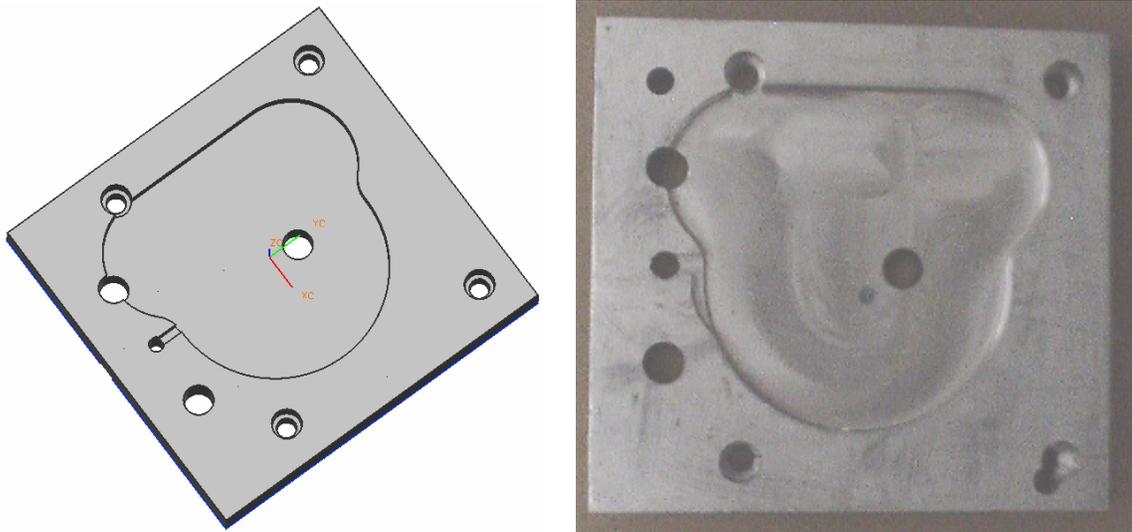


Figura 3.2 Molde inserto inferior para placa móvil.

La geometría de la pieza del ratón, a inyectar tiene una cara plana paralela a la cara superior del perno botador empleado, esta cavidad inserto inferior es colocado y atornillado en la placa móvil (ver figura 3.3).

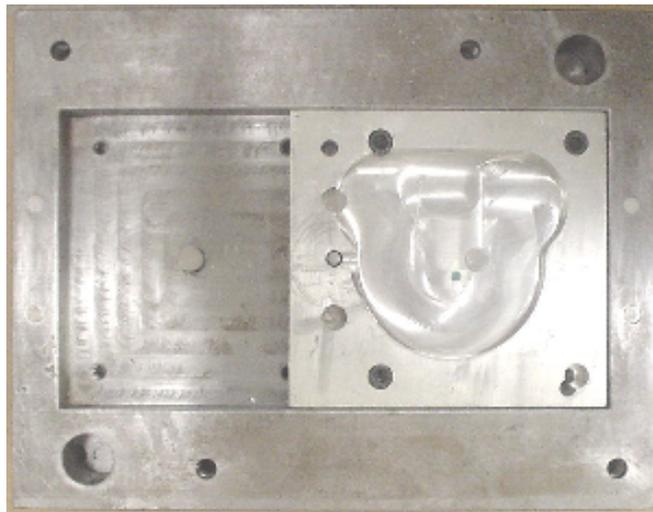


Figura 3.3 Molde inserto para la placa móvil.

La cavidad inserto superior que contiene la geometría de la cara del ratón es colocada y atornillada en la placa fija esto para no cambiar la geometría del ratón, ya que si se colocaba en la placa móvil la figura se deformaría, con esto se garantiza que la figura se conserva y solo tendrá la marca del perno botador por la parte inferior en donde no se ve (ver figura 3.4).

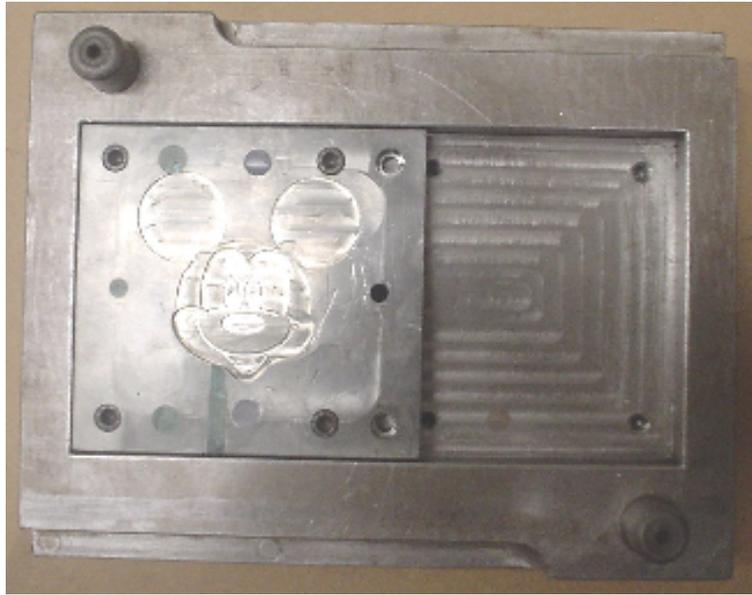


Figura 3.4 Molde inserto para la placa fija.

El volumen de la pieza del ratón.

En cada proceso se inyecta un volumen de:

- $V = 31.18 \text{ [cm}^3\text{]}$.
- $t = 7 \text{ [mm]}$.
- Polietileno (PE) como material.

3.2.1 Actividad A12232 (**Determinar fuerza de desmoldeo**):

La fuerza de desmoldeo es de $F_{expulsor} = P = 41.2 \text{ [kN]}$, y la fuerza que se necesita para desmoldear la pieza es utilizando la ecuación:

$$P = \frac{(S_t * E * A * \mu)}{\left(\frac{d^2}{2t}\right) - \left(\gamma \frac{d^2}{4t}\right)} \dots(1)$$

$$P_{PE} = \frac{(0.03)(2.6 \times 10^9)(90.76)(0.7)}{\left(\frac{(24.5)^2}{2(0.7)}\right) - \left(0.4 \frac{(24.5)^2}{4(0.7)}\right)} = 14.45 \text{ [kN]}$$

Donde:

P = fuerza de desmoldeo requerida [kN].

S_t = contracción térmica del plástico.

E = modulo elástico del plástico inyectado [kN/cm²].

A = área total de contacto entre la pieza moldeada y la cara del molde.

μ = coeficiente de fricción entre el plástico y el metal.

d = diámetro del círculo equivalente a la longitud del perímetro de la pieza moldeada alrededor el núcleo de la placa de corazón [cm].

$t =$ espesor de la pieza moldeada [cm].

$\gamma =$ coeficiente de poisson del plástico.

$F_{expulsor} = P = 41.2$ [kN]

$S_{tPE} = 0.03$ $\gamma_{PE} = 0.4$ $\mu_{PE} = 0.70$

$A = 90.76$ [cm²]

$t = 0.7$ [cm]

$d = 24.5$ [cm]

Lo anterior muestra que las piezas serán desmoldeadas, existe la duda si la fuerza de $P = 41.2$ [kN], podrá dañar a las piezas utilizando la ecuación:

Para el PE:

$$E = \frac{P * \left(\frac{d^2}{2t} \right) - \left(\gamma \frac{d^2}{4t} \right)}{(S_t * A * \mu)} \dots (2)$$

$$E = \frac{(41.2 \times 10^3) \left[\left(\frac{(24.5)^2}{2(0.7)} \right) - \left(0.4 \frac{(24.5)^2}{4(0.7)} \right) \right]}{(0.03)(90.76)(0.7)} = 7.414 [\text{MPa}] \leq E_{PE} = 2.6 [\text{GPa}]$$

Con lo anterior se afirma que no se dañará la pieza moldeada.

3.2.2 Actividad A125 (Integrar y seleccionar parámetros).

I. Parámetros del sistema mecánico finales:

1. **La línea de partición:** una línea de partición.
2. **Molde de dos placas de aluminio, placa inserto inferior de 12.7 [mm] y placa inserto superior de 12.7 [mm].**
3. **Mecanismo hidráulico para la extracción de piezas.**
4. **Fuerza de apertura:** 445 [kN] para el PE.
5. **Fuerza de desmoldeo:** 14.45 [kN] en el ensamble de expulsión, 3.6125 [kN] en cada perno botador.
6. **Medio de expulsión:** un conjunto de 4 pernos botador de pieza, ubicados en cruz; así como un perno botador de mazarota ubicado en el centro del inserto, con sus respectivas dimensiones y localizaciones.

I. Parámetros del sistema de distribución final:

1. Dimensiones de la colada, vela o mazarota:

- Altura: 15.3 [mm].
- Diámetro menor: 4.7625 [mm].
- Angulo: 3°.
- Diámetro mayor: $d_F = 6.5$ [mm].

2. **Sistema de colada:** colada fría.
3. **Diámetro del canal primario de distribución:** 3 [mm].
4. **Tipos de puntos de inyección o de entrada a la cavidad propuesto:**
Estándar o perfil rectangular.
5. **Distribución de volumen máximo:**
Para la figura 3.2 y 3.3, el volumen de la pieza del ratón es:
 $V = 31.18 \text{ [cm}^3\text{]}$.
6. **Ubicaciones de las distribuciones anteriores.** Para la figura 3.2 y 3.3. plano 12 y plano 13. *Apéndice B*.
7. **Canales de ventilación: espesor de 15 [μm].**
8. **Tiempos de inyección:** $t_{\text{inyección PE}} = 1.28 \text{ [s]}$ *figura 3.5*.

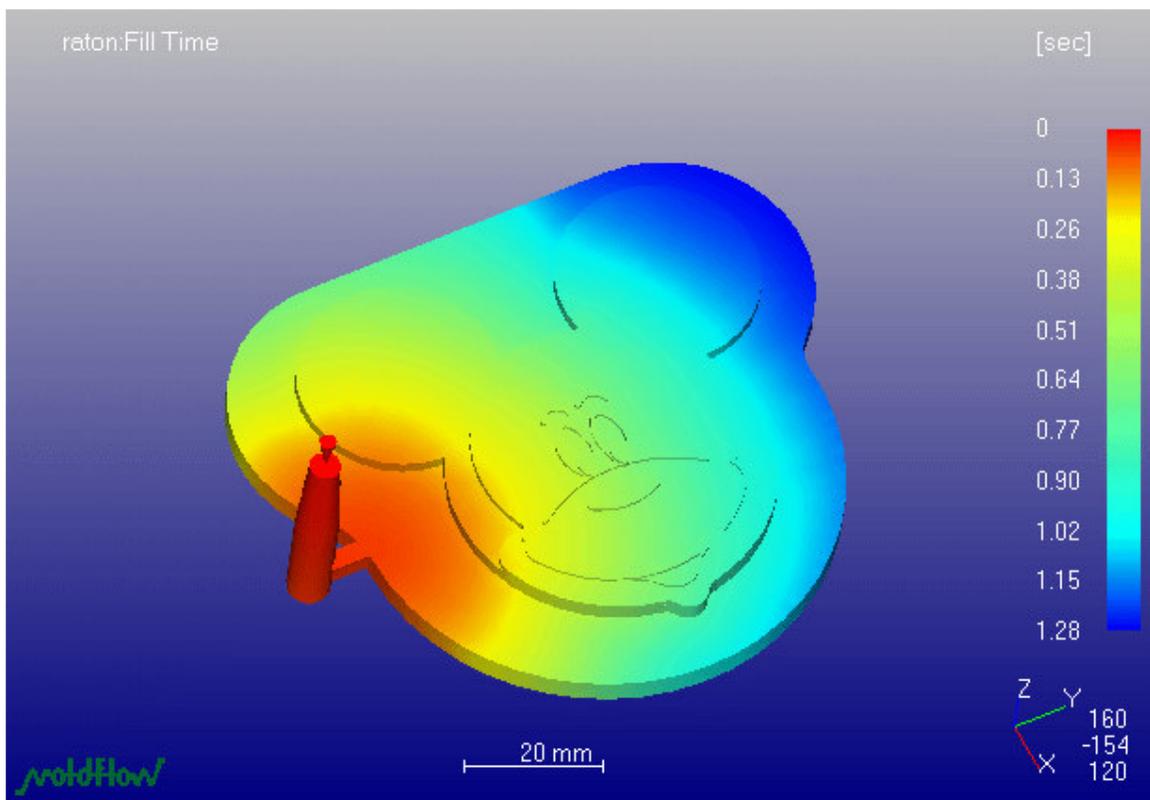


Figura 3.5. Tiempo de inyección para PE

9. **$P_{\text{inyección}} = 9.49 \text{ [MPa]}$.**

Utilizando la disposición propuesta en la *figura 1.3 (d)*, se selecciona inyectar una sola pieza, ya sea del lado izquierdo o derecho, se realiza lo siguiente:

- Se maquinó una placa intercambiable inferior de aluminio.
- Se utilizó un molde realizado en semestres anteriores en la asignatura de Diseño y Manufactura Asistido por Computadora, para adaptarlo al diseño del porta molde y colocarlo en la placa fija, se barren agujeros pasados y cajas para colocarlo como cavidad inserto de aluminio.

3.3. Generar ruta de trabajo.

El objetivo de esta actividad es generar la información necesaria para maquinar las cavidades inserto.

Dimensiones de las placas para maquinar las cavidades inserto: tabla 3.1 Placas de aluminio.

Tabla 3.1. Placas de aluminio.

Descripción.	Espesor.	Medidas.	Acotaciones.
Placa inserto inferior.	12.7	115 x 115	[mm]
Placa inserto superior.	12.7	115 x 115	[mm]

Fresado.

Utilizando solamente la máquina-herramienta CNC para realizar la manufactura de las placas inserto se obtienen los parámetros siguientes.

Tabla 3.2. Herramienta a utilizar.

Medidas (mm)	Medidas (in)	Medidas fracción (in)
26.9875	1.0625	1 1/16
9.525	0.375	3/8

Tabla 3.3. Recomendaciones generales para las operaciones de fresado [9].

Material de la pieza.	Herramienta de corte.	Velocidad de Corte. (V.C.) [m/min]
Acero de bajo carbono.	Acero rápido Desbaste.	700
Acero de bajo carbono.	Acero rápido Acabado.	600

Para calcular la velocidad de rotación del husillo se utilizó la siguiente ecuación:

$$N = \frac{v}{\pi * D} \dots(3)$$

Donde:

N = velocidad de rotación, [rev/min].

v = velocidad de corte [m/min].

D = diámetro de la fresa [m].

$$N_{Desbaste} = 700 \left[\frac{rev}{min} \right]$$

$$N_{Acabado} = 600 \left[\frac{rev}{min} \right]$$

Para calcular el avance se utilizó la siguiente ecuación 3.4.

$$f_r = N * n_t * f \dots(4)$$

Desbaste

$$f_r = 100 \text{ [mm/min]}$$

Acabado

$$f_r = 120 \text{ [mm/min]}$$

Para calcular la distancia de aproximación se utilizó la siguiente ecuación:

$$A = \sqrt{d(D - d)} \dots(5)$$

Donde:

A = distancia de aproximación [mm].

D = diámetro de la fresa [mm].

d = profundidad de corte [mm].

Desbaste	Acabado
$A = \sqrt{3(26.9875 - 3)} = 8.48[\text{mm}]$	$A = \sqrt{1(26.9875 - 1)} = 5.1[\text{mm}]$

Para calcular el tiempo para fresar la pieza de trabajo se utilizó la siguiente ecuación:

$$T_m = \frac{L + A}{f_r} \dots(6)$$

Donde:

T =Tiempo para fresar la pieza de trabajo [min].

A = distancia de aproximación [mm].

L = longitud [mm].

f_r = velocidad de avance [mm/min]

Desbaste:
$T_m = \frac{80 + 8.48}{100} = 0.885[\text{min}]$

Acabado:
$T_m = \frac{80 + 5.1}{120} = 0.71[\text{min}]$
$T_m = \frac{265 + 5.1}{120} = 2.25[\text{min}]$

Para calcular la velocidad de remoción de material se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{MRR} = w * f_r * d \dots(7)$$

Donde:

MRR = velocidad de remoción del material [mm^3/min].

w = ancho de la pieza de trabajo [mm].

f_r = velocidad de avance [mm/min].

d = profundidad de corte [mm].

Desbaste	
MRR = (80)(100)(3)	24000 [mm^3/min]
Acabado	
MRR = (80)(120)(1)	9600 [mm^3/min]
MRR = (265)(120)(1)	31800 [mm^3/min]

Taladro.

Utilizando solamente la máquina-herramienta CNC para realizar la manufactura de los insertos se obtienen los parámetros siguientes.

Tabla 3.4. Herramienta a utilizar.

Brocas ACERO DE ALTA VELOCIDAD	Medidas (mm)	Medidas (in)	Medidas fracción (in)
Placa móvil parte superior, Placa de retención de botadores (pernos de retorno).	6.35	0.246	1/4
Placa de retención de botadores, placa móvil parte superior, insertos inferior (pernos botadores de la pieza).	9.525	0.375	3/8
Placa de retención de botadores, placa móvil parte superior, inserto inferior (perno para botar la colada)	4.7625	0.1875	3/16
Placa de retención de botadores (tornillo).	6.5	0.257	F
Broca de centro	3		

Para calcular la velocidad de rotación de la broca se utilizó la siguiente ecuación:

$$N = \frac{v}{\pi * D} \dots (8)$$

Donde:

N = velocidad de rotación del husillo [rev/min].

v = velocidad de corte [m/min].

D = diámetro de la broca [mm].

$N = \frac{40}{(6.35 \times 10^{-3})\pi} = 2005.1 \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right]$
$N = \frac{40}{(9.525 \times 10^{-3})\pi} = 1336.7 \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right]$

$N = \frac{40}{(4.7625 \times 10^{-3})\pi} = 2673.47 \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right]$
$N = \frac{40}{(3 \times 10^{-3})\pi} = 4244.13 \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right]$

Para calcular el avance se utilizó la siguiente ecuación:

$$f_r = N * f \dots(9)$$

Donde:

f_r = velocidad de avance [mm/min].

f = avance [mm/rev].

N = velocidad de rotación [rev/min].

$f_r = (2005.1)(0.2)$	401.02 [mm/min]
$f_r = (1336.7)(0.25)$	334.18 [mm/min]
$f_r = (2673.43)(0.15)$	401.02 [mm/min]
$f_r = (4244.13)(0.1)$	424.41 [mm/min]

Para calcular el tiempo de maquinado para un barreno pasado se utilizó la siguiente ecuación:

$$T_m = \frac{t + A}{f_r} \dots(10)$$

Donde:

T_m = tiempo de maquinado [min].

t = espesor del trabajo [mm].

f_r = velocidad de avance [mm/min].

A = tolerancia de aproximación que toma en cuenta el ángulo de la punta de la broca, y representa la distancia que la broca debe avanzar dentro del trabajo antes de alcanzar el diámetro completo:

$T_m = \frac{13 + 2.385}{50} = 0.31[\text{min}]$
$T_m = \frac{13 + 1.953}{50} = 0.3[\text{min}]$
$T_m = \frac{13 + 1.532}{50} = 0.3[\text{min}]$
$T_m = \frac{13 + 1.877}{50} = 0.3[\text{min}]$
$T_m = \frac{13 + 1.95}{50} = 0.3[\text{min}]$

Para calcular la tolerancia de aproximación se utilizó la siguiente ecuación:

$$A = 0.5(D)Tan\left(90 - \frac{\theta}{2}\right) \dots(11)$$

Donde:

A = tolerancia de aproximación [mm].

θ = ángulo de la punta de la broca.

D = diámetro de la broca [mm].

$A = 0.5(9.525)Tan\left(90 - \frac{118}{2}\right) = 2.862[mm]$
$A = 0.5(6.35)Tan\left(90 - \frac{118}{2}\right) = 1.908[mm]$
$A = 0.5(4.7625)Tan\left(90 - \frac{118}{2}\right) = 1.431[mm]$
$A = 0.5(6.5)Tan\left(90 - \frac{118}{2}\right) = 1.95[mm]$

Para calcular el tiempo de maquinado para un agujero ciego se utilizó la siguiente ecuación:

$$T_m = \frac{d}{f_r} \dots(12)$$

Donde:

T_m = tiempo de maquinado [s].

f_r = velocidad de avance [mm/min].

d = distancia entre la superficie de trabajo y el punto más profundo del barreno ciego [mm].

$$T_m = \frac{3}{800} = 3.75 \times 10^{-3} [\text{min}]$$

Una vez que se tienen los parámetros de mecanizado, se reúnen en la hoja de operaciones.

Tabla 3.5. Ruta de trabajo de la cavidad inserto inferior de aluminio para placa móvil plano 28 apéndice B.
Material en bruto 115 x 115 x 12.7 [mm] 4.53 x 4.53 x 0.5 [in].

PROCESO	DIÁMETRO DE LA HERRAMIENTA (mm)	MATERIAL A CORTAR (mm)	SOBRE MATERIAL (mm)	PROFUNDIDAD DE CORTE (mm)	Nº PASADAS	VELOCIDAD DE CORTE (rpm)	AVANCE (mm/min)	RMM (mm ³ /min)	T _m (min)
Barrenos.									
Broca de centro para colocar 4 tornillos de ensamble y pernos, figura 3.6(a)	3	3	0			800	50		8(3.75X10 ⁻³)
Barreno para colocar 3 pernos de botado de pieza, figura 3.6(b).	9.525	12.7				1000	50		3(0.31)
Barreno para colocar Perno expulsión de colada, figura 3.6(c).	4.7625	12.7				1000	50		0.3
Barreno para colocar 4 tornillos de ensamble del inserto, figura 3.6(d).	5.1	7.468				1000	50		4(0.3)
Barreno para caja de tornillos.	9.525	4.7625				1000	50		4(0.3)
Fresado desbaste.									
Desbaste de la superficie para moldear pieza, figura 3.6(e).	26.9875	3.5	0.5	3	1	700	100	24000	0.885
Fresado fino (acabado).									
Acabado del contorno, figura 3.6(f).	26.9875	4	0	1	4	600	120	31800	4(2.25)
Acabado de la base, figura 3.6(g).	26.9875	0.5	0	0.5	1	600	120	9600	0.71
								T_m Total	14.26

Tabla 3.5. Ruta de trabajo de la cavidad inserto superior de aluminio para placa fija plano 27 apéndice B.
Material en bruto 115 x 115 x 12.7 [mm] 4.53 x 4.53 x 0.5 [in].

PROCESO	DIAMETRO DE LA HERRAMIENTA (mm)	MATERIAL A CORTAR (mm)	SOBRE MATERIAL (mm)	PROFUNDIDAD DE CORTE (mm)	Nº PASADAS.	VELOCIDAD DE CORTE (rpm)	AVANCE (mm/min)	RMM (mm ³ /min)	T _m (min)
Barrenos.									
Broca de centro para colocar 4 tornillos de ensamble y vela, figura 3.7.	3	3	0			800	50		5(3.75X10 ⁻³)
Barreno para vela, figura 3.7 (b).	4.7625	12.7				1000	50		0.3
Barreno para colocar 4 tornillos de ensamble del inserto, figura 3.7 (c).	5.1	7.468				1000	50		4(0.3)
Barreno para caja de tornillos.	9.525	4.7625				1000	50		4(0.31)
								T_m Total	2.76

3.4. Simular procesos de manufactura.

A partir de lista de operaciones, lista de procesos y parámetros de mecanizado, se realizó la simulación del proceso y operaciones de manufactura. Utilizando un programa de CAD/CAM, como: Unigraphics NX5, al simular las operaciones se pueden corregir errores que no se habían detectado en la planeación de la manufactura de las cavidades inserto.

Simulación ruta de trabajo del inserto inferior.

Se realizó la simulación de la ruta de trabajo para maquinar utilizando una broca de centro figura 3.6 (a), una broca de 1/4 para 4 barrenos pasados figura 3.6 (b), un barreno 3/16 para el perno de retención de colada figura 3.6 (c), barreno 3/8 para perno botador de pieza figura 3.6 (d), un cortador de 1 1/16 para desbaste figura 3.6 (e) y acabado de pieza figura 3.6 (f) y (g).

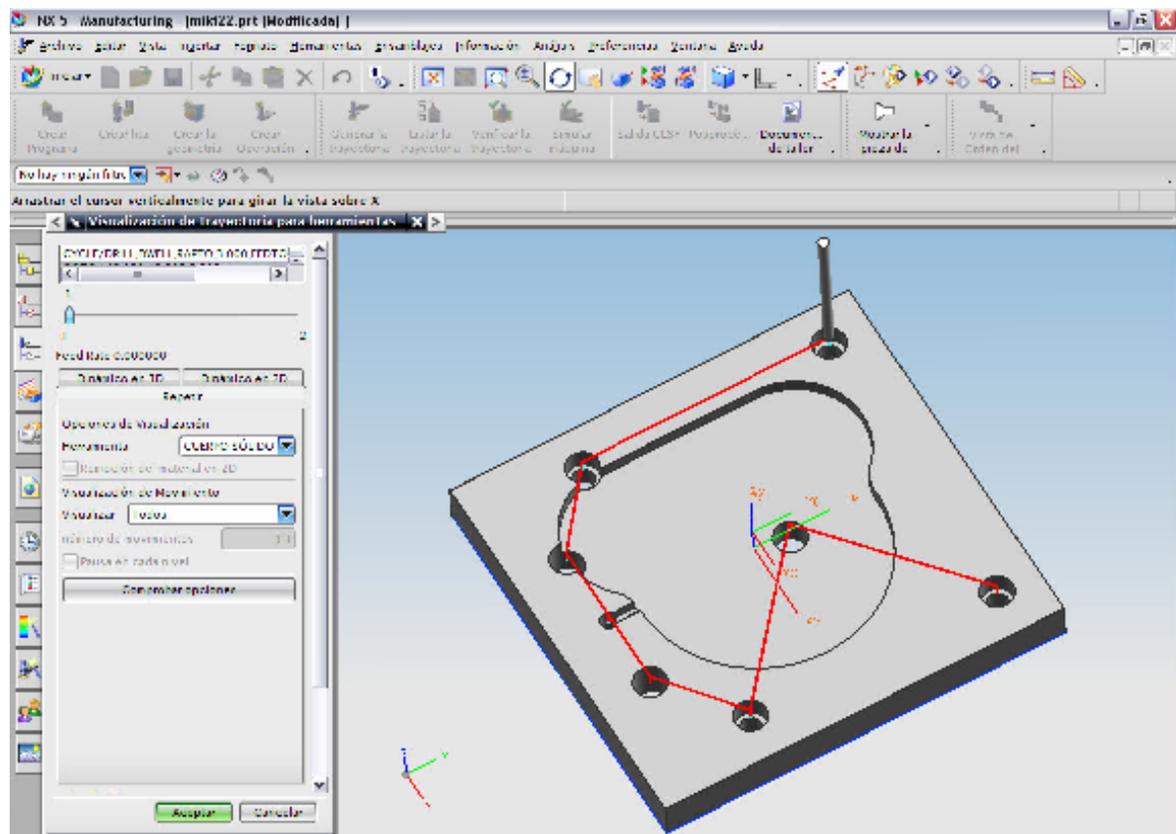


Figura 3.6 (a). Broca de centro.

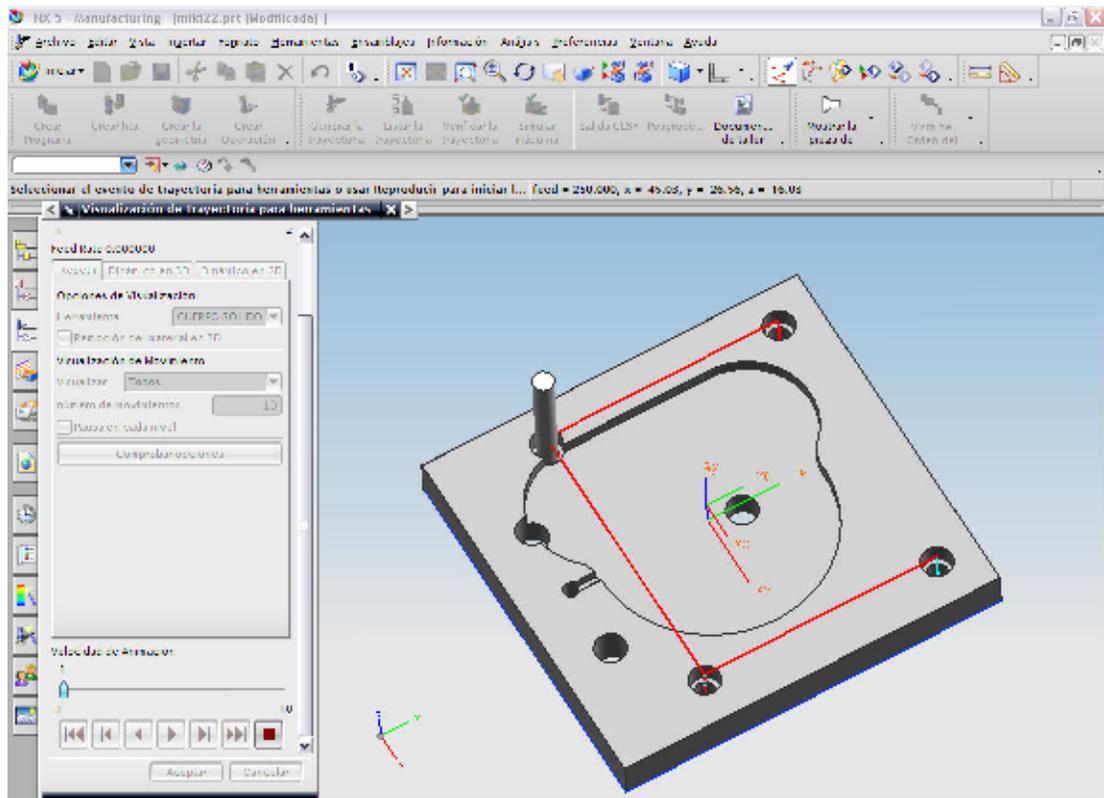


Figura 3.6 (b). Barreno pasado.

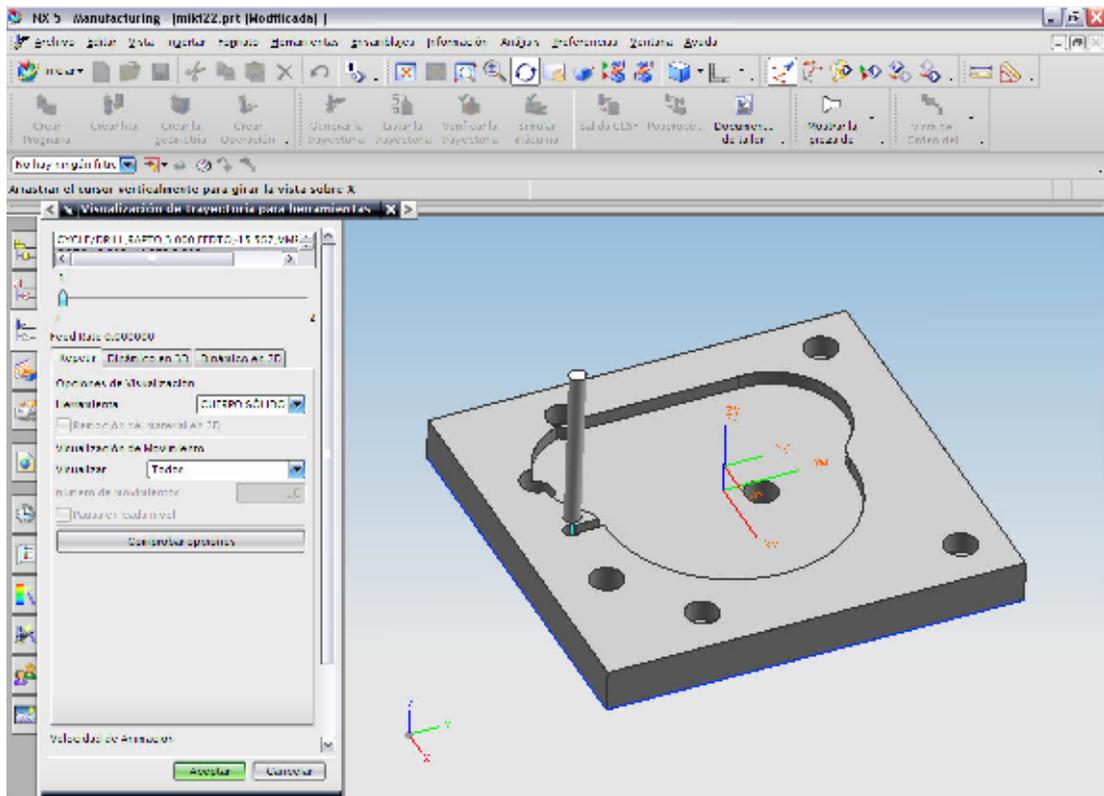


Figura 3.6 (c). Barreno pasado perno de colada.

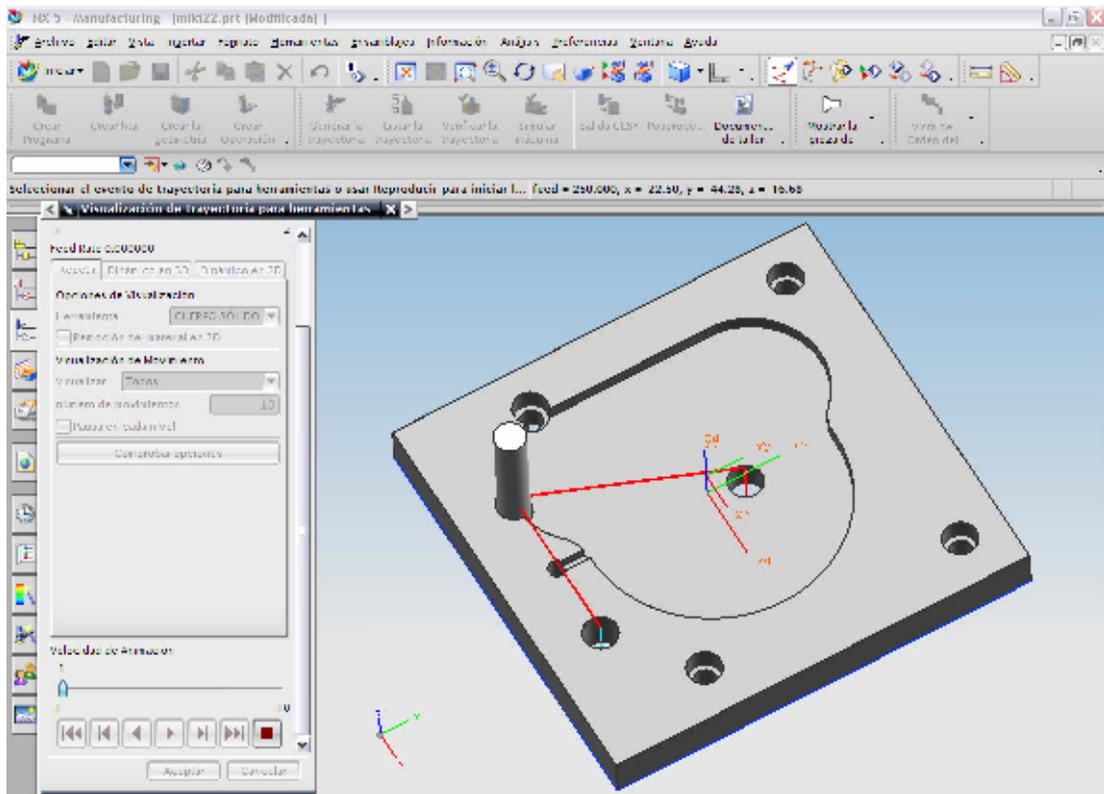


Figura 3.6 (d). Barreno 3/8 para perno botador de pieza.

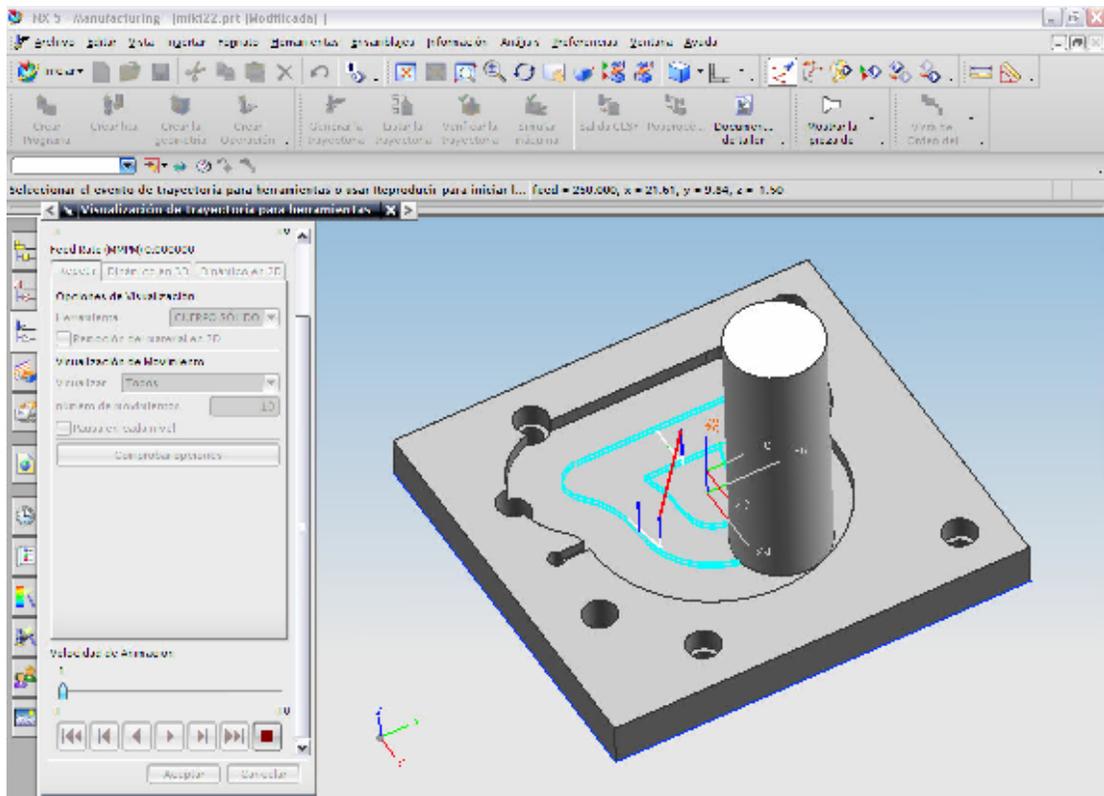


Figura 3.6 (e). Desbaste de caja.

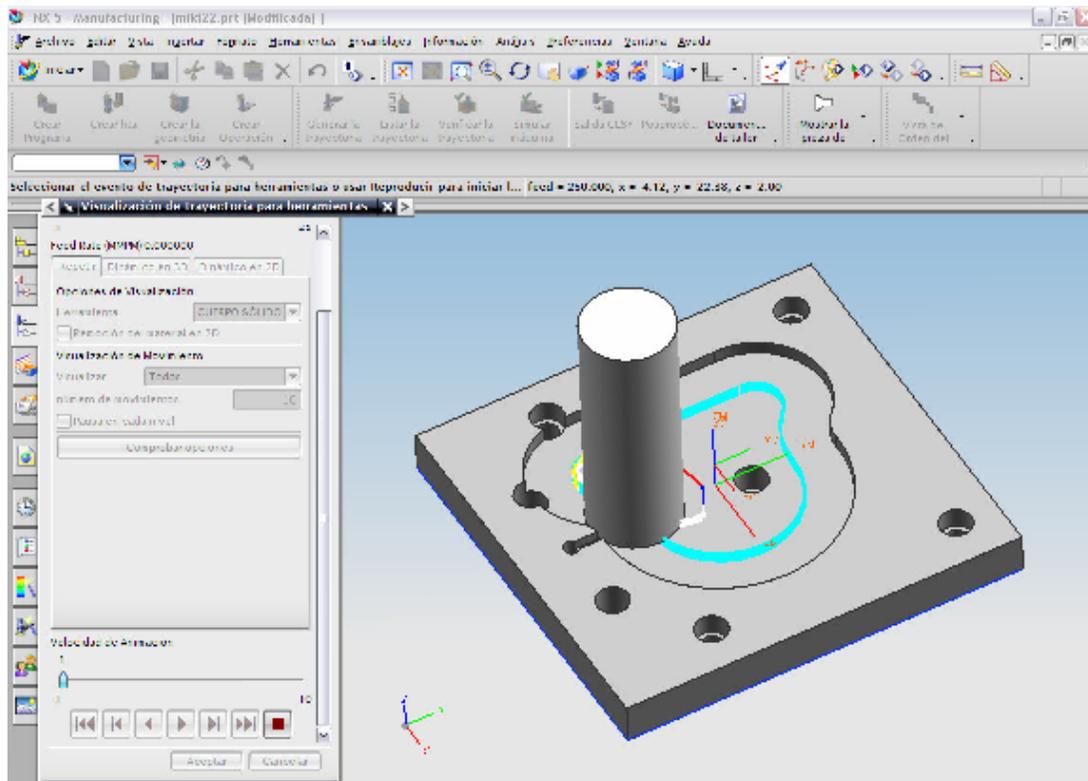


Figura 3.6 (f). Acabado de contorno.

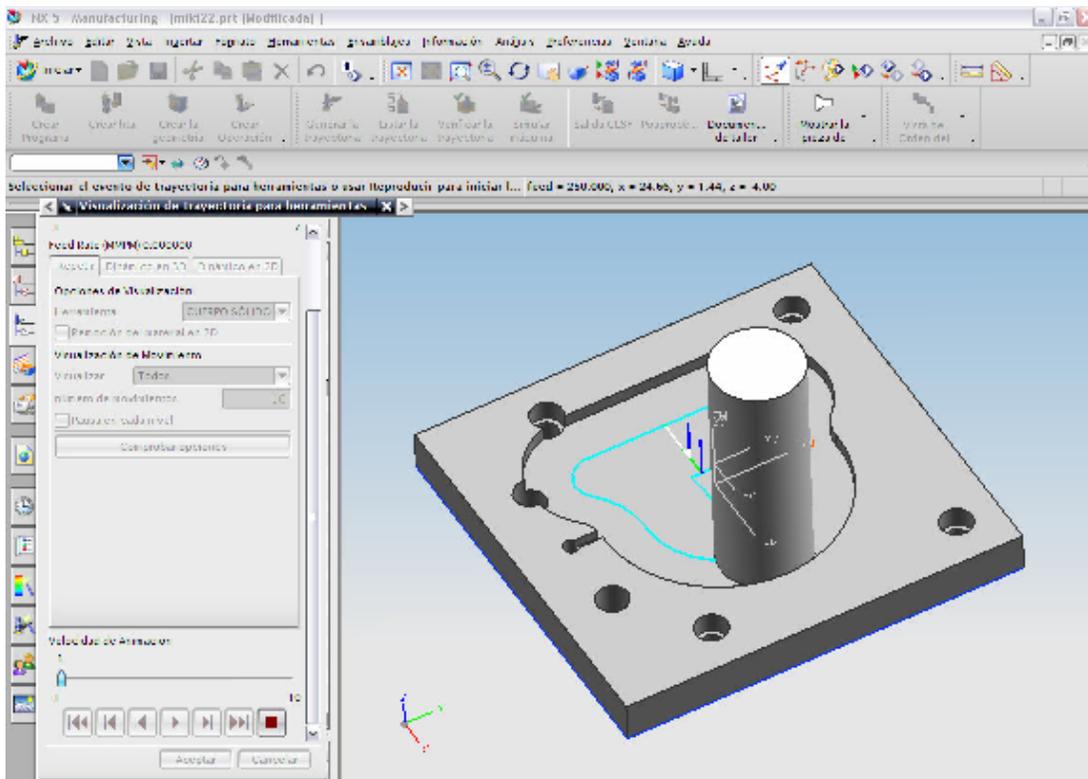


Figura 3.6 (g). Acabado de base.
Figura 3.6. Simulación ruta de trabajo del inserto inferior.

Simulación ruta de trabajo de la placa de expulsión de botadores.

Se realizó la simulación de la ruta de trabajo para maquinar utilizando una broca de centro figura 3.7 (a), una broca de 1/4 para 4 barrenos pasados figura 3.7 (b), un barreno con broca F para la vela y un cortador de 3/8 para hacer 4 cajas figura 3.7 (c).

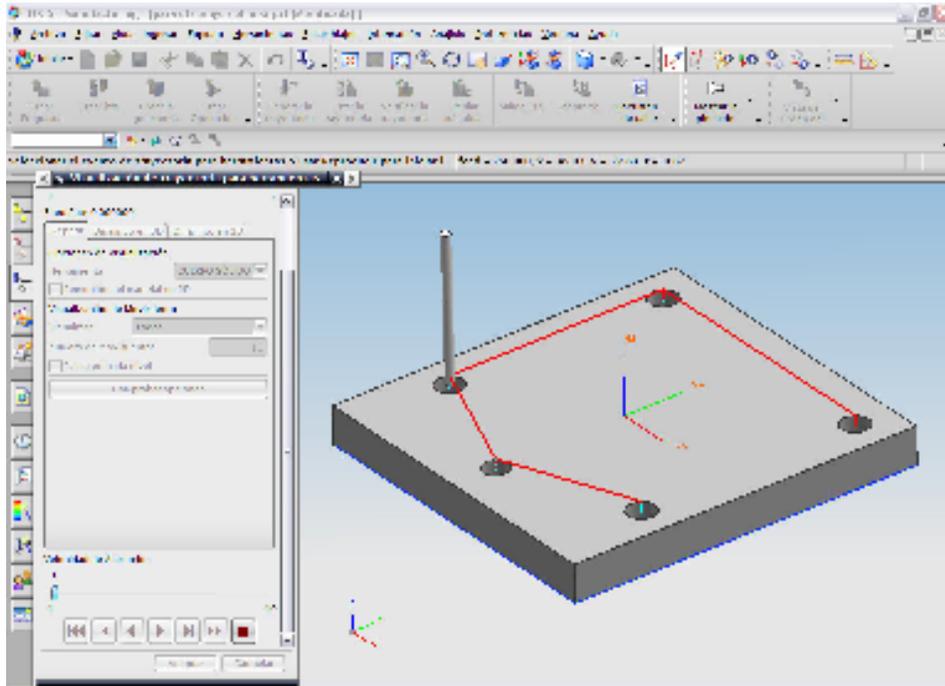


Figura 3.7 (a). Broca de centro.

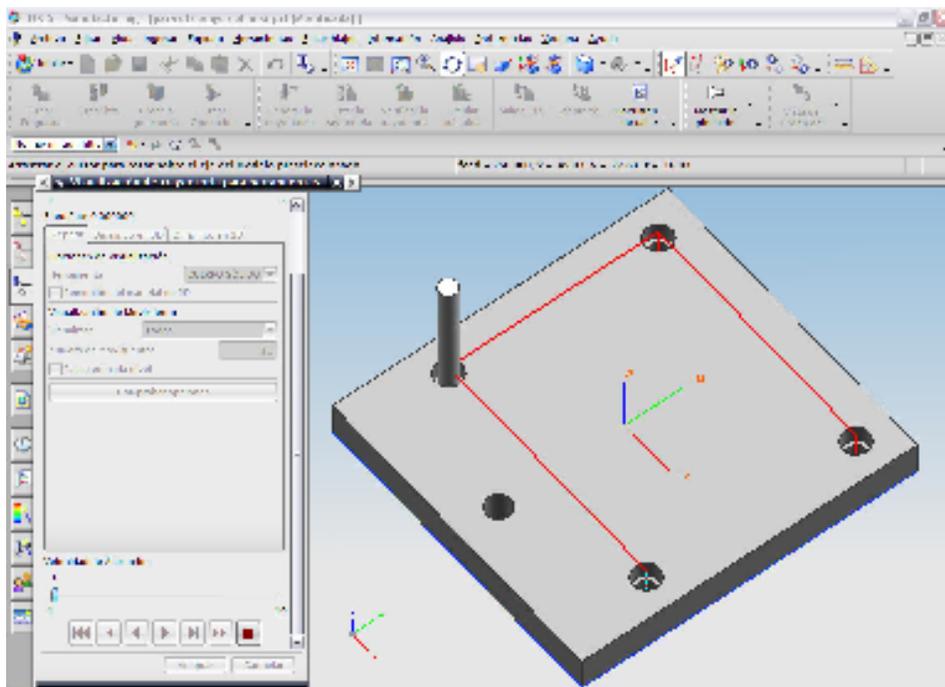


Figura 3.7 (b). Barreno pasado para colocar tornillos de sujeción de inserto.

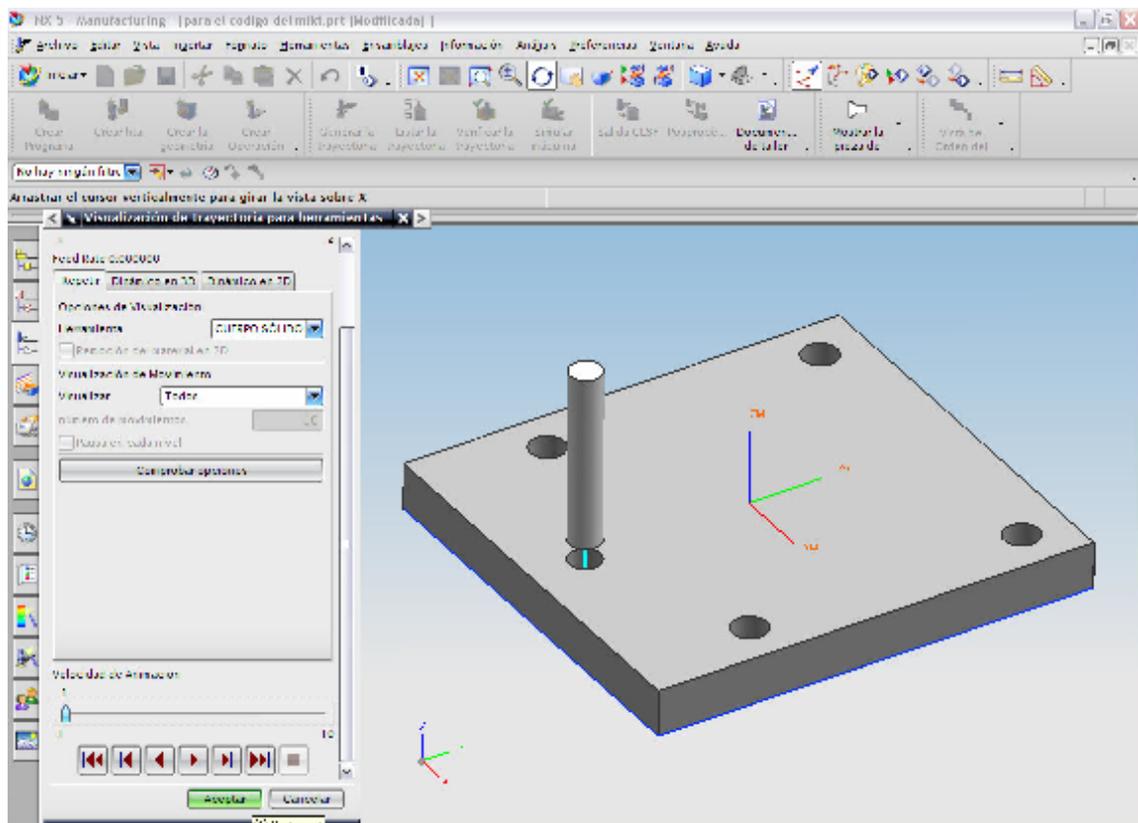


Figura 3.7 (c). Barreno pasado para vela.
 Figura 3.7. Simulación ruta de trabajo de la placa de expulsión de botadores.

3.5. Prueba de inyección de plástico.

Como el molde reutilizado era para inyección de plástico manual tiene algunos barrenos, los cuales se taparon como se mencionó anteriormente, el relleno de polyester resistió la temperatura a la que se inyectó el polietileno PE. Por lo que en la pieza final se aprecian algunas marcas del relleno de los barrenos. Figura 3. 8.

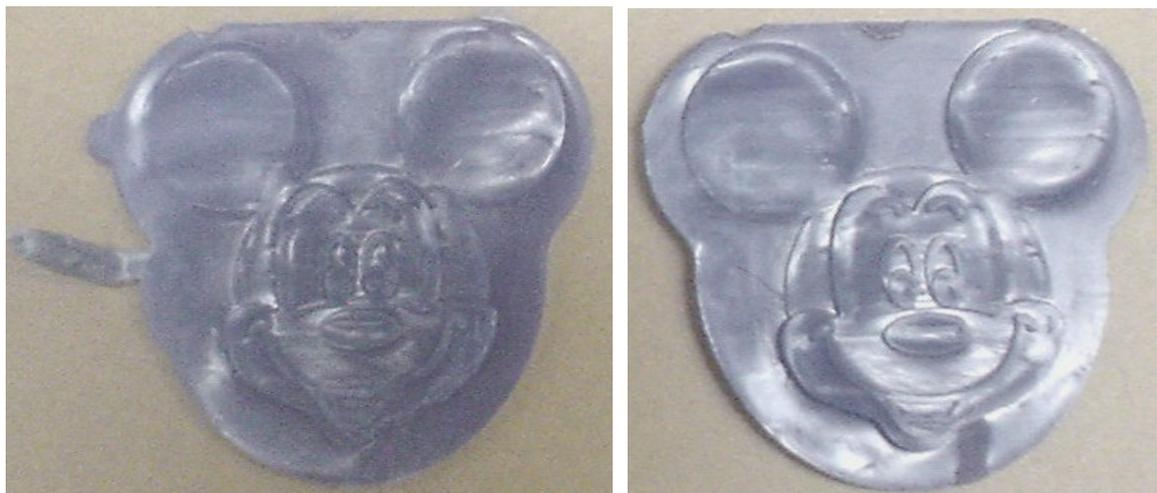


Figura 3.8. Pieza del ratón.

La pieza resulta de buen acabado y rechupes en las zonas más gruesas como las orejas. Sin embargo se encontraron algunos problemas en el molde. No corrían los pernos botadores, por lo tanto la pieza tuvo que desmoldearse manualmente, los pernos guía presentaban sobre ajuste en uno de los pernos lo que ocasionaba que el molde tuviera problemas al momento de abrir y cerrar el molde, también la altura del molde era inferior a la distancia mínima del cierre, lo que provocaba que el ciclo de inyección no se iniciara.

CONCLUSIONES.

De acuerdo a los objetivos planteados, se diseño y fabricó el porta moldes para inyección de plástico utilizando la metodología propuesta por Castelan y Tapia [1], Estos objetivos se cumplieron ya que se realizó la inyección de plástico y la pieza se moldeó, utilizando un molde maquinado en semestre anterior por alumnos de la Facultad de Ingeniería, se realizaron las modificaciones pertinentes para colocar el molde.

El contar con el porta moldes permite concentrarse sólo en maquinar las cavidades e insertos para el porta moldes, de un material fácil de maquinar, ahorrando tiempo y permitiendo a los estudiantes de la asignatura de Diseño y Manufactura Asistido por Computadora obtener de una manera rápida piezas o prototipos funcionales y así mostrar el proceso de diseño y manufactura de moldes para inyección de plástico.

Las geometrías de algunas placas es la misma por lo que el código de control numérico se reutilizaba, esto garantiza la simetría en el las piezas.

Los problemas que se tuvieron para realizar la manufactura del porta moldes para inyección de plástico son:

- Ajustar el diseño del molde con el que anteriormente se obtenían estuches de disquetes por lo que sólo se pudieron reutilizar 8 elementos de los 27 que se tenía originalmente. No fue posible reutilizar más elementos del porta molde original por que no permitían un diseño flexible como el que se propone en el trabajo.
- Al modificar el porta molde disminuyó la altura del molde, lo que provocó que la máquina de inyección no cerrara completamente impidiendo el proceso de inyección.
- Uno de los pernos guía presentó sobre ajuste en la camisa lo que ocasionaba que la máquina se jalara y esto impidiera el libre cierre y apertura del porta molde. Los 9 pernos también tenían sobre ajuste, no dejaba que el mecanismo de la placa de expulsión hiciera su trabajo, el cual era expulsar la pieza inyectada. Se solucionó barrenando la placa móvil con la broca que le corresponde a cada uno de los barrenos, por lo que sólo habrá ajuste en los barrenos de la cavidad inserto inferior.

En el desarrollo del porta molde para inyección de plástico, abarca las áreas de diseño y manufactura utilizando para el diseño y la simulación de manufactura un programa de CAD/CAM como Unigraphics NX5, para la manufactura máquinas-herramienta de código de control numérico CNC, máquinas-herramienta convencionales fresa, torno y electroerosión. Trabajo realizado durante más de 6

meses lo cual indica que en un semestre no es tan fácil realizar más de un molde para inyección de plástico de cada una de las piezas diseñadas en la asignatura de Diseño y Manufactura Asistido por Computadora, ya que sé esta en el proceso de aprendizaje por lo que este proyecto podrá ser aprovechado por futuras generaciones las cuales solamente diseñaran y maquinaran cavidades intercambiables de aluminio con ello se ahorraran tiempo, se acercaran y aprenderán conceptos acerca de los moldes para inyección de plástico.

El manejar y aprender a utilizar estas máquinas-herramienta en la elaboración del porta moldes para inyección de plástico ayudó a conocer más a fondo el área de diseño y manufactura, fomentando así mi formación en el campo de la ingeniería.

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Tesis: Metodología para el diseño de moldes para inyección de plástico (Castelan y Tapia, 2007).
- [2] Tesis: Diseño de un molde en la inyección de plástico para una portacigarreras. (González Sosa, 2002).
- [3] Larburu Arrizabalaga, Nicolas. Técnica del dibujo, libro 2. 3ª edición. Editorial Paraninfo. Madrid, 1986.
- [4] Serope kalpakjian, Steven R. Schmid, Manufactura Ingeniería y Tecnología Cuarta edición, Edid. Pearson Educación. México 2002
- [5] Groover, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna. 1ª. Edición. Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. Upper Sadle River, México, 1996.
- [6] Manual de instrucciones ENGEMAQ, EDM 440 NC.
- [7] Rossi Mario, "Máquinas-herramientas Modernas". Octava Edición, Dossat, S.A., España, Madrid, 1980, Vol. I.
- [8] Manual de Códigos para Programación de CNC de Siemens.
Manual de Programación Fanuc.
Manual de uso de Tornos Light Machine.
Manual de Programación Fagor.
- [9] Maquinas herramientas 1.
Fresado. Editorial Gustavo Gil S.A.
FPCT Formación profesional y cultural técnica.
Industria/ Metal mecánica.
- [10] Montes de Oca, Ricardo, Pérez, Isaac de Jesús, Manual de prácticas de Manufactura Industrial II, IPN-UPIICSA.
- [11] Warren J. Luzadder, P.E. Jon M. Duff, Ph. D. Fundamentos de dibujo en ingeniería.
Editorial Prentice Hall. México, 1993.
- [12] R. L. Timings. Tecnología de fabricación procesos y materiales del taller (1) Alfaomega México DF 2002.
- [13] B. H. Amstead, Phillepf Ostwaid, Myronl Bageman. Proceso de manufactura versión SI. Décima segunda reimpresión México 1997. compañía editorial continental.

[14] Stewart C. Black, Vic chiles, A. J. Lissaman y S. J. Martín. Principios de Ingeniería de Manufactura
Primera edición 1999
Compañía editorial continental S.A. de C. V. México

[15] John A. Schey, Introduction to Manufacturing Processes
Third edition Mc Graw Hill

[16] Menges, Georg. Mohren, G. *Moldes de inyección de plásticos*. 1ª Edición.
Editorial. Gustavo Gili S.A. Barcelona. 1980.

Fuentes consultadas.

[17] Leon weill. SA. [http:// www.leonweill.com.mx](http://www.leonweill.com.mx)

[18] Maquinado por electrodescarga. http://mx.geocities.com/leon_df/maq.html

[19] Manual de fresadora DE CNC TRIAC FAPUC <http://www.Gestiopolis.com>

[20] Fresadora http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/Temario2_VII.html

[21] Datos de corte. Tutoriales <http://www.chi.itesm.mx/~cim/tutor/tutor.htm>

[22] Electroerosión. http://mx.geocities.com/leon_df/maq.html

[23] <http://juliocorrea.wordpress.com/2007/08/17/iniciacion-en-control-numeric-computarizado/>