



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

**DESARROLLO DE DISEÑO CAD DE MOLDE PARA LA
INYECCIÓN DE FOAM CON APLICACIÓN EN EL SECTOR
AUTOMOTRIZ**

TITULACIÓN INTEGRAL
INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERÍA EN SISTEMAS AUTOMOTRICES

PRESENTA:
JUAN CARLOS GARCÍA MARTÍNEZ

NOMBRE DEL ASESOR:
DR. ALAN AUGUSTO GALLEGOS CUELLAR



APIZACO, TLAX., MAYO 2026



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
Departamento Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Tzompantepec, Tlaxcala, 10/febrero/2026
Departamento: Ingeniería Eléctrica y Electrónica
No. De oficio: I.E.E. /067/2026

Asunto: Liberación de Proyecto
para la Titulación Integral

LIC. CECILIA YARELLY ARREGUÍN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PRESENTE

Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación Integral:

Nombre del egresado:	JUAN CARLOS GARCÍA MARTÍNEZ
Carrera:	INGENIERÍA EN SISTEMAS AUTOMOTRICES
No. De Control:	21371112
Nombre del proyecto:	"DESARROLLO DE DISEÑO CAD DE MOLDE PARA LA INYECCIÓN DE FOAM CON APLICACIÓN EN EL SECTOR AUTOMOTRIZ".
Producto	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

M.I.E. MARIO EDUARDO LEAL LÓPEZ
JEFE DEL DEPTO. DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DR. ALAN AUGUSTO GALLEGOS CUELLAR

Nombre y Firma del Asesor

MELL/isa*

C.p. Archivo



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA
Y ELECTRÓNICA



2026
año de
**Margarita
Maza**





Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, 14/abril/2026

JUAN CARLOS GARCÍA MARTÍNEZ
EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS AUTOMOTRICES
CON NÚMERO DE CONTROL 21371112.
P R E S E N T E.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **"DESARROLLO DE DISEÑO CAD DE MOLDE PARA LA INYECCIÓN DE FOAM CON APLICACIÓN EN EL SECTOR AUTOMOTRIZ"**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar **1 USB** del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

CECILIA YARELY ARREGUÍN LARA

JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



ccp. Archivo
CYAL/gvm*



2026
año de
Margarita
Maza



Agradecimientos

Considero que con la culminación de este proyecto concluye una etapa en mi vida que da comienzo a otra, quiero agradecer sinceramente a quienes me apoyaron durante cada momento de mi formación, en especial a mis padres y mis hermanos.

Asimismo, expreso mi gratitud al Tecnológico de Apizaco por la formación recibida y por brindarme las herramientas clave para la realización de este trabajo.

De manera particular, agradezco a mi asesor, Dr. Alan Augusto, por su tiempo, orientación y apoyo durante el desarrollo de este trabajo, así como por las observaciones realizadas que contribuyeron a mejorar su calidad, además de cada docente que con su apoyo y enseñanzas contribuyeron a la base de mi vida profesional.

Gracias a todos.

Resumen

El presente trabajo describe el desarrollo del diseño CAD de un molde para la inyección de espuma de poliuretano (PUR) con aplicación en el sector automotriz. El proyecto surge ante la necesidad de estandarizar el proceso de diseño en la empresa FUNHEDI S.A. de C.V., incorporando metodologías digitales que permitan optimizar la fabricación y garantizar trazabilidad. La propuesta se fundamenta en la investigación de parámetros críticos del proceso, los cuales se mantienen en valores cercanos a:

- Temperatura del molde 40–45 °C
- Presión de cierre ≈ 1000 bar
- Formulación base PUR 70 % poliol / 30 % isocianato
- Análisis de requerimientos geométricos y funcionales del molde.

Se desarrolló un modelo 3D completo mediante software CAD, integrando cavidades, núcleo, sistemas de calefacción y componentes auxiliares, validado mediante ensamble virtual y pruebas iniciales. Como resultado, se generó la documentación técnica necesaria (planos y lista de materiales) para su fabricación. Este proyecto contribuye a la mejora de procesos en la industria automotriz, fortaleciendo la vinculación academia–empresa y promoviendo criterios de calidad, eficiencia y sostenibilidad.

Índice

Capítulo I: Introducción	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
 Capítulo II: Marco Teórico.....	5
2.1 Diseño CAD de moldes para inyección de foam	6
2.1.1 Fundamentos del diseño CAD	6
2.1.2 Elementos del molde para foam	8
2.2 Procesos de inyección de foam en la industria automotriz.....	11
2.2.1 Propiedades del foam.....	11
2.2.2 Aplicaciones del foam en vehículos.....	14
2.3 Normativas y criterios de manufactura en el sector automotriz	15
2.3.1 Normas técnicas aplicables (ISO, ASME)	15
2.3.1 Criterios de manufacturabilidad y validación	17
 Capítulo III: Metodología.....	20
3.1 Investigación técnica del proceso de inyección de foam y del material.....	20
3.1.1 Parámetros del proceso de inyección de foam	20
3.1.2 Propiedades del material aplicables a la pieza automotriz.	22
3.2 Requerimientos del molde y de la pieza	27
3.2.1 Especificaciones del Carrier o Portamolde	27
3.2.2 Especificaciones de la Pieza a Moldear: Console	29
3.3 Modelado CAD 3D	33
3.3.1 Creación del modelo 3D de cavidad y núcleo.....	33
3.3.2 Implementación de sistema de calefacción	47
3.3.3 Estructura y componentes del molde.....	50

3.3.4 Ensamblaje General.....	61
3.4 Documentación técnica.....	62
3.4.1 Elaboración de planos del molde	62
Capítulo IV: Resultados y Conclusiones	66
4.1 Resultados	66
4.2 Conclusiones.....	68
Capítulo V: Competencias desarrolladas y/o aplicadas	69
Bibliografía	71

Índice de Figuras

Figura 1.1.1. Componentes de foam moldeada en la industria automotriz	1
Figura 2.1.1 Ejemplo del modelo numérico de un objeto	6
Figura 2.1.2 Representación simple de cavidad, núcleo y pieza	8
Figura 2.1.3 Ejemplo de sistema de inyección en molde	9
Figura 2.1.4 Sistema de expulsión	9
Figura 2.1.5 Sistema de refrigeración en molde por inyección	10
Figura 2.1.6 Ejemplo de sistema de inyección en molde	10
Figura 2.2.1 Espuma de poliuretano flexible (PUR)	12
Figura 2.2.2 Espuma de poliuretano reciclada de grado AA y esponja de PU reciclada	13
Figura 2.2.3 Espuma de poliuretano en asiento del automovil.....	14
Figura 2.3.1 Logo ISO	16
Figura 2.3.2 Logo IATF.....	16
Figura 3.1.1 Polioli e Isocianato.....	23
Figura 3.1.2 Proceso de interacción de componentes	24
Figura 3.2.1 Carrier o portamolde para proyecto "console"	27
Figura 3.2.2 Dimensiones restrictivas de carrier	28
Figura 3.2.3 Modelo 3D de la pieza "Console"	29
Figura 3.2.4 Dimensiones generales de la pieza "Console"	29
Figura 3.2.5 Detalle del inserto de fechadores y trazabilidad, mostrando los selectores de fecha (día, mes, año) y los códigos de identificación de la pieza.....	30
Figura 3.3.1 Croquis del grabado para el código de trazabilidad.	33
Figura 3.3.2 Detalle del inserto de fechadores (mes y año) y trazabilidad junto con los códigos de identificación de la pieza.	34
Figura 3.3.3 Contraste entre el modelo CAD (izquierda) y la pieza física mecanizada (derecha) del fechador móvil.....	34
Figura 3.3.4 Análisis de la línea de partición del molde, definiendo las superficies de la cavidad "Lid" (rojo) y el núcleo "Bowl" (verde).....	35
Figura 3.3.5 Validación automática de la línea de partición y aplicación del ángulo de salida de 1.00° mediante la herramienta de Núcleo/Cavidad.	36
Figura 3.3.6 Superficie maestra generada para el Núcleo (Bowl), que moldeará la base de la pieza.....	36
Figura 3.3.7 Superficie maestra generada para la Cavidad (Lid), que moldeará la tapa de la pieza.	37
Figura 3.3.8 Inconsistencias geométricas y áreas incompletas en la línea de partición de superficie de bowl.....	38
Figura 3.3.9 Extensión de superficie en zona incompleta.	38
Figura 3.3.10 Recorte de la superficie para definir un borde limpio.....	39
Figura 3.3.11 superficie extendida y alisada.	40
Figura 3.3.12 Superficie de contacto con la cavidad superior.	40
Figura 3.3.13 Mitad de la superficie del Bowl después de la extensión y alisado.....	41
Figura 3.3.14 Superficie completa del Bowl tras aplicar la operación de espejo a la mitad modelada.	42
Figura 3.3.15 Superficie completa de la tapa (Lid) tras el proceso de extensión, alisado y operación de espejo.	42

Figura 3.3.16 Creación de la envolvente superficial de la tapa (Lid) que rodea la cavidad del Bowl.....	43
Figura 3.3.17 Bloque sólido de la tapa (Lid) tras la eliminación de los excedentes superficiales.	44
Figura 3.3.18 Componente Bowl tras el proceso de recorte y delimitación final, mostrado en azul para su identificación.	44
Figura 3.3.19 Ensamble preliminar de los bloques Lid (verde) y Bowl (azul)	45
Figura 3.3.20 Corte seccional del molde mostrando la pieza de foam (amarillo) alojada en las cavidades del Bowl y Lid. (a) Vista isométrica, (b) Vista frontal.....	45
Figura 3.3.21 Configuración del bloque de moldes con las dos cavidades idénticas tras aplicar la operación de espejo.	46
Figura 3.3.22 Vista del molde con el Lid removido, mostrando la disposición de las dos cavidades del Bowl.....	47
Figura 3.3.23 Diseño del circuito de calefacción para el núcleo (Bowl) en la configuración de una cavidad.	48
Figura 3.3.24 Diseño del circuito de calefacción para la cavidad (Lid) en la configuración de una cavidad. Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.	48
Figura 3.3.25 Vista transparente del ensamble del molde con dos cavidades y sistema de calefacción....	49
Figura 3.3.26 Trayectoria de la estructura tubular del chasis.....	50
Figura 3.3.27 Chasis para molde (3 x 3 x 0.12)	50
Figura 3.3.28 Acercamiento a una unión de esquina del chasis mostrando el detalle de soldadura aplicado.	51
Figura 3.3.29 Lowerframe: Base del sistema carrier.....	52
Figura 3.3.30 Lowerplatenplate: Placa móvil inferior accionada por bolsas de aire.	52
Figura 3.3.31 Lidframe: Tapa móvil superior accionada por un actuador.	53
Figura 3.3.32 Croquis dimensional del Centering Pin Macho (M).....	53
Figura 3.3.33 Modelo 3D del Centering Pin Macho, generado por extrusión de revolución.	54
Figura 3.3.34 Croquis dimensional del Centering Pin Hembra (F), diseñado a partir del Macho.	54
Figura 3.3.35 Modelo 3D del Centering Pin Hembra.....	54
Figura 3.3.36 Ensamble virtual del Centering Pin, mostrando el acoplamiento entre las partes Macho y Hembra	55
Figura 3.3.37 Componente Mold Strap 38mm, utilizado para el bloqueo y seguridad del molde durante transporte y almacenamiento.	55
Figura 3.3.38 Jackguard, asa de manejo para el transporte y manipulación segura del molde.....	56
Figura 3.3.40 Bolsa de Aire para el accionamiento y sellado de la Lowerplatenplate.	57
Figura 3.3.41 Sensor de Contacto para detección de cierre del molde.	57
Figura 3.3.42 Motor/Actuador de Bloqueo (557134 ADN-2(HS)) para el seguro del carrier.....	58
Figura 3.3.43 Tapón para Tubería 3/8 NPT.....	58
Figura 3.3.44 Abrazadera para Manguera de 1 pulgada.	59
Figura 3.3.45 Conector rápido JT-Plug.	59
Figura 3.3.46 Conector rápido JT-Socket	60
Figura 3.3.39 Componente Fluxcap, utilizado como válvula de purga y punto de drenaje en sistemas hidráulicos o de calefacción.	60
Figura 3.3.47 Vista ensamblada del molde completo, integrando todos los componentes y subsistemas modelados.....	61
Figura 3.4.1 Plano de ensamble general del molde (página 1).	63

Figura 3.4.2 Plano de ensamble general del molde (página 2).	64
Figura 3.4.3 Plano de ensamble general del molde (página 3).	65
Figura 4.1 Pieza console (a) Diseño del cliente, (b) Pruebas físicas iniciales.....	67

Índice de Figuras

Tabla 1 Resumen de requerimientos.....	31
--	----

Capítulo I: Introducción

1.1 Planteamiento del problema

En la industria automotriz, la espuma moldeada —generalmente a partir de polímeros termoplásticos como Polipropileno Expandido (EPP) o Poliestireno Expandido (EPS)— se ha consolidado como un material ampliamente utilizado para fabricar componentes interiores y estructurales (Fig. 1.1.1). Esto se debe a varias ventajas frente a materiales tradicionales, como su bajo peso, buena resistencia térmica y capacidad de absorber impactos.

Además, se ha explorado la incorporación de agentes espumantes y microesferas expansibles a temperaturas controladas como alternativas más sostenibles, ya que permiten mejorar las propiedades mecánicas de los materiales y reducir su impacto ambiental. Este enfoque refleja cómo la industria busca combinar eficiencia funcional con criterios de sostenibilidad, manteniendo la calidad y seguridad requeridas en los componentes automotrices. [1]



Figura 1.1.1. Componentes de foam moldeada en la industria automotriz

Fuente: <https://knaufautomotive.com/es/espuma-moldeada-en-la-industria-automotriz/>

Se demostró que las propiedades de este material tienen un impacto directo en el desempeño del vehículo, puede aumentar la seguridad de los pasajeros y reducir el consumo energético. Por lo que el uso y moldeo de este material en la industria automotriz ha sido muy relevante [1].

El moldeo por inyección de espuma permite fabricar piezas ligeras y resistentes al integrar una estructura celular dentro de materiales termoplásticos, lo que reduce el peso sin comprometer la rigidez del componente [2]

La empresa FUNHEDI S.A. de C.V., ubicada en Tlaxco, Tlaxcala, cuenta con experiencia en el diseño y fabricación de moldes para espuma expandida, desarrollados conforme a los requerimientos específicos de clientes del sector automotriz.

Sin embargo muchos desarrollos no están explícitamente documentados, lo que puede ser problemático para la capacitación del personal, debido a la falta de una “guía” que explique la lógica de diseño empleada, o el uso de diferentes dimensiones que están relacionadas con componentes comerciales, ante esto surge una oportunidad y necesidad de realizar un diseño de un molde de inyección de foam, documentando el proceso con claridad y explicación técnica, esto basándose en la experiencia y antecedentes de la empresa en la fabricación de este tipo de moldes.

El enfoque de este proyecto puede contribuir a la capacidad de FUNHEDI S.A. de C.V. para capacitar de mejor manera a su personal, además de responder de una manera más eficiente ante las demandas del cliente, además de que es un aporte a la estandarización y mejora continua en el desarrollo de futuros moldes.

1.2 Justificación

Este proyecto demuestra la aplicación directa de conocimientos adquiridos durante la carrera de ingeniería en sistemas automotrices, al tener diversas oportunidades de desarrollo expuesto en la industria, y al poder desarrollar un molde destinado a la industria automotriz, permite relacionar la formación académica con el entorno real o profesional.

Además de que el proyecto se fundamenta en el CAD, también se exploran conceptos relacionados en el proceso, como la inyección de foam o la manufactura de moldes, toda esa información permite identificar y aplicar conocimientos teóricos explorados en clase, de esta manera conociendo procesos y criterios técnicos aplicados en contextos de manufactura.

Desde el punto de vista económico, este proyecto y de la documentación técnica generada establece una base para que la empresa pueda realizar un análisis de factibilidad de fabricación del molde, permitiendo optimizar recursos y disminuir riesgos financieros en futuras etapas de producción.

Ambientalmente, el uso de foam, mejora la eficiencia energética con la reducción de la huella de carbono, esto debido a que su aplicación reduce el peso de un vehículo, y un auto mas ligero consume menos combustible. Además de que estos materiales poseen un potencial de ser reciclables alineándose con la sostenibilidad.

En términos generales este proyecto no solo representa un desarrollo y autoconocimiento para el practicante, sino que también ya representa un aporte en la industria, siendo un desarrollo de aprendizaje revisado y autorizado para su posterior fabricación.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Elaboración de registro de diseño CAD de un molde destinado a inyección foam en el sector automotriz, criterios de fabricación y normativas del sector, para desarrollar la documentación técnica para su interpretación durante la fabricación.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar parámetros de la inyección de foam además de las propiedades del material utilizado en la pieza automotriz.
- Analizar los requerimientos del molde y de la pieza, incluyendo dimensiones, tolerancias y posibles tratamientos o recubrimientos.
- Desarrollar el modelo 3D del molde en CAD, incorporando cavidad, núcleo, líneas de partición, canales de inyección y expulsión (sistemas auxiliares).
- Elaborar planos y documentación técnica para su posible fabricación y validación.

Capítulo II: Marco Teórico

El marco teórico constituye una base fundamental en todo trabajo de investigación, ya que permite contextualizar el problema de estudio, fundamentar los conceptos clave y establecer los antecedentes relevantes que sustentan el desarrollo del proyecto. El marco teórico "proporciona un sustento conceptual y empírico que guía al investigador en la comprensión del fenómeno estudiado y en la formulación de sus hipótesis o supuestos" [3].

En este sentido, se presenta a continuación una revisión de los principales conceptos, tecnologías y enfoques relacionados con el diseño CAD de moldes para inyección de foam, con aplicación en industria lo cual nos permite sustentar y justificar la propuesta desarrollada en este trabajo, este marco teórico se estructura en tres ejes principales que sustentan el proyecto.

- Diseño CAD de moldes para inyección de foam: Este tema aborda los fundamentos técnicos del diseño de moldes, especialmente aplicados al foam en el sector automotriz.
- Procesos de inyección de foam en la industria automotriz: Este tema contextualiza el uso del foam como material en componentes automotrices y los procesos de manufactura involucrados.
- Normas aplicables dentro del sector automotriz: En este apartado se señalan los estándares y algunas normativas de calidad que deben cumplir el proceso y productos en la industria automotriz

2.1 Diseño CAD de moldes para inyección de foam

2.1.1 Fundamentos del diseño CAD

El CAD esta funciona mediante un sistema que maneja una base de datos con elementos geométricos fuente, tales como puntos, líneas o curvas. Este software nos permite manipular dichos elementos para crear representaciones 2D o 3D, esto a través de una interfaz intuitiva. Mediante diversas herramientas de modelado el resultado generado es un modelo matemático, es decir, la representación de un objeto basada en coordenadas y fórmulas matemáticas en un espacio tridimensional, tal como se ilustra en la figura 2.1.1. [4].

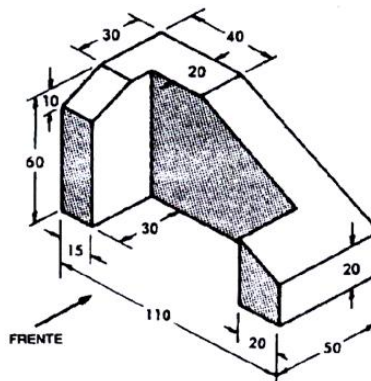


Figura 2.1.1 Ejemplo del modelo numérico de un objeto

Fuente: <https://obdelio.wordpress.com/videotutoriales/ejercicios-de-visualizacion-e-implementacion-en-cad/>

El Diseño Asistido por Computadora (CAD, por sus siglas en inglés) constituye la base tecnológica sobre la cual se desarrollan los moldes para inyección de foam en la industria moderna. No se limita a ser una herramienta de dibujo digital, sino que representa una metodología integral que permite la creación, modificación, análisis y optimización de un diseño de manera virtual antes de su fabricación física [5]. Esta aproximación sistemática, facilitada por el CAD, reduce significativamente los ciclos de desarrollo y los costos asociados a prototipos físicos.

En el contexto industrial contemporáneo, el desarrollo de proyectos metalmecánicos se realiza mediante un proceso de validación digital previo a la fabricación física.

Utilizando estas herramientas es posible traducir el modelo 3D a un objeto real, mediante CAD/CAM (Diseño y Manufactura Asistidos por Computadora), donde el procedimiento básico que se sigue es en inicio la elaboración del modelo digital dentro del software, esto para que el ingeniero o programador fija los parámetros de maquinado sobre el modelo, tales como velocidades, posiciones, movimientos, etc. Este sistema ejecuta una simulación completa del proceso de mecanizado, previniendo posibles colisiones o fallas, cuando el programador valida la simulación el software genera un código (G-code) el cual puede interpretar la maquina CNC (Control Numérico Computarizado) con el cual puede ejecutar los movimientos precisos para fabricar la pieza diseñada [5].

Los procesos de manufactura han sido una gran mejoría en la calidad de vida, facilitan la transformación de materias primas en bienes o servicios. Estos pueden partir de ser procesos simples a complejos, por ejemplo, las actividades se realizan en una herrería, hasta líneas de ensamblaje de automóviles. La manufactura es muy importante para la economía nacional, contribuyendo directamente en el PIB (Producto Interno Bruto) el cual consiste en gran parte de los bienes y servicios producidos dentro de las fronteras del país, además del desarrollo tecnológico [6].

2.1.2 Elementos del molde para foam

Un molde para inyección de foam es un sistema complejo compuesto por varios componentes fundamentales que trabajan de manera integrada para dar forma y producir la pieza final. Si bien existen adaptaciones para el material expandido, la arquitectura base se comparte con los moldes de inyección de plásticos convencionales [7]. Los elementos principales se pueden clasificar de la siguiente manera:

Placas de Sujeción y Estructura: Son las placas base que contienen y soportan todos los demás componentes del molde, asegurando su alineación y rigidez durante el proceso de inyección y cierre.

Cavidades y Núcleos: Como se puede observar en la figura 2.1.2 son los elementos que definen la geometría externa e interna de la pieza de foam. Están fabricados con aceros de alta resistencia y su acabado superficial determina el acabado final de la pieza (figura 2.1.3).

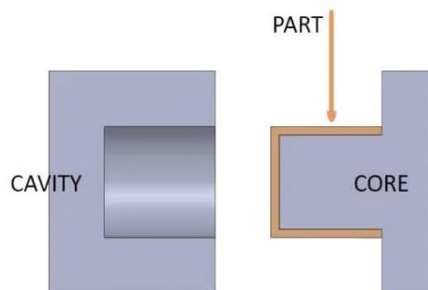


Figura 2.1.2 Representación simple de cavidad, núcleo y pieza

Fuente: <https://hitopindustrial.com/es/nucleo-y-cavidad-en-moldeo-por-inyeccion/>

Sistema de Inyección: Compuesto por la bocina (sprue), canales (runners) y compuertas (gates). Este sistema guía el material fundido o la mezcla de foam desde la máquina de inyección hasta las cavidades del molde (figura 2.1.3). El diseño de este sistema es crítico para asegurar un llenado uniforme y evitar defectos. [8]

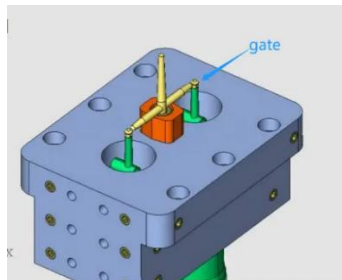


Figura 2.1.3 Ejemplo de sistema de inyección en molde

Fuente: <https://hitopindustrial.com/es/puerta-de-moldeo-por-inyeccion/>

Sistema de Expulsión: Muchos moldes, en como por ejemplo el molde permanente utiliza émbolos (ejector pins) y placas eyectoras para liberar la pieza solidificada del molde una vez finalizado el ciclo de inyección y expansión, sin dañarla. En el caso del molde de foam no es necesaria esta configuración, esto principalmente por la flexibilidad y compresibilidad del material, esto permite extraer la pieza con mayor facilidad (Fig. 2.1.4).

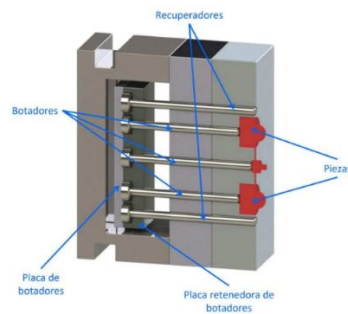


Figura 2.1.4 Sistema de expulsión

Fuente: <https://plastico.com.mx/notas/>

Sistema de Refrigeración: Una red de canales por los que circula un fluido refrigerante (generalmente agua). Su función es controlar la temperatura del molde para asegurar un ciclo de producción rápido y un curado homogéneo del material foam (figura 2.1.5).

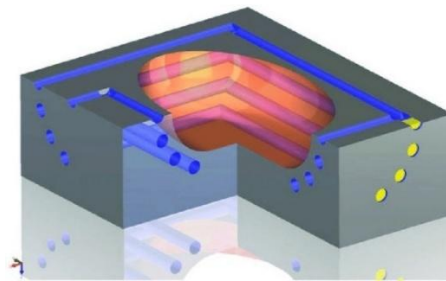


Figura 2.1.5 Sistema de refrigeración en molde por inyección

Fuente: <https://hitopindustrial.com/es/sistemas-de-enfriamiento-para-moldeo-por-inyeccion/>

Sistema de Venteo (Venting): Pequeños canales o ranuras superficiales que permiten escapar al aire y los gases atrapados en el interior del molde durante el llenado. Un venteo inadecuado puede causar defectos como quemaduras o relleno incompleto.

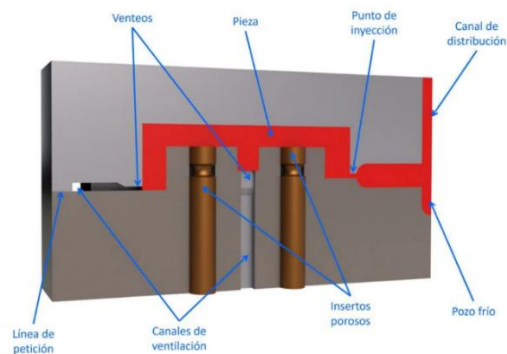


Figura 2.1.6 Ejemplo de sistema de inyección en molde

Fuente: <https://hitopindustrial.com/es/puerta-de-moldeo-por-inyeccion/>

2.2 Procesos de inyección de foam en la industria automotriz

2.2.1 Propiedades del foam

El sistema de poliuretano se basa en la reacción química entre dos componentes principales, el polioli y el isocianato, los cuales se encuentran en estado líquido bajo condiciones ambientales normales. Al combinarse, se desencadena una reacción exotérmica, es decir, que libera energía en forma de calor. Este proceso implica la formación de enlaces químicos covalentes entre las moléculas de ambos reactivos, dando lugar a una matriz polimérica sólida de alta cohesión y resistencia mecánica. [8]

Cuando el calor generado por esta reacción se aprovecha para vaporizar un agente de expansión (o "agente hinchante") incorporado en la formulación, el material resultante sufre una expansión volumétrica significativa. La evaporación del agente crea una estructura celular interna cerrada dentro de la matriz polimérica ya formada. El producto final es una espuma rígida de poliuretano (PU), caracterizada por una densidad mucho menor y un volumen muy superior al de los líquidos originales, conservando las propiedades estructurales del polímero base. [8].

El foam es utilizado en diferentes componentes del interior del vehículo, tales como paneles de puertas, techos, alfombras o asiento, este material se destaca por su flexibilidad, densidad y ligereza, cuya selección depende de su aplicación en el automóvil [9].

Un estudio útil referente al uso de este material, realizó una evaluación de foams reticulados para asientos ventilados, en donde el objetivo del material es el confort del usuario, en este estudio se compararon características como la adherencia, apariencia y flujo de aire. Sus propiedades se derivan de su estructura de polímero celular y de la completa reacción química entre sus componentes base (polisocianatos, polioles y agua) durante su fabricación [9].

Propiedades Físicas y Mecánicas:

La densidad de la espuma PUR flexible es una de sus propiedades más variables, con un rango reportado entre 10 y 300 kg/m³, lo que permite seleccionar el grado específico para aplicaciones que van desde rellenos ligeros hasta elementos de soporte de carga. El material es insoluble en agua y, en su estado curado, es estable en un amplio rango de temperaturas de servicio, desde -40°C hasta +100°C, garantizando su integridad en las condiciones extremas a las que puede estar sujeto un vehículo [10].



Figura 2.2.1 Espuma de poliuretano flexible (PUR)

Fuente: <https://www.ppdgroup.com/es/servicios-soluciones/moldeo-de-poliuretano/moldeo-de-poliuretano-flexible/>

Comportamiento Térmico e Inflamabilidad:

Aunque es un material combustible, la espuma PUR flexible presenta un punto de combustión entre 315°C y 370°C y un punto de autoencendido entre 370°C y 427°C (ASTM D 1929). En caso de combustión, genera humo denso y gases como monóxido de carbono, por lo que su uso en interiores de vehículos está sujeto a normativas estrictas de retardancia a la llama. Su energía térmica es de aproximadamente 28.000 KJ/kg [10].

Seguridad y Manipulación:

Toxicológicamente, la espuma PUR curada se considera un material seguro. No se conocen efectos adversos por contacto con la piel y la toxicidad oral es muy baja ($LD50 > 5.000 \text{ mg/kg}$ en ratas). El principal riesgo durante su procesado (como el corte o molienda) es la generación de partículas finas, que pueden causar irritación mecánica en los ojos y requieren la implementación de ventilación local y equipo de protección personal [10].

Aspectos Ecológicos y de Fin de Vida:

El material no es fácilmente biodegradable, pero es compatible con varias rutas de gestión de residuos. Los recortes y restos de producción pueden reciclarse mediante diversos métodos, y los residuos post-consumo pueden destinarse a vertederos autorizados o a incineración en condiciones controlada (figura 2.2.2). Cabe destacar que las espumas de poliuretano modernas no utilizan sustancias que dañen la capa de ozono [10].



Figura 2.2.2 Espuma de poliuretano reciclada de grado AA y esponja de PU reciclada

Fuente: https://es.made-in-china.com/co_oksponge/product_AA-Grade-Clean-Polyurethane-Foam-Scrap-and-PU-Recycle-Sponge_yuyingggghg.html

2.2.2 Aplicaciones del foam en vehículos

Las aplicaciones de este material y proceso en el sector automotriz son extensas y se categorizan principalmente en el interior del vehículo:

Sistemas de Asientos: Es la aplicación más representativa. La espuma PUR flexible, inyectada en moldes de gran tamaño, se utiliza para fabricar los colchones de los asientos. Su densidad y dureza se pueden ajustar para ofrecer un equilibrio óptimo entre confort, soporte ergonómico y durabilidad. Versiones de foam reticulado de baja densidad se emplean en sistemas de asientos ventilados para permitir el flujo de aire y mejorar la experiencia del ocupante [11].



Figura 2.2.3 Espuma de poliuretano en asiento del automovil

Fuente: <https://blog.synthesia.com/es/poliuretano-asientos-automovil>

Componentes de Confort y Acabado: La capacidad del PUR de llenar moldes con detalles complejos lo hace ideal para elementos de la cabina. Se utiliza en la fabricación de reposacabezas, apoyabrazos, rellenos de volantes y paneles de puertas. En estas aplicaciones, además del confort, cumple una función crítica de aislamiento acústico, absorbiendo y amortiguando el ruido de camino y el ruido aéreo para contribuir a un habitáculo más silencioso (NVH) [11].

Elementos de Seguridad y Absorción de Impactos: Bajo los recubrimientos interiores, se inyectan espumas semirrígidas de PUR en componentes como rellenos de salpicadero y apoyos de rodilla. En caso de una colisión, estas espumas se comprimen de manera controlada, absorbiendo

energía y ayudando a mitigar las lesiones de los ocupantes, cumpliendo con los estrictos estándares de seguridad pasiva del vehículo.

La versatilidad del proceso de inyección de PUR permite la fabricación de piezas que son a la vez ligeras, duraderas y multifuncionales, consolidándose como una tecnología fundamental para el confort, la seguridad y la calidad percibida en los vehículos modernos.

2.3 Normativas y criterios de manufactura en el sector automotriz

2.3.1 Normas técnicas aplicables (ISO, ASME)

La manufactura en el sector automotriz está regida por un estricto marco normativo que garantiza la calidad, seguridad y confiabilidad de los componentes producidos. La base de este sistema se encuentra en los Sistemas de Gestión de la Calidad (SGC), definidos como el conjunto de actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización en lo relativo a la calidad, con el fin de asegurar la satisfacción de las necesidades del cliente mediante la mejora continua de sus procesos [11].

La norma internacional fundamental que especifica los requisitos para un SGC es la ISO 9001. Esta norma se centra en todos los elementos de administración de calidad que una empresa debe cumplir para tener un sistema efectivo que le permita administrar y mejorar la calidad de sus productos o servicios [11]. Sus principios rectores, como el enfoque al cliente, el liderazgo, la participación del personal y la mejora continua, constituyen la base filosófica de la calidad en la industria.



Figura 2.3.1 Logo ISO

Fuente: <https://www.intran.mx/es/todo-lo-que-necesita-saber-sobre-la-certificacion-iso-90012015/>

Sin embargo, el sector automotriz exige un nivel de especialización mayor. Esta es la norma IATF 16949 (Figura 2.3.2) la cual es el estándar creado por la International Automotive Task Force, que se utiliza a nivel global dentro de los proveedores de la industria automotriz. Este estándar establece los requisitos particulares para la aplicación de la ISO 9001 en la producción en serie y de piezas de recambio originales en la industria automotriz [12].

Su certificación es un requisito indispensable para todos los proveedores que suministran directamente a los fabricantes de equipos originales (OEMs), así como para muchos proveedores de niveles inferiores [11].



Figura 2.3.2 Logo IATF

Fuente: <https://www.intran.mx/es/que-significa-tener-la-certificacion-iatf-169492016/>

La IATF 16949 se implementa para aumentar el nivel de calidad y optimizar los procedimientos, con el fin primordial de prevenir errores en el proceso de producción. Para lograrlo, la norma hace énfasis en el uso de un conjunto de herramientas core de calidad [12].

2.3.1 Criterios de manufacturabilidad y validación

En el sector automotriz, los criterios de manufacturabilidad y validación trascienden las buenas prácticas de ingeniería y se formalizan a través de metodologías estandarizadas globalmente. El AIAG (Automotive Industry Action Group) es el organismo que mantiene y actualiza estas reglas, asegurando los estándares de documentación, trazabilidad y desarrollo de productos y procesos [13]. Algunas de estas herramientas útiles para la validación son el APQP y el PPAP.

Planeación Avanzada de la Calidad del Producto (APQP)

Es un marco de trabajo ya estructurado para planificar y dar seguimiento al desarrollo de un nuevo producto, este implica desde la cotización del producto hasta la liberación de la producción. Esta herramienta es un requisito en la norma previamente mencionada (IATF 16949), el propósito es alinear los requerimientos del cliente con la capacidad de la empresa, determinando y garantizado el uso de herramientas y equipos adecuados.

El proceso se desarrolla en cinco fases [14]:

- Planeación del programa: Se presenta la cotización, dejando definidos los alcances técnicos y económicos del proyecto.
- Diseño y desarrollo del producto: Una vez nominado el proveedor, se presentan y congelan los modelos 3D del producto. Las negociaciones de diseño no deben exceder el 10% del concepto original.

- Diseño y desarrollo del proceso: Se definen las tecnologías y se listan los equipos de manufactura que serán invertidos, los cuales pueden permanecer como propiedad del cliente para garantizar el mercado de refacciones por hasta 15 años.
- Validación del producto y del proceso: Se ejecutan las pruebas técnicas requeridas por el cliente para asegurar que las geometrías, materias primas y métodos de ensamble cumplen con la norma. La liberación de los pagos de inversión suele depender de la aprobación de estas validaciones.
- Retroalimentación, evaluación y acciones correctivas: El área técnica del cliente define un plan de acciones correctivas y la empresa internaliza las lecciones aprendidas para futuros proyectos.

Proceso de Aprobación de Partes de Producción (PPAP)

El PPAP es el entregable formal mediante el cual un proveedor demuestra a un OEM que su proceso productivo es capaz de fabricar piezas que cumplen consistentemente con todos los requisitos de diseño y calidad. Su aprobación es a menudo un hito contractual para la liberación de pagos de inversión [13]. El PPAP se compone de 18 elementos, entre los que destacan:

- Registros de diseño y autorización de cambios de ingeniería: Para garantizar la trazabilidad y control de cualquier modificación.
- DFMEA y PFMEA: Es el análisis de fallas que se pueden presentar en el proyecto y como prevenirlo
- Plan de Control: Este documento define las actividades, así como las verificaciones, ya que con esta se protege al cliente de posibles errores.

- MSA (Análisis de Sistemas de Medición): Esta enfocada en la calibración y mantenimiento de los equipos de mantenimiento, de esta manera se mantienen precisos y confiables.
- Resultados Dimensionales: Mediante escáner 3D, CMM o medición manual se verifica que las piezas cumplen con las especificaciones geométricas determinadas.
- Capacidad de Proceso (CP/CPk): Utilizando los datos del proceso se demuestra estadísticamente la estabilidad y capacidad del proceso, donde se debe mantener un índice mínimo de 1.33 según IATF 16949.
- Part Submission Warrant (PSW): Es el documento resumen y de juicio final que libera formalmente la pieza para producción en masa [14].

La implementación rigurosa del APQP y el PPAP constituye el principal criterio de validación en la industria, asegurando que un molde o componente no solo sea manufacturable, sino que también esté respaldado por un proceso robusto, documentado y capaz de producir con calidad consistente.

Capítulo III: Metodología

El presente proyecto tiene como propósito desarrollar el diseño CAD de un molde para la inyección de foam, con aplicación en el sector automotriz. La metodología se estructura en etapas que corresponden directamente con los objetivos específicos del proyecto, permitiendo un desarrollo ordenado, técnico y orientado a resultados.

3.1 Investigación técnica del proceso de inyección de foam y del material

Se observó que el diseño de un molde solo funciona correctamente cuando se entiende bien el proceso de manufactura en el que va a trabajar y el comportamiento real del material durante la inyección. Por esta razón, la primera etapa de la metodología se enfoca en la caracterización técnica básica, ya que de aquí salen la mayoría de las decisiones posteriores del diseño. Después de revisar el proceso con el asesor y la información técnica disponible, el análisis se concentró en dos puntos principales: los parámetros de operación del moldeo y las propiedades del foam de poliuretano (PUR) que se utilizará para fabricar la pieza.

3.1.1 Parámetros del proceso de inyección de foam

Se observó que el proceso de inyección de foam de poliuretano (PUR) es muy sensible a cualquier cambio en sus parámetros de operación. A diferencia de otros procesos más estables, estos valores no se pueden tomar como universales, ya que cada molde y cada pieza se comportan de manera distinta. Por esta razón, después de que el tooling está terminado, los parámetros se ajustan de forma empírica durante las pruebas iniciales del molde.

El objetivo de estos ajustes es encontrar un punto de trabajo que permita que la cavidad se llene por completo, que el material expanda y cure de forma adecuada y que la pieza cumpla con

los requisitos dimensionales y de acabado superficial. Al mismo tiempo, se busca reducir la aparición de defectos y evitar ciclos innecesariamente largos.

Basado en el conocimiento recopilado en la industria, los parámetros críticos a controlar durante las fases de puesta a punto (start-up) y producción son [18]:

- Temperatura del molde: Influye directamente en la velocidad de reacción y en el comportamiento del flujo del material dentro de la cavidad. De acuerdo con la información técnica revisada y la orientación del asesor, para espumas de PUR el rango de trabajo común se encuentra entre 40 °C y 45 °C. Temperaturas por debajo de este rango pueden provocar un curado prematuro del material, lo que deriva en un llenado incompleto, mientras que temperaturas más elevadas pueden afectar el material y generar defectos en el acabado superficial de la pieza.
- Presión de Cierre del Molde: Corresponde a la fuerza necesaria para mantener el molde completamente cerrado durante la inyección y expansión del foam, contrarrestando la presión interna generada por el material. En el sistema considerado, este cierre no se realiza de manera hidráulica convencional, sino mediante una bolsa de aire que eleva el bowl y asegura el contacto entre las mitades del molde. De acuerdo con la información proporcionada por el asesor, para el dimensionamiento inicial se toma como referencia un valor cercano a los 1000 bares. Un cierre insuficiente puede provocar la apertura parcial del molde y la aparición de rebabas en la línea de partición.
- Tiempo de Curado en Molde: El tiempo de curado no se determina únicamente a partir de valores teóricos, sino que se define con base en criterios técnicos y en la experiencia acumulada en procesos similares. Este tiempo corresponde al periodo

necesario para que la espuma alcance la estabilidad dimensional requerida para ser expulsada sin presentar deformaciones. Una selección inadecuada de este parámetro puede impactar directamente tanto en la calidad final de la pieza como en la duración total del ciclo de producción.

3.1.2 Propiedades del material aplicables a la pieza automotriz.

La definición de las propiedades del material para la pieza analizada en este proyecto parte de una especificación técnica acordada con el cliente. Bajo este esquema, la empresa recibe los requerimientos principales que orientan la formulación del poliuretano (PUR) que será utilizado en el proceso.

Para la pieza objetivo, el cliente establece un peso final específico como un parámetro fijo y de alta relevancia. Este valor se toma como referencia para determinar la cantidad de material que debe inyectarse en el molde y, a partir de ello, se controla la densidad final que alcanzará la espuma de foam.

Para alcanzar un peso especificado (definido por el cliente), la formulación base del PUR considera una proporción de mezcla de 70 % de polioliol y 30 % de isocianato (figura 3.1.1). No obstante, esta relación no se toma como un valor rígido, sino como una variable del proceso que puede ajustarse de manera controlada.

Estos ajustes responden tanto a requerimientos particulares del cliente, como cambios en la rigidez de la pieza o en la velocidad de reacción del material, como a la necesidad de corregir comportamientos observados durante el moldeo, por ejemplo, problemas de llenado o de flujo dentro de la cavidad. [18]



Figura 3.1.1 Poliol e Isocianato

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Polyether-polyol-PU-foam-raw-material-62020152093.html>

El procedimiento se ejecuta de la siguiente manera (figura 3.1.2):

Prueba de molde foam

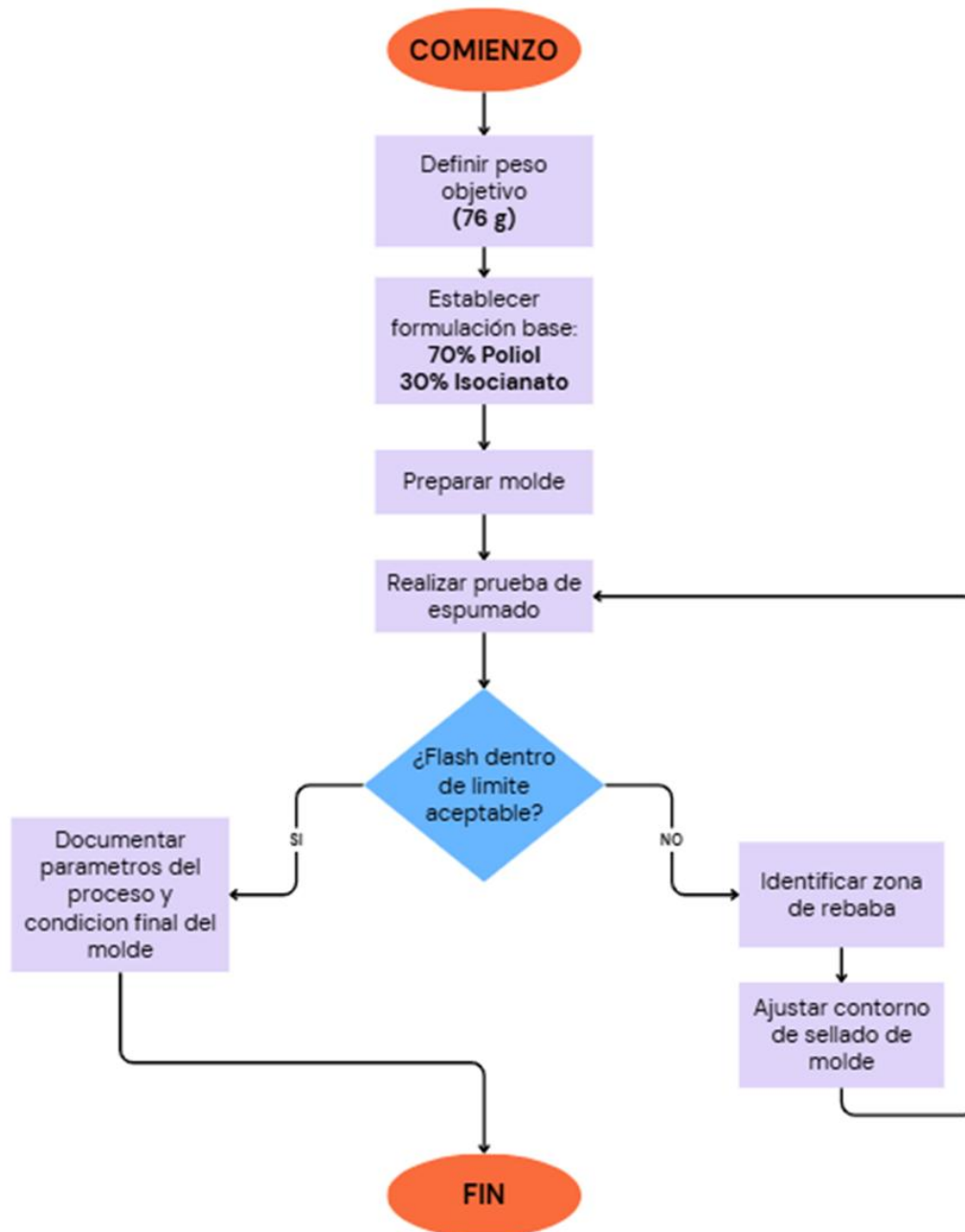


Figura 3.1.2 Proceso de interacción de componentes

Fuente: creación propia

Explicación del flujo:

- Inicio: El procedimiento inicia fijando el peso objetivo definido para la pieza, esto es de acuerdo al cliente
- Formulación Base: Se establece la mezcla 70% Polioli / 30% isocianato según el peso solicitado, se mantiene esta proporción constante durante las pruebas.
- Preparación y moldeo: Se prepara el molde a temperatura de operación (~45 °C), mezclando correctamente los componentes y aplicando dentro de la cavidad rápidamente para cerrar el molde.
- Evaluación: Se verifica si la pieza resultante genera flash dentro del perímetro del molde.
- Bucle de Ajuste: Si no cumple, se regresa para ajustar EMPÍRICAMENTE la formulación (porcentajes de polioli/isocianato) y/o un ajuste en el contorno de sellado del molde mediante desgaste manual. Posteriormente se repite la prueba para evaluar nuevos resultados, este ciclo es iterativo y empírico, se le llama “ajuste de molde”.
- Validación: Una vez se cumplan las especificaciones, el proceso se da por validado y se documenta la condición final del molde para la entrega al cliente.

Material del Molde:

Para los bloques de cavidades y núcleos (Lid y Bowl), se seleccionó aluminio 7075 (Fig. 3.1.3) ya que esta aleación cuenta con una alta resistencia por su contenido de zinc, muy útil para piezas altamente tensionadas, entre sus ventajas están:

- Resistente y ligero
- Buena resistencia a la fatiga
- Fácil de mecanizar
- Excelente estabilidad dimensional



Figura 3.1.3 Placas de aluminio 7075

Fuente: <https://www.forja-de-aluminio.com/Noticias/Bloques-forjados-de-aleacion-de-aluminio.html>

3.2 Requerimientos del molde y de la pieza

El diseño conceptual de un molde de inyección parte de la relación entre tres elementos principales: la plataforma donde se monta el molde, la geometría de la pieza a fabricar y los requerimientos propios del proceso. En este apartado se describen estos aspectos aplicados al molde de la console.

3.2.1 Especificaciones del Carrier o Portamolde

En la Fig. 3.2.1 se muestra el carrier o placa portamolde, un componente estandarizado y reutilizable que funciona como la interfaz mecánica y térmica entre la máquina de inyección y el molde. Su función principal es alojar los insertos o bloques que contienen las cavidades, además de proporcionar el soporte estructural y permitir la integración de sistemas auxiliares, como los conductos de calefacción.

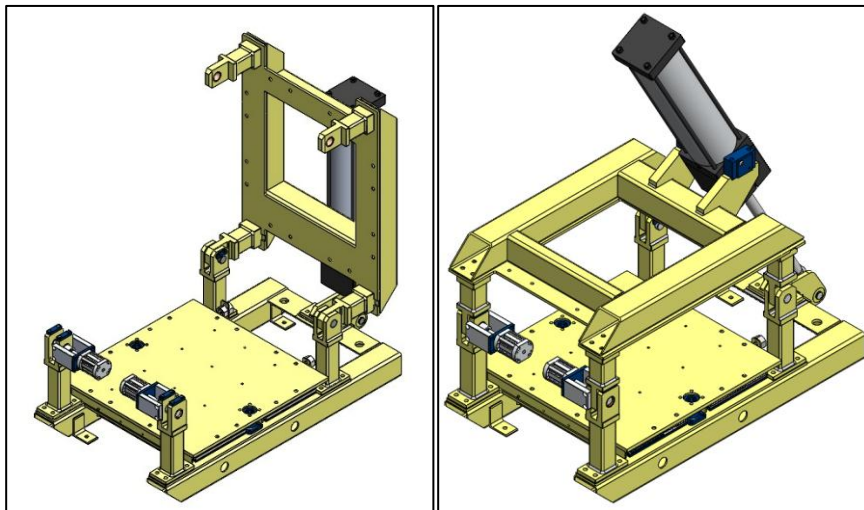


Figura 3.2.1 Carrier o portamolde para proyecto “console”

Fuente: Documentación interna de Funhedi S.A. de C.V., 2024).

Las dimensiones generales del molde se definen a partir de las dimensiones de la cavidad del carrier proporcionado por el cliente, con el objetivo de asegurar un ajuste correcto y un acoplamiento adecuado a los sistemas de calefacción y sujeción.

Como se muestra en la Fig. 3.2.2, el área indicada corresponde al espacio útil o “huella” máxima disponible para el diseño del bloque de cavidades del molde. Este perímetro cuenta con un área aproximada de $462,230 \text{ mm}^2$ y una altura máxima de 394 mm, lo que representa la principal restricción geométrica del diseño. A partir de estos límites, el conjunto del molde debe configurarse de manera que permita la correcta instalación dentro del carrier, optimizando la distribución de las cavidades (Lid y Bowl) y de los sistemas auxiliares dentro del volumen disponible.

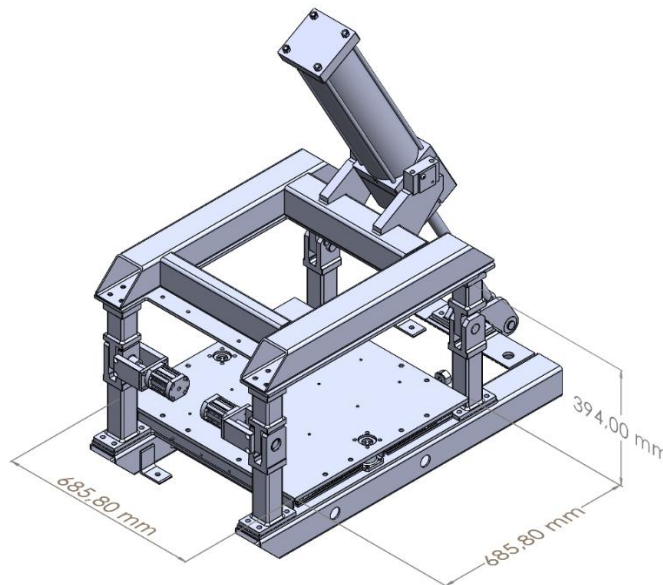


Figura 3.2.2 Dimensiones restrictivas de carrier

Fuente: Documentación interna de Funhedi S.A. de C.V., 2024).

3.2.2 Especificaciones de la Pieza a Moldear: Console

La pieza objetivo corresponde a un componente de la consola central del vehículo, ubicado entre los asientos delanteros (Fig. 3.2.3 y Fig. 3.2.4). El molde se plantea para producir esta pieza mediante una configuración de dos cavidades, las cuales representan las dos mitades estructurales de la consola:

- Cavity "Lid": Corresponde a la tapa o parte superior de la consola.
- Cavity "Bowl": Corresponde al cuerpo o base de la consola.

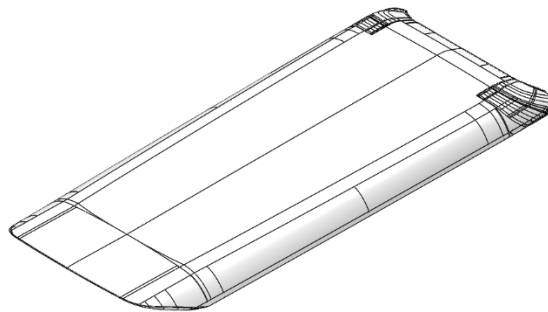


Figura 3.2.3 Modelo 3D de la pieza "Console"

Fuente: Documentación interna de Funhedi S.A. de C.V., 2025.

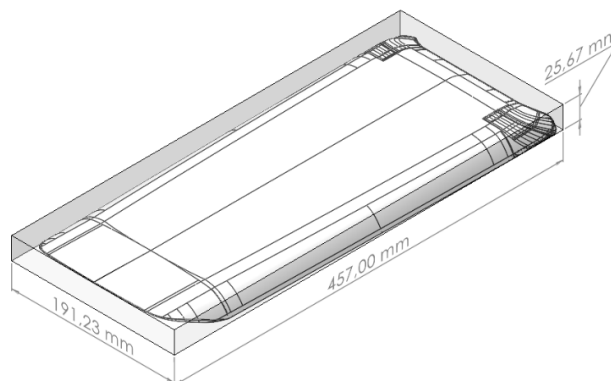


Figura 3.2.4 Dimensiones generales de la pieza "Console"

Fuente: Creación propia basada en documentación interna de Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Fechador/Trazabilidad

Un aspecto importante del diseño es la incorporación de un inserto destinado a fechadores y trazabilidad, cuyo diseño e integración en el molde se describen con mayor detalle en la sección 3.3.1. Este elemento se monta directamente en el molde y permite marcar la pieza de foam durante el proceso de moldeo, facilitando el control de lote, fecha de producción u otra información relacionada con la trazabilidad. Este sistema representa un requerimiento clave de calidad establecido por el cliente.

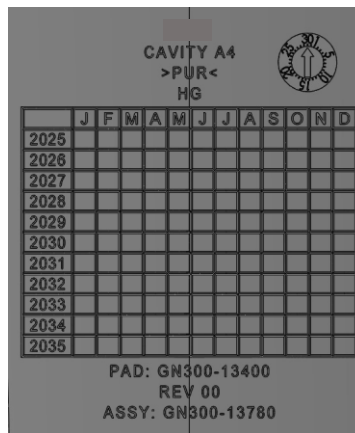


Figura 3.2.5 Detalle del inserto de fechadores y trazabilidad, mostrando los selectores de fecha (día, mes, año) y los códigos de identificación de la pieza.

Fuente: Documentación interna de Funhedi S.A. de C.V., 2025.

La imagen del inserto (Fig. 3.2.5) muestra su diseño, el cual incluye:

- Fechador Completo: Un sistema de marcas que indica el día (en la esquina superior derecha), mes (representado por la tabla central con las iniciales de cada mes) y año (en la columna de la derecha, que abarca de 2026 a 2036).
- Información de la Pieza y Molde: Textos y códigos como CAVITY A1, >PUR<, HG, PAD: GN300-13400 y ASSY: GN300-13780. Estos cumplen con la

nomenclatura del cliente para identificar la cavidad, el material, y las referencias específicas del producto y ensamble.

- Control de Revisiones: La leyenda REV 00 permite llevar un control de las versiones del propio inserto o del molde.

Este sistema permite que cada pieza producida pueda identificarse con su lote y fecha de fabricación, lo cual es fundamental en la industria automotriz para el seguimiento de calidad y la gestión de posibles acciones correctivas o retiros del mercado.

Tabla 1 Resumen de requerimientos

Parámetro	Requerimiento	Origen
Pieza	Console (Consola central)	Especificación del cliente
Configuración	2 cavidades (Lid & Bowl)	Diseño de la pieza
Característica especial	Inserto para fechadores/trazabilidad	Requerimiento de calidad del cliente
Peso de la pieza	Gramos	Especificación del cliente
Material	PUR	Especificación del cliente

Nota: creación propia

Es importante tener en cuenta que la dimensión total del molde se evalúa considerando la restricción de volumen disponible en el Carrier, dicha estructura es definida por el cliente, según

su infraestructura de producción y su proceso térmico, este debe respetarse durante el diseño para un correcto funcionamiento del molde.

Para el desarrollo de distintos componentes del molde (chasis, sistemas calefacción, aislantes térmicos, etc.) se deben integrar con el objetivo de que, durante el proceso de moldeo, el molde pueda asegurar un calentamiento uniforme, controlado y eficiente. [18]

3.3 Modelado CAD 3D

En esta fase del proyecto se desarrolla lo que es el núcleo del proyecto, considerando la información previamente analizada, es posible comenzar a diseñar el modelo digital del molde. Esto mediante el uso de un software CAD, en este caso Solidworks, con el cual se desarrollará la geometría del molde en función de la pieza solicitada, sin olvidar la funcionalidad, la posible manufactura y las condicionantes del cliente.

3.3.1 Creación del modelo 3D de cavidad y núcleo

El proceso de modelado comenzó con la integración del inserto de fechadores y trazabilidad, ya que se trata de un componente crítico cuya información fue proporcionada y aprobada por el cliente. Como se observa en las Fig. 3.3.1 y 3.3.2, este inserto incluye los detalles del grabado que se marcarán en la pieza de foam, incorporando campos variables para la fecha de producción (día, mes y año), así como códigos fijos de identificación, como el número de parte y la referencia del ensamble.

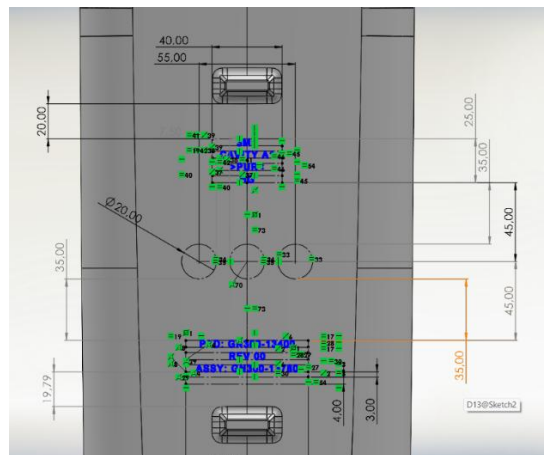


Figura 3.3.1 Croquis del grabado para el código de trazabilidad.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

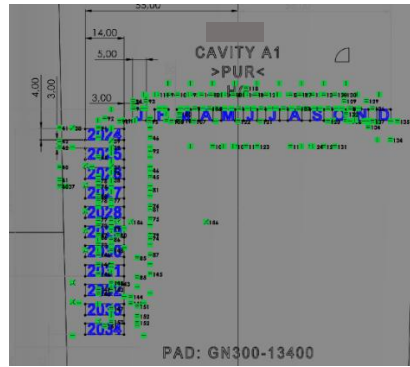


Figura 3.3.2 Detalle del inserto de fechadores (mes y año) y trazabilidad junto con los códigos de identificación de la pieza.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Cualquier pieza manufacturada debe tener trazabilidad, lo cual permite rastrear cada aspecto del proceso de producción y distribución, esta pieza no es la excepción. Hay una práctica común en la industria que es tercerizar servicios, es decir, se contrata a un proveedor especializado para producir un objeto que podrían manufacturar también, pero el hecho de desarrollarlo consume tiempo que se podría invertir en factores más importantes del funcionamiento del molde, tal es el caso del fechador (Fig. 3.3.3), este componente se diseñó y fue enviado a un proveedor externo que lo fabrica, esto puede agilizar el proceso de manufactura.



Figura 3.3.3 Contraste entre el modelo CAD (izquierda) y la pieza física mecanizada (derecha) del fechador móvil.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Hasta ahí llega la intervención a la pieza del cliente, el siguiente paso es un análisis de la línea de partición para el molde, esto permite definir una división en el que se separan la cavidad y el núcleo del molde. La Fig. 3.3.4 muestra como el modelo se somete a dicho análisis y la pieza se divide de manera conceptual en dos superficies.

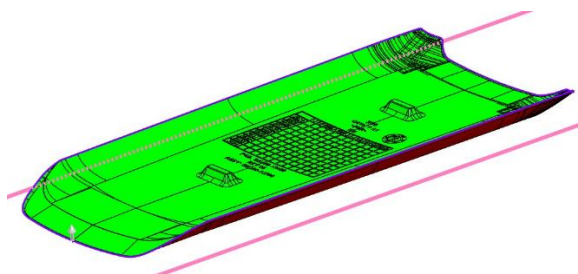


Figura 3.3.4 Análisis de la línea de partición del molde, definiendo las superficies de la cavidad "Lid" (rojo) y el núcleo "Bowl" (verde).

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

- El componente superior (resaltado en rojo) corresponde a la "Lid" (tapa), que será formado por la cavidad móvil del molde.
- El componente inferior (resaltado en verde) corresponde al "Bowl" (cuenco/base), que será formado por la cavidad fija o núcleo.

Como se observa en la Fig. 3.3.5, el sistema confirmó de forma automática que la superficie definida corresponde a una línea de separación completa y válida, lo que permite dividir el molde en sus dos mitades principales: el núcleo (Bowl) y la cavidad (Lid).

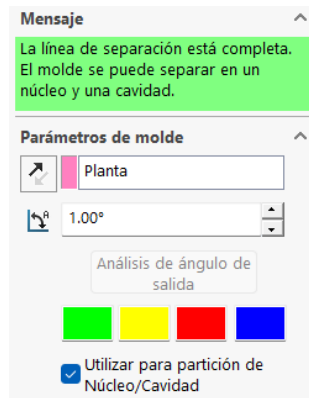


Figura 3.3.5 Validación automática de la línea de partición y aplicación del ángulo de salida de 1.00° mediante la herramienta de Núcleo/Cavidad.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Una vez validada la línea de partición, la herramienta CAD generó de forma automática las dos superficies maestras que definen el contacto con el material de foam. Estas superficies representan el negativo de la pieza a producir y sirven como base para la creación de los volúmenes sólidos de los bloques de cavidad y núcleo.

Como resultado de este proceso, se obtuvieron:

- La superficie del Núcleo (Bowl), que moldeará la parte inferior o base de la consola (Fig. 3.3.6).

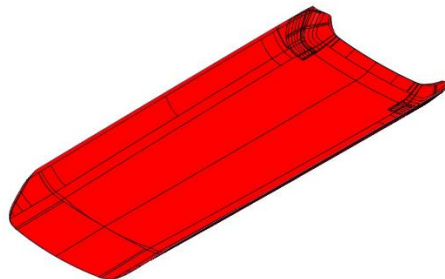


Figura 3.3.6 Superficie maestra generada para el Núcleo (Bowl), que moldeará la base de la pieza.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

- La superficie de la Cavity (Lid), que moldeará la parte superior o tapa de la consola (Fig. 3.3.7).

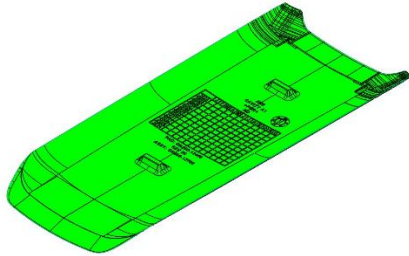


Figura 3.3.7 Superficie maestra generada para la Cavity (Lid), que moldeará la tapa de la pieza.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Estas superficies se utilizan como base geométrica para el siguiente paso del diseño, que consiste en la generación de los bloques del molde que contendrán dichas impresiones.

Reparación y preparación de superficies

Una vez obtenidas las superficies maestras del núcleo y la cavidad, se continuó con la etapa de reparación y preparación de superficies. En este punto, es común que los modelos proporcionados por el cliente presenten pequeñas inconsistencias geométricas o superficies incompletas, especialmente en la zona de la línea de partición, lo que impide su uso directo para la generación de un sólido (Fig. 3.3.8).

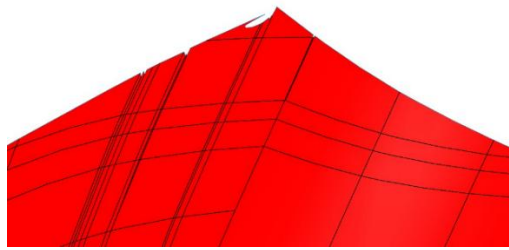


Figura 3.3.8 Inconsistencias geométricas y áreas incompletas en la línea de partición de superficie de bowl.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Para resolver esto, se utilizaron herramientas de modelado de superficies. El proceso, que se repitió de manera iterativa en distintas zonas del contorno, consistió en:

1. Extender superficie: se utilizó la herramienta “extender superficie”, y se aplicó en las superficies donde se presentan errores o zonas irregulares, esto sin dejar de considerar trayectoria y la curvatura original de la pieza, de esta forma es posible cubrir incompletas presentes en la línea de partición (Fig. 3.3.9).

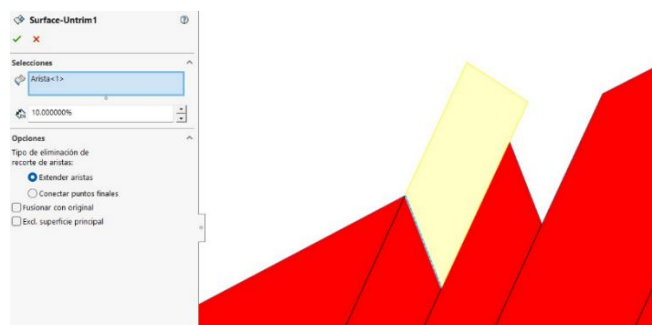


Figura 3.3.9 Extensión de superficie en zona incompleta.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

2. Recortar las superficies sobrantes: En el paso anterior se genera una superficie sobrante, esta debe ser recortada haciendo uso de diferentes splines, o líneas de referencia que definan un borde limpio y uniforme (Fig. 3.3.10).

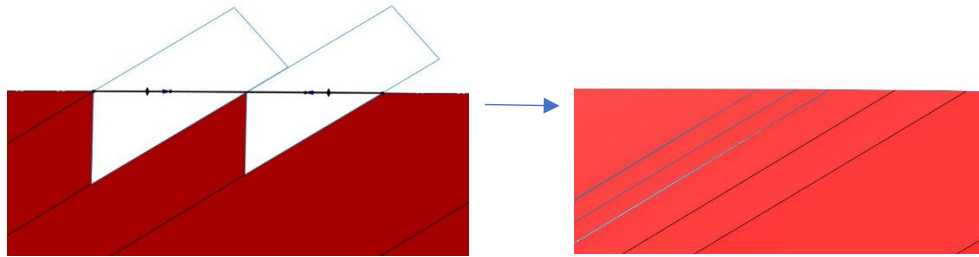


Figura 3.3.10 Recorte de la superficie para definir un borde limpio

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

3. Unir superficies generadas: el proceso de extender y recortar superficies no las vuelve parte de las superficies de la pieza completa, para ello se revisa meticulosamente la línea de partición comprobando que tenga continuidad geométrica, esto es necesario para un correcto cierre de molde.

La Fig. 3.3.11 muestra el resultado de la aplicación de este procedimiento en una mitad de la superficie, aparte de la corrección en la superficie que se va a moldear se utilizó esta línea de partición reparada para extender la superficie definiendo así el área de contacto que tendrán ambas cavidades (lid & bowl).

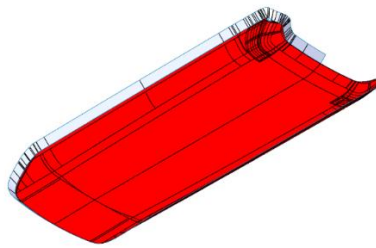


Figura 3.3.11 superficie extendida y alisada.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Con la superficie uniforme y sin errores de discontinuidad visibles la extensión de las superficies perimetrales será la zona que estará involucrada en el sellado del molde. El espacio de sellado lo determina el diseñador basándose en pruebas de material, experiencia con equipos similares o simplemente solicitud del cliente, en este caso la distancia del área de contacto es de 12mm a 45° hacia afuera.

Con esta ampliación, el material de sellado dispone de una superficie de apoyo adecuada para cumplir un sellado de manera efectiva (Fig. 3.3.12).

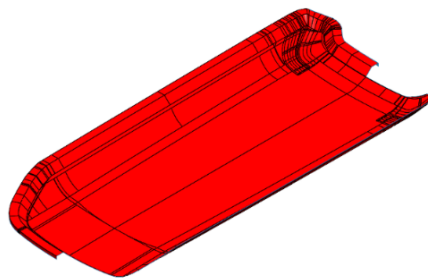


Figura 3.3.12 Superficie de contacto con la cavidad superior.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Una vez definida la zona de sellado, esta superficie se extendió de manera adicional para integrarse con la superficie principal del bloque. Con ello, el área que inicialmente se destinó únicamente al sellado pasó a cumplir también una función estructural, contribuyendo a la transferencia de cargas durante el cierre del molde.

Posteriormente, la superficie se recortó a la mitad, ya que todo el proceso de diseño se realizó únicamente en un lado de la pieza (Fig. 3.3.13). Gracias a la simetría de la geometría, esta mitad se reflejó para generar de forma automática la otra mitad idéntica, completando así la superficie requerida.

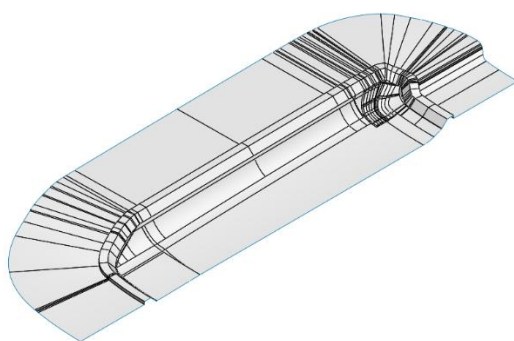


Figura 3.3.13 Mitad de la superficie del Bowl después de la extensión y alisado.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Esta estrategia permitió optimizar el tiempo de modelado, al evitar el diseño manual de ambas mitades por separado, y al mismo tiempo aseguró una simetría completa en la geometría final del molde (Fig. 3.3.14).

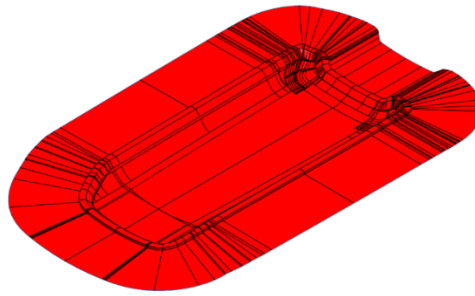


Figura 3.3.14 Superficie completa del Bowl tras aplicar la operación de espejo a la mitad modelada.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

La imagen siguiente muestra este mismo resultado aplicado a la superficie de la tapa (Lid), tras replicar el proceso completo de modelado en esta segunda pieza (Fig. 3.3.15).

Se realizó de manera idéntica y consecutiva:

1. El alisado de la superficie de contacto.
2. La extensión de 10 mm para crear la zona de sellado.
3. La ampliación adicional para integrar esta zona como parte de la superficie funcional de la tapa.

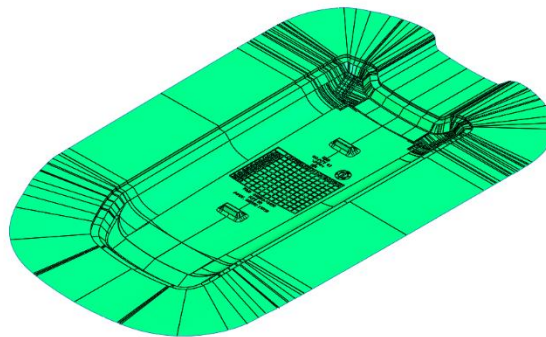


Figura 3.3.15 Superficie completa de la tapa (Lid) tras el proceso de extensión, alisado y operación de espejo.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Definición de las dimensiones base del bloque

Una vez definida la superficie alisada y extendida para el sellado, se procedió a generar el volumen de la tapa (Lid). Para ello, se creó un envolvente superficial con dimensiones base de 610,00 mm de largo por 310,00 mm de ancho, formando una carcasa que rodea completamente la geometría del Bowl (Fig. 3.3.16).

De este modo, la superficie del Bowl se conserva, pero queda contenida dentro de un volumen definido por las superficies que conforman el contorno de la tapa completa. Esto proporciona la estructura y el perímetro necesarios para el montaje, ampliando su función más allá de ser únicamente la superficie de moldeo.

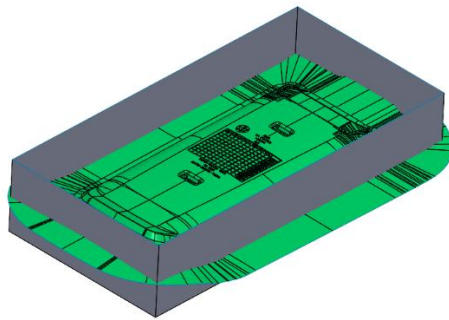


Figura 3.3.16 Creación de la envolvente superficial de la tapa (Lid) que rodea la cavidad del Bowl.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Una vez creado el bloque sólido que integra la superficie del Bowl, se eliminaron todas las superficies y geometrías que excedían los límites establecidos. Se retiró el material sobrante, conservando únicamente la porción de la superficie que quedaba contenida dentro del volumen definido (Fig. 3.3.17).

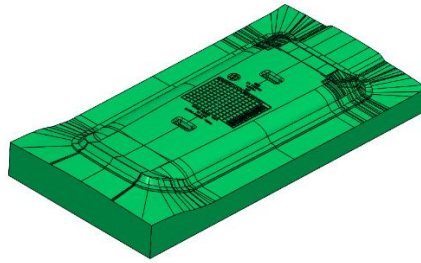


Figura 3.3.17 Bloque sólido de la tapa (Lid) tras la eliminación de los excedentes superficiales.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Este paso permitió definir con precisión la geometría final, asegurando que solo la superficie funcional del Bowl y la estructura de la tapa se mantuvieran dentro de los límites establecidos, eliminando cualquier elemento que pudiera interferir con el ensamble o la estanqueidad del conjunto.

El mismo proceso de recorte se aplicó al Bowl, retirando las superficies sobrantes. Para facilitar su identificación visual, el componente se cambió de color rojo a azul (Fig. 3.3.18).

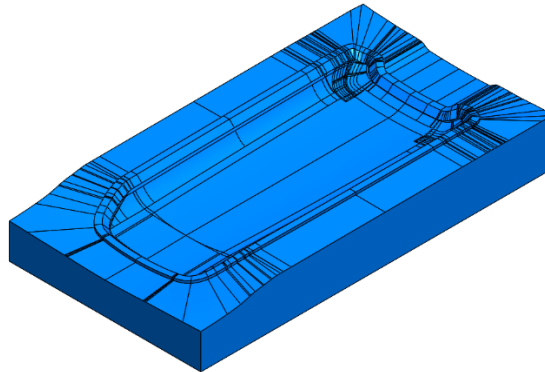


Figura 3.3.18 Componente Bowl tras el proceso de recorte y delimitación final, mostrado en azul para su identificación.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Verificación del ensamble

En la Fig. 3.3.19 se muestran ambos bloques (el Lid en verde y el Bowl en azul) posicionados según su configuración final de ensamble. Esta disposición confirma la correspondencia geométrica entre las superficies de sellado y verifica que ambos componentes encajan correctamente según lo previsto en el diseño.

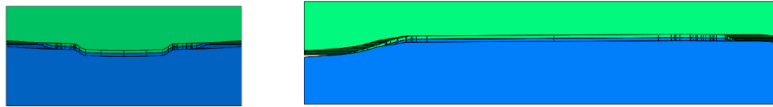


Figura 3.3.19 Ensamble preliminar de los bloques Lid (verde) y Bowl (azul)

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Visualización del material en el molde

Para analizar la relación final entre la pieza de foam y el molde, se realizó un corte seccional del conjunto. En la Fig. 3.3.20 se aprecia la pieza de foam terminada (en amarillo) alojada dentro de sus cavidades correspondientes (tanto en el Bowl como en el Lid), mostrando su posición y volumen dentro del molde cerrado.

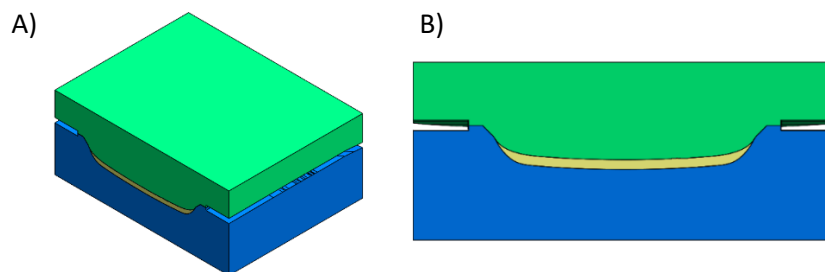


Figura 3.3.20 Corte seccional del molde mostrando la pieza de foam (amarillo) alojada en las cavidades del Bowl y Lid. (a) Vista isométrica, (b) Vista frontal.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Esta representación permite verificar el correcto llenado de las cavidades, la uniformidad del material y la interacción adecuada entre el foam y las superficies del molde en ambos componentes.

Con el diseño de una cavidad completamente definido, se configuró el molde para la producción de múltiples piezas por ciclo. Dado que el carrier ofrece un área útil suficiente, se decidió implementar una disposición de dos cavidades.

Para lograrlo de manera eficiente y garantizar simetría y balance, se utilizó la herramienta de Mirror en el software Solidworks (Fig. 3.3.21).

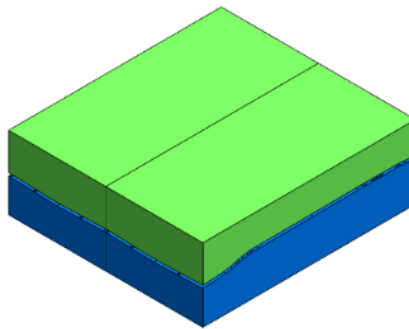


Figura 3.3.21 Configuración del bloque de moldes con las dos cavidades idénticas tras aplicar la operación de espejo.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

El conjunto completo de la primera cavidad (que incluye el núcleo, la cavidad y el inserto de trazabilidad integrado) fue duplicado para crear una segunda cavidad idéntica (fig. 3.3.22).

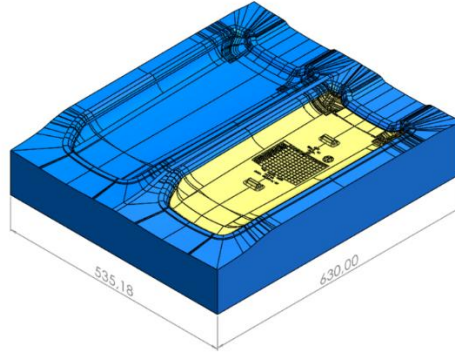


Figura 3.3.22 Vista del molde con el Lid removido, mostrando la disposición de las dos cavidades del Bowl.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

3.3.2 Implementación de sistema de calefacción

La correcta termorregulación del molde es fundamental para asegurar un ciclo de producción eficiente y una calidad uniforme de la pieza de foam. El sistema de calefacción se diseñó para operar dentro del rango de 40 a 45 °C, según lo definido en los parámetros del proceso.

El diseño del sistema se realizó inicialmente considerando una sola cavidad. La estrategia consistió en crear una red de conductos que siguiera de manera uniforme el contorno de la cavidad y del núcleo, manteniendo una distancia constante respecto a la superficie del molde para evitar zonas frías o calientes.

Como se observa en las Fig. 3.3.23 y 3.3.24, los conductos se organizaron en un patrón de circuito cerrado, garantizando que el fluido térmico circule de manera uniforme por toda el área crítica del molde.

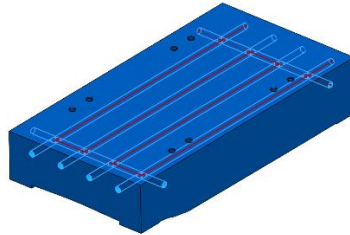


Figura 3.3.23 Diseño del circuito de calefacción para el núcleo (Bowl) en la configuración de una cavidad.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

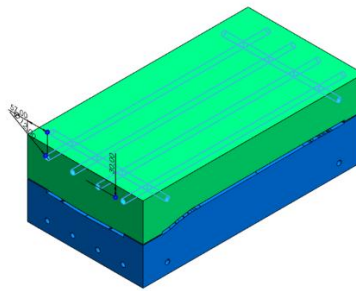


Figura 3.3.24 Diseño del circuito de calefacción para la cavidad (Lid) en la configuración de una cavidad.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Esta misma lógica de diseño, junto con los criterios de espaciamiento, se aplicó y ajustó para la configuración final de dos cavidades. El resultado, mostrado en la Fig. 3.3.25, es un sistema de calefacción balanceado y simétrico que asegura una distribución uniforme de temperatura. Mediante una vista con transparencia de los componentes Lid, se puede observar la ubicación de la pieza dentro de la cavidad y el recorrido completo del fluido térmico (representado en azul) a través de los conductos.

Además, se pueden observar las perforaciones para sujeción, los chaflanes para tuberías y los alojamientos para seguros, elementos que completan la integración mecánica del sistema.

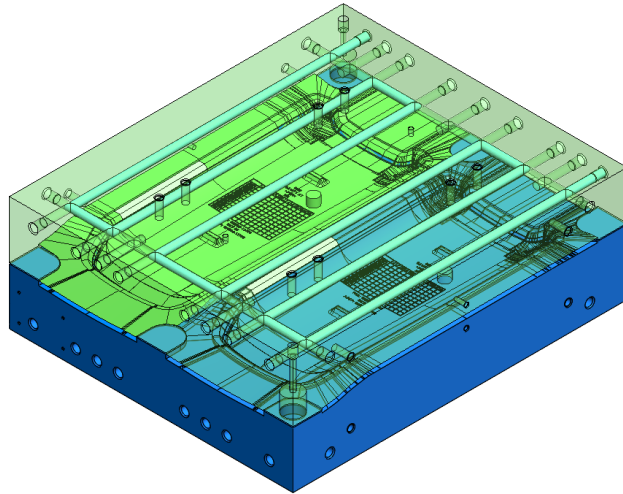


Figura 3.3.25 Vista transparente del ensamble del molde con dos cavidades y sistema de calefacción.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

3.3.3 Estructura y componentes del molde

Chasis

El modelado del chasis, que constituye el armazón principal del molde, comenzó con la definición de su estructura interna de soporte. Como se muestra en la Fig. 3.3.26, se creó un croquis que define la trayectoria cerrada que conforman el núcleo estructural del componente.

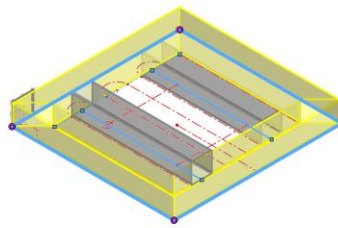


Figura 3.3.26 Trayectoria de la estructura tubular del chasis.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

El chasis está diseñado para cumplir con las dimensiones del molde, en particular en su largo y ancho, debido a que su fabricación se un perfil tubular de sección cuadrada de 3 x 3 pulgadas con un espesor de 0.12 pulgadas, utilizado por su disponibilidad comercial, facilidad de fabricación y una resistencia estructural suficiente (Fig. 3.3.27).

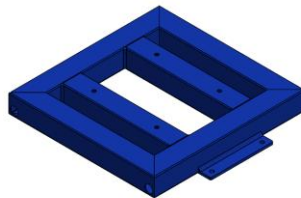


Figura 3.3.27 Chasis para molde (3 x 3 x 0.12)

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Este componente se fabrica por soldadura, en la Fig. 3.3.28 se observa como el software permite añadir este detalle de apariencia de soldadura, esto es particularmente útil para transmitirlo al área de manufactura, ya que indica de una manera clara el proceso que debe tener en las uniones.

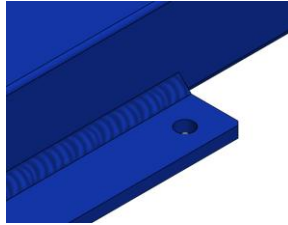


Figura 3.3.28 Acercamiento a una unión de esquina del chasis mostrando el detalle de soldadura aplicado.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Sistema Carrier

Este sistema es el que soporta y permite la operación del molde, es un diseño del cliente, por lo tanto, la manufactura queda fuera del proyecto de fabricación del molde, simplemente es vital tener en cuenta las dimensiones del molde para que quede correctamente integrado en dicho sistema.

Se podría decir que este compuesto por 3 partes estructurales, el denominado lowerframe es la parte fija que se asegura directamente a la línea de producción del cliente (Fig. 3.3.29).

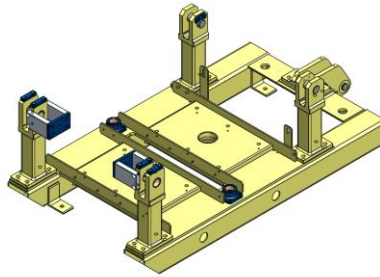


Figura 3.3.29 Lowerframe: Base del sistema carrier.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Es una placa móvil que se apoya sobre el Lowerframe y sobre la cual se fija el molde completo. El sistema de presión del cliente se basa en el uso de bolsas de aire debajo de este componente, la placa se eleva cuando activan las bolsas de aire aplicando presión y logrando el cierre correcto del molde (Fig. 3.3.30).

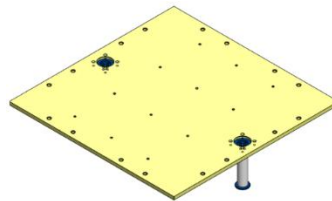


Figura 3.3.30 Lowerplatenplate: Placa móvil inferior accionada por bolsas de aire.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Y el llamado Lidframe es la parte superior del molde, esta es móvil ya que funciona como la tapa del conjunto, es operada por un actuador independiente, este permite abrir y cerrar el molde para la producción de la pieza (Fig. 3.3.31).

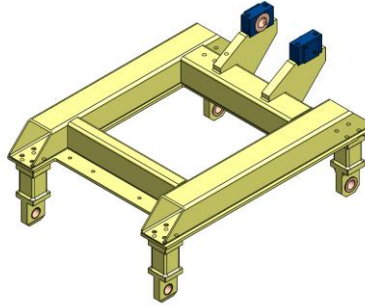


Figura 3.3.31 Lidframe: Tapa móvil superior accionada por un actuador.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Centering Pins (Pines de Centrado):

La precisión en el cierre del molde es crucial por ello el sistema utilizado para alinear ambos moldes es mediante centering pin, el cual consiste en dos partes acopladas, denominados pin macho y pin hembra.

El modelado comenzó con la parte Macho. Como se observa en la Fig. 3.3.32, se elaboró un croquis con las dimensiones y el perfil cónico, que posteriormente se extruyó mediante revolución (Revolve) para generar el sólido 3D de la pieza (Fig. 3.3.33).

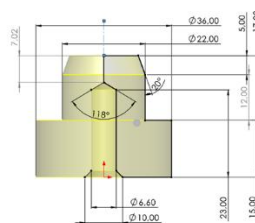


Figura 3.3.32 Croquis dimensional del Centering Pin Macho (M)

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

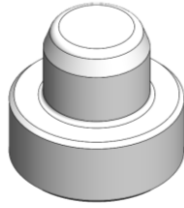


Figura 3.3.33 Modelo 3D del Centering Pin Macho, generado por extrusión de revolución.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Posteriormente, se diseñó la contraparte, denominado hembra, utilizando el pin macho como referencia, así asegurando un acoplamiento preciso entre ambos componentes. En la siguiente imagen se puede observar el croquis del pin hembra dibujado sobre el pin macho (Fig. 3.3.34) y en consecuencia al revolucionar el croquis se obtiene el pin hembra (Fig. 3.3.35).

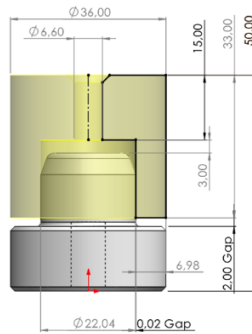


Figura 3.3.34 Croquis dimensional del Centering Pin Hembra (F), diseñado a partir del Macho.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

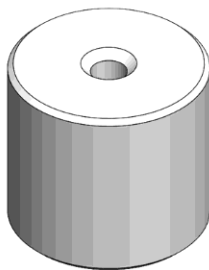


Figura 3.3.35 Modelo 3D del Centering Pin Hembra.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

Finalmente, la Fig. 3.3.36 muestra el ensamble virtual de ambos componentes, evidenciando cómo el cono del Macho se inserta de manera precisa en la cavidad cónica de la Hembra, asegurando la alineación correcta de las dos mitades del molde.

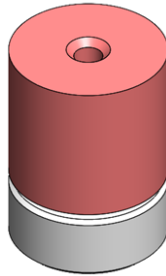


Figura 3.3.36 Ensamble virtual del Centering Pin, mostrando el acoplamiento entre las partes Macho y Hembra

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025

Componentes de Sujeción, Seguridad y Manejo

Mold Strap 38mm: es una placa metálica personalizada con el grabado de la empresa, que actúa como correa de sujeción. Su función es bloquear mecánicamente los bloques del Bowl y el Lid mediante tornillos cuando el molde no está en operación (durante transporte, almacenamiento o mantenimiento). Esto evita que las mitades del molde se separen o sufran daños accidentales, protegiendo las superficies críticas de las cavidades (Fig. 3.3.37).

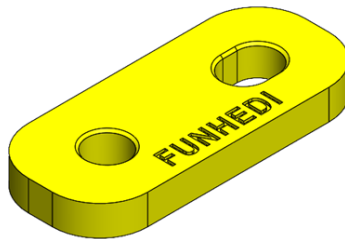


Figura 3.3.37 Componente Mold Strap 38mm, utilizado para el bloqueo y seguridad del molde durante transporte y almacenamiento.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025

Jackguard: es un componente que actúa como asa o punto de sujeción estructural (Fig. 3.3.38), este se integra al molde para facilitar y asegurar su manipulación, transporte y levantamiento mediante grúas o equipos de izaje. Su diseño proporciona un punto de sujeción seguro para manejar el conjunto completo.

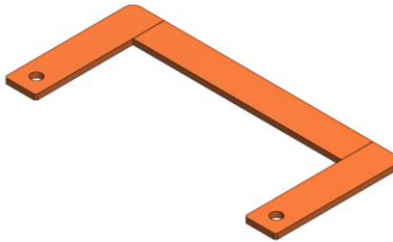


Figura 3.3.38 Jackguard, asa de manejo para el transporte y manipulación segura del molde.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025

Un subsistema crítico es el de bloqueo de seguridad, diseñado para evitar la apertura accidental del molde durante la inyección.

Su funcionamiento es el siguiente: un sensor de contacto se activa cuando el Lidframe y el Lowerframe alcanzan su posición de cierre completo. Esta señal acciona un motor o actuador de bloqueo, que extiende un pasador o pestillo, asegurando físicamente ambas partes del carrier e impidiendo su apertura hasta que el ciclo de inyección y curado finalice.

De manera complementaria, la Bolsa de Aire (Air Bag), mostrada en la Fig. 3.3.40, actúa como componente neumático. Al presurizarse, se expande y empuja la Lowerplatenplate (junto con todo el molde bowl) hacia arriba, generando la fuerza necesaria para lograr un sello hermético contra el Lidframe antes de que se active el bloqueo.

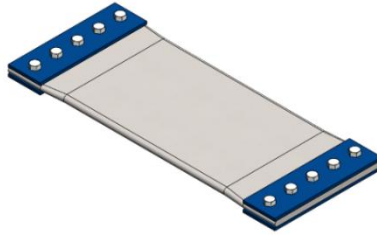


Figura 3.3.40 Bolsa de Aire para el accionamiento y sellado de la Lowerplatenplate.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025

Sensor de Contacto: detecta el cierre completo y correcto del Lidframe sobre el Lowerframe. Envía una señal de confirmación que permite habilitar el ciclo de inyección y activar el mecanismo de bloqueo (Fig. 3.3.41).



Figura 3.3.41 Sensor de Contacto para detección de cierre del molde.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025

Motor/Actuador de Bloqueo: (557134 ADN-2(HS)): recibe la señal del sensor de contacto y acciona un pestillo o pasador que asegura mecánicamente el Lidframe al Lowerframe, impidiendo su apertura hasta que concluya el ciclo de inyección (Fig. 3.3.42).

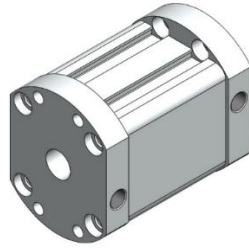


Figura 3.3.42 Motor/Actuador de Bloqueo (557134 ADN-2(HS)) para el seguro del carrier.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025

Componentes de Flujo:

Tapón para Tubería 3/8 NPT (3/8 NPT Pipe plug): componente estandarizado que se utiliza para sellar los extremos de conductos roscados en sistemas hidráulicos y de calefacción, asegurando la estanqueidad y evitando la entrada de contaminantes (Fig. 3.3.43).

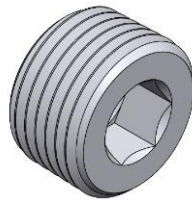


Figura 3.3.43 Tapón para Tubería 3/8 NPT.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025

Abrazadera para Manguera de 1 pulgada (Hoseband 1in): asegura un sellado firme y hermético en las conexiones de las mangueras que transportan el fluido térmico, evitando desconexiones por presión o vibración (Fig. 3.3.44).

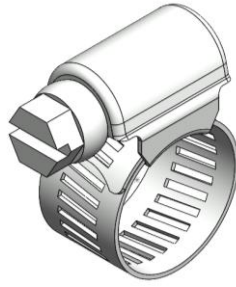


Figura 3.3.44 Abrazadera para Manguera de 1 pulgada.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025

Conector JP-353-3/8 - JT-Plug: parte macho de un conector rápido (Jiffy-Tite o similar), que permite la conexión y desconexión ágil y sin fugas de las líneas de fluido, como se muestra en la Fig. 3.3.45.

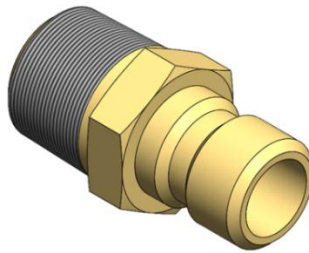


Figura 3.3.45 Conector rápido JT-Plug.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025

Conector JS-308 - JT-Socket: parte hembra del conector rápido, que se acopla con el JT-Plug para completar el circuito de flujo, asegurando una conexión estanca y segura, como se ilustra en la Fig. 3.3.46.

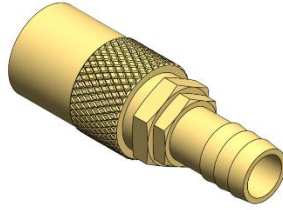


Figura 3.3.46 Conector rápido JT-Socket

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025

Fluxcap: componente del sistema de calefacción que actúa como válvula o tapón de purga. Como se muestra en la Fig. 3.3.39, su función principal es permitir la evacuación de aire durante el llenado inicial y servir como punto de drenaje para mantenimiento. Su ubicación en el molde define la ruta del flujo del fluido térmico a través de los diferentes circuitos.



Figura 3.3.39 Componente Fluxcap, utilizado como válvula de purga y punto de drenaje en sistemas hidráulicos o de calefacción.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025

3.3.4 Ensamblaje General

Una vez modelados todos los componentes y subsistemas —desde las cavidades y el sistema de calefacción hasta la estructura del chasis y los elementos estandarizados— se procedió a integrarlos en un ensamblaje general. Este modelo reúne la cavidad Lid, la cavidad Bowl, el chasis, el carrier (Lowerframe, Lowerplatenplate, Lidframe), así como los componentes de guiado, sujeción, flujo y seguridad, en una única representación virtual del molde listo para fabricación (Fig. 3.3.47).

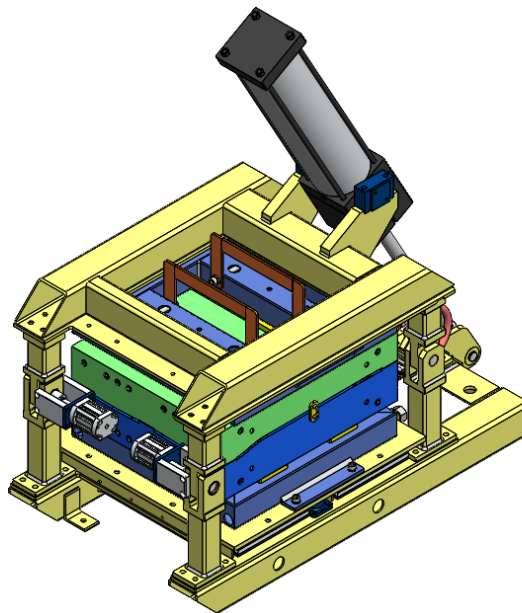


Figura 3.3.47 Vista ensamblada del molde completo, integrando todos los componentes y subsistemas modelados.

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025

Este ensamblaje permite verificar visualmente la interacción correcta entre todos los elementos, asegurando que no existan interferencias geométricas y que se respeten las dimensiones generales definidas por el Carrier en particular la altura es algo importante que es considerado manufactura esto debido a que es el límite de espacio que se debe respetar considerando el conjunto

de componentes montados, desde los bloques de molde, el material aislante Celeron y el chasis deben estar bien definidos en el diseño para que se tenga una referencia en manufactura como un marco de referencia. Representa el entregable final de la etapa de diseño, donde el concepto teórico se materializa en un modelo 3D listo para revisión y posterior fabricación.

3.4 Documentación técnica

Una vez finalizado el modelo CAD y validado el ensamblaje, se pasó a la fase de documentación técnica. El objetivo de esta etapa fue elaborar los planos y documentos necesarios para comunicar de forma clara y precisa el diseño del molde, asegurando que pueda ser fabricado, ensamblado y mantenido sin inconvenientes.

3.4.1 Elaboración de planos del molde

Como resultado del desarrollo del diseño, se elaboró el plano técnico de ensamble del molde. Este plano, derivado del modelo CAD 3D, reúne toda la información necesaria para la correcta fabricación y montaje del conjunto (Fig. 3.4.1).

El plano incluye:

- Vistas ortogonales del molde ensamblado.
- Una lista de materiales (BOM) integrada.
- Notas generales de ensamble y especificaciones críticas.

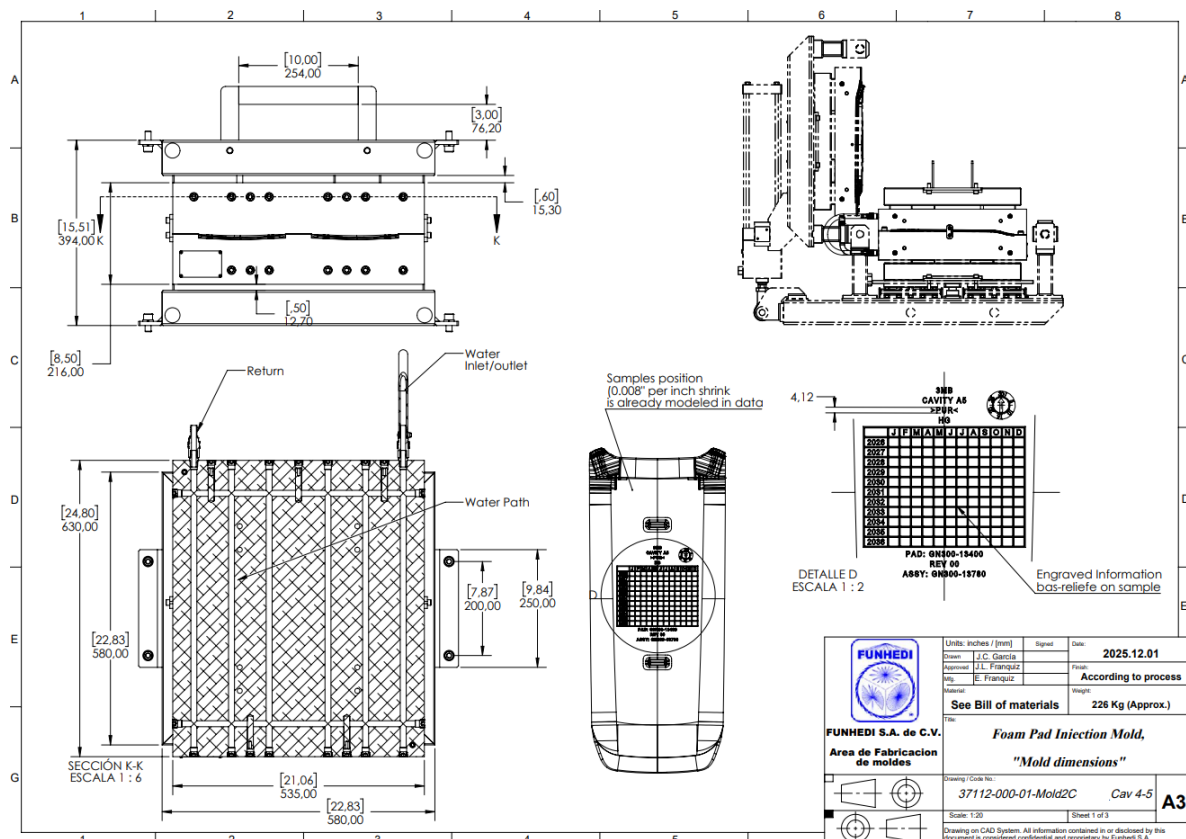


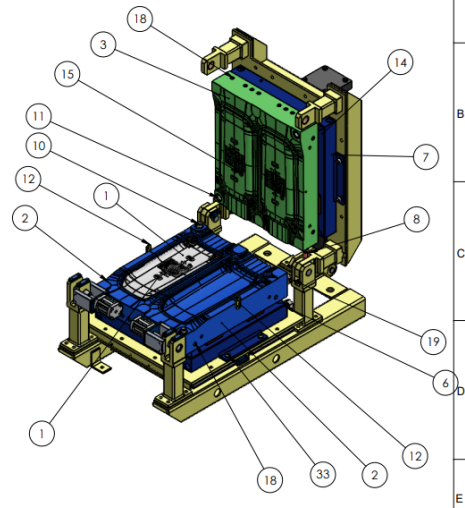
Figura 3.4.1 Plano de ensamble general del molde (página 1).

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025

El molde tiene como descripción “Console CAV 4-5”, se refiere al programa de la pieza, y las cavidades del molde, en este proyecto fueron las cavidades 4 y 5, eso quiere decir que ya fueron fabricados anteriormente las cavidades 1-3, con diferentes cambios de configuración o cambios de ingeniería. La siguiente imagen (Fig. 3.4.2), muestra la lista de materiales (BOM), donde se observa el molde ensamblado abierto y se señalan diferentes los diferentes componentes necesarios para su fabricación, debido a que es un documento interno, se limita a los materiales que se utilizaran para el entregable, por ejemplo, anteriormente se indicó que el Carrier es un sistema propio del cliente, este sistema junto a sus componentes queda fuera de esta lista. Pero cuestiones referentes al molde tales como las placas de aleación de aluminio 7075-T651, el chasis, placas

aislantes tipo Celeron, componentes de flujo para el sistema de calefacción, etc. si deben ser considerados.

1	2	3	4	5	6	7	8
N.º DE ELEMENTO	CANTIDAD	N.º DE PIEZA	DESCRIPTION	Material	Vendor		
1	1	37110-000_00		PUR	Mfg		
2	1	37110_000_10	BowlLate2c_Front	A7075-T6	Mfg		
3	1	37112_000_01_LidPlate2c_Front	LidPlate2c_Front		Mfg		
4	2	37110_000_30	Up Thermal insulator	CeleronPlate	Mfg		
5	2	37110_000_31	Down Thermal insulator	CeleronPlate	Mfg		
6	1	Down Auxiliary Chassis	Up auxiliary chassis	A36	Mfg		
7	1	Up Auxiliary Chassis	Down auxiliary chassis	A36	Mfg		
8	1	37100_000_050	Water hise	Plastic	Mfg		
9	1	37100_000_060	ID Label	Aluminium	Mfg		
10	2	37000_000_10	Centering pin male 22mm	AISI 1045	Mfg		
11	2	37000_000_11	Centering pin female 22mm	AISI 1045	Mfg		
12	2	37000_000_20	Mold strap	AISI 1045	Mfg		
13	10	37000_000_30	Flux cap	Aluminium	Mfg		
14	2	37000_000_40	Jack guard	AISI 1045	Mfg		
15	2	FOD0020	Mold dating insert for Day	SS	Mfg		
16	4	JS308	Jiffy-Tite Socket (Hose I.D. 1/2")	Brass	DME		
17	4	JS353	Jiffy-Tite Plug (Thread 3/8" NPT)	Brass	DME		
18	38		3/8" NPT Pipe Plug	Steel	DME		
19	2		Hose Band 1in	Steel	DME		
20	1		HX-SHCS 0.19-24x0.5x0.5-C	Steel	Commercial		
21	4		SBHCS CREW 0.125-40x0.3125-HX-N	Steel	Commercial		
22	4		HX-SHCS 0.3125-18x0.75x0.75-N	Steel	Commercial		
23	1		HX-SHCS 0.3125-18x3.5x1.375-N	Steel	Commercial		
24	2		HX-SHCS 0.3125-18x2.75x1.125-N	Steel	Commercial		
25	4		HX-SHCS 0.5-13x1.75x1.75-N	Steel	Commercial		
26	1		HX-SHCS 0.3125-18x1.5x1.5-N	Steel	Commercial		
28	4		HX-SHCS 0.5-13x4.25x2-N	Steel	Commercial		
29	8		Circular Washer 0.5	Steel	Commercial		
30	4		ASME B18.16.6-NE-0.500-13-N	Steel	Commercial		
31	16		Regular LW 0.5	Steel	Commercial		
32	4		HX-SHCS 0.5-13x1.25x1.25-N	Steel	Commercial		
33	8		HX-SHCS 0.5-13x2x2-N	Steel	Commercial		



FUNHEDI S.A. de C.V. Area de Fabricacion de moldes	Units: inches / mm	Revised	Date: 2025.12.01
	Drawn: J.C. Garcia	Approved: J.L. Franquiz	For: According to process
	By: E. Franquiz	Material: See Bill of materials	Weight: 226 Kg (Approx.)
	Title: Foam Pad Injection Mold, "Mold dimensions"		
Drawing / Code No.: 37112-000-01-Mold2C		Cav 4-5	
Scale: 1:20		Sheet 2 of 3	
Drawing on CAD System. All information contained in or derived by this document is considered confidential and proprietary by Funhedi S.A.			

Figura 3.4.2 Plano de ensamble general del molde (página 2).

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025

Algunos elementos de la lista —como conectores, tapones y fijaciones— no tienen un número de pieza interno, ya que son componentes estándar adquiridos externamente, ya sea de proveedores especializados o de catálogos comerciales. Esta práctica es común en la fabricación de moldes, donde se incorporan elementos normalizados para optimizar costos y tiempos de entrega. Por lo tanto, la BOM no solo documenta las piezas hechas a medida, sino también los

componentes comprados listos para su montaje, facilitando la gestión de materiales, el mantenimiento y la reposición durante la vida útil del molde.

La tercera página del documento técnico muestra la Fig. 3.4.3, que detalla dos aspectos críticos para la operación del molde. Primero, se observa la zona de contacto (sello) entre la tapa (Lid) y el cuenco (Bowl), representada a escala 1:1 en la vista “DETALLE P”, fundamental para garantizar la estanqueidad durante la inyección de espuma. Segundo, la imagen ilustra el recorrido del actuador neumático accionado por la bolsa de aire, que eleva el molde y aplica la presión necesaria. Los valores indicados, como Return Stroke, Max Stroke y Used Stroke, establecen los límites operativos, asegurando que el sistema funcione dentro de los parámetros de seguridad y eficiencia del diseño.

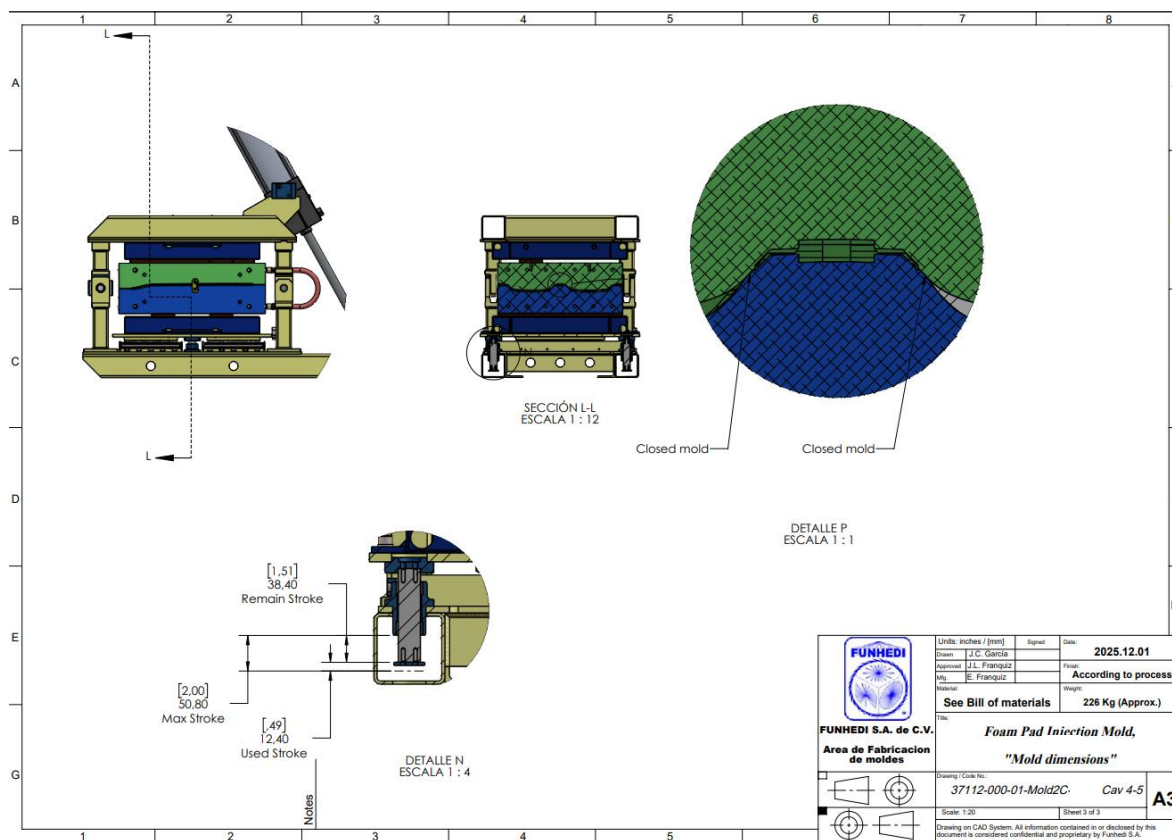


Figura 3.4.3 Plano de ensamble general del molde (página 3).

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025

Capítulo IV: Resultados y Conclusiones

4.1 Resultados

El proyecto permitió cumplir con el objetivo de investigación al establecer los parámetros críticos del proceso de inyección de foam, definiendo un rango de temperatura de molde entre 40-45 °C, una presión de cierre de referencia de aproximadamente 1000 bar y una formulación base de PUR de 80 % polioliol y 20 % isocianato.

En el análisis de requerimientos, se identificaron y documentaron las restricciones físicas impuestas por el carrier del cliente, con un área útil de 462,230 mm² y una altura de 394 mm. Estos parámetros condujeron a la configuración de dos cavidades (Lid y Bowl) y a la integración de un sistema de fechadores y trazabilidad.

El desarrollo del modelo CAD 3D se completó exitosamente, generando un ensamblaje que incluye las cavidades, la estructura del chasis, un sistema de calefacción balanceado para ambas cavidades y todos los componentes estandarizados necesarios para la operación, como pines de centrado, fluxcaps, mold strap y conectores.

En el objetivo de desarrollar la documentación técnica, se realizó un plano basado en el diseño 3D del ensamble terminado, este incluye diferentes vistas principales, notas para una mayor comprensión y una lista de materiales (BOM), permitiendo así un concentrado de información relevante para la posterior fabricación del molde.

Finalmente, el diseño fue validado mediante pruebas iniciales de inyección. Como se muestra en la comparativa de la Fig. 4.1, el modelo CAD de la pieza proporcionado por el cliente (A) se contrasta con las primeras piezas físicas obtenidas (B) del molde desarrollado. Este resultado confirma que el diseño es funcional y capaz de producir la geometría especificada.

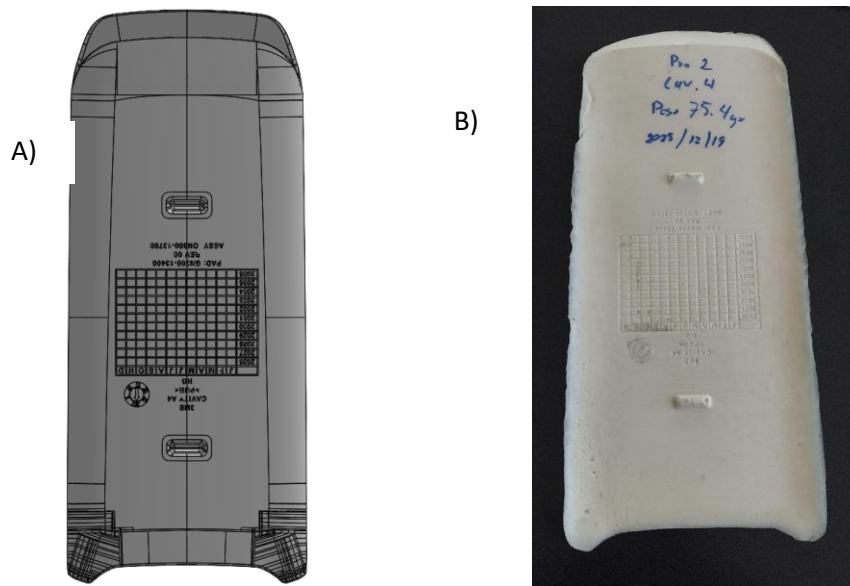


Figura 4.1 Pieza console (a) Diseño del cliente, (b) Pruebas físicas iniciales

Fuente: Archivo de proyecto, Funhedi S.A. de C.V., 2025.

4.2 Conclusiones

El objetivo general del proyecto fue completado satisfactoriamente, con los objetivos específicos sirviendo como referencia. La metodología desarrollada permitió la aplicación de conocimientos de ingeniería en un contexto real de industria, esto considerando el diseño, calidad y posterior manufactura.

El diseño terminado presenta, un sistema de dos cavidades, con el sistema de calefacción integrado y todos los componentes auxiliares necesarios, manejar el diseño completo permite a la empresa tener una mayor visión para la manufactura, esto debido a que es posible observar el producto final y todas las consideraciones que se deben de tener para los demás componentes.

La documentación generada basada en el diseño consiste en un plano del ensamble, la lista de materiales (BOM) y diversas notas para una mayor comprensión, esto nos asegura que la información sea interpretada correctamente durante la fabricación, cumpliendo con las especificaciones del cliente.

Pese a que todo esto fue un proceso de aprendizaje, es posible identificar oportunidades de mejora. Por ejemplo, el molde fue fabricado en aluminio 6061, la evaluación de diferentes aleaciones con mayor conductividad térmica podría reducir tiempos de ciclo. Además, considerando la importancia del sistema de venteo para evitar defectos como, por ejemplo, llenado incompleto o gases atrapados, sería recomendable considerar una evaluación de la eficiencia del venteo, agregando canales adicionales si fuera necesario.

El trabajo realizado establece una base técnica sólida para implementar estas mejoras en futuras iteraciones del diseño y de ser posible, optimizar aún más el proceso de producción.

Capítulo V: Competencias desarrolladas y/o aplicadas

Este proyecto demandó el uso, aplicación y desarrollo de un conjunto de competencias alineadas con los requerimientos de ingeniería, en este proyecto con el desarrollo de un diseño desarrollado por ingeniería automotriz

Competencias específicas

- Diseño Asistido por Computadora (CAD): Para el desarrollo del proyecto se utilizó el software Solidworks para el diseño de componentes complejos, tales como las cavidades, el núcleo, el sistema de calefacción, estructura del molde; esto asegura que todas las partes encajen en un ensamble funcional.
- Gestión de Proyectos de Ingeniería: La metodología utilizada se estructuró en 4 etapas definidas, las cuales pasaban desde la investigación, análisis, desarrollo y documentación, y como resultado permite entregar un diseño completo y aprobado dentro de los parámetros establecidos.
- Aplicación de Normativas Técnicas: Se estudió la norma IATF 16949 y se observó un flujo de trabajo similar al APQP, cumpliendo con trazabilidad y documentación como el plano y la lista de materiales.

Competencias genéricas

- **Análisis de Información Técnica y Toma de Decisiones:** Se hizo una evaluación y síntesis de información derivada de asesores y literatura técnica para fundamentar decisiones de diseño.
- **Comunicación Técnica Efectiva:** La capacidad de redactar documentación clara y concisa como este reporte fue fortalecida, transmitiendo criterios, fundamentos y justificaciones de una forma académica y profesional.
- **Pensamiento Sistémico:** Este proyecto se desarrolló aplicando un enfoque integral, considerando las interacciones entre diseño del molde, el material, el proceso de fabricación del cliente y los requisitos del producto, percibiendo el proyecto como un sistema y no como elementos aislados.

Bibliografía

- [1] V. Martínez, A. Duque, J. Cruz y P. Fernandez, «Proceso de Fundición en Espuma Perdida para la Fabricación de Autopartes,» Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2007.
- [2] Xometry, «Xometry.pro,» 26 junio 2025. [En línea]. Available: <https://xometry.pro/es/articulos/moldeo-por-inyeccion-de-espuma/>.
- [3] G. Quintero, L. Burbano García y T. d. J. Molina Gutierrez, «Marco teórico en las tesis de posgrado: ¿transcripción de teorías o fundamentación epistémica del estudio?,» *Revista Digital de Ciencia*, vol. 5, pp. pp. 1029-1042, 2018.
- [4] O. Hernandez Ovando, «slideshare.net,» 2015. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/slideshow/fundamentos-de-cad/14272424>.
- [5] J. C. Carrasco García, «Tecnología Avanzada del Diseño y Manufactura Asistidos por Computador - CAD/CAM,» *Prospectiva*, vol. 4, nº 1, pp. pp 75-81, 2006.
- [6] Z. Bi y W. Xiaoquin , Computer Aided Design and Manufacturing, Chennai, India: John Wiley & Sons Ltd, 2020, pp. pp 1-10.
- [7] M. Groover, Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems, 7 ed., John Wiley & Sons Ltd, 2019.
- [8] M. Martínez Chumillas, «Poliuretano Proyectado e Inyectado,» CTE, Madrid, 2020.
- [9] A. Hernandez García, «Aplicación comparativa de diferentes FOAM reticulado para valorar desempeño y costos en insertos laminados para respaldos de asientos,» CIATEC, Leon, Guanajuato, 2018.
- [10] EUROPUR, «Hoja de datos técnicos sobre el producto,» EUROPUR, 2020.
- [11] D. Kempner y V. Sendjarevic, Título: Polymeric Foams and Foam Technology, 2 ed., Munich: Hanser Publisher, 2004.
- [12] C. Yañez, «SISTEMA DE GESTIÓN DE,» Internacional Eventos, 2008.
- [13] Á. A. Franco Baltazar, M. B. Becerra Rodríguez, A. Hernández Hernández, I. E. López Navarro y J. M. Zea Pérez, «Manual para la aplicación de la norma IATF 16949-2016 en departamentos de producción y mantenimiento,» *EDUCATECONCIENCIA*, vol. 29, nº 33, pp. pp. 209-229, 2021.
- [14] Chrysler Corporation, Ford Motor Company, and General Motors Corporation, «Advanced Product Quality Planning (APQP),» AIAG, 1994.

- [15] J. S. Olmedo Méndez, «La Gestión de Proyectos en una empresa manufacturera del sector automotriz mediante las herramientas APQP y Core Tools,» Universidad Iberoamericana Puebla, Puebla, 2017.
- [16] S. R. Sopher y G. C. Granthen, «Material and Design Innovation Techniques for Expanded Polypropylene (EPP) Products Used in Automotive Interior Applications,» *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, vol. 4, nº 1, pp. pp. 440-448, 2011.
- [17] R. Sadiku, D. Ibrahim y O. Agboola, *Polyolefin Fibras*, 2 ed., The Textile Institute Book Series, 2017, pp. pp. 449-496.
- [18] B. I. Caiza Arroyo y E. D. Salazar Tiban, *Fundamentación teórica del perfeccionamiento de interiores automotrices según metodologías*, Escuela Politecnica de Chimborazo, 2024.