



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2026,
Volumen 10, Número 3.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i3

**DISEÑO DE UN MOLDE DE INYECCIÓN
EXPERIMENTAL PARA ANALIZAR LA
INFLUENCIA DEL TIPO DE MATERIAL,
LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL Y EL ÁNGULO
DE SALIDA EN LA FUERZA DE EYECCIÓN**

DESIGN OF AN INJECTION MOLD TO STUDY THE RELATION
BETWEEN CRITICAL VARIABLES MATERIAL, ROUGHNESS AND
DRAFT ANGLE, WITH THE EJECTION FORCE

Gilberto Alejandro Pérez Avilés
Posgrado CIATEQ, México

Diseño de un Molde de Inyección Experimental para Analizar la Influencia del tipo de Material, la Rugosidad Superficial y el Ángulo de Salida en la Fuerza de Eyección

Gilberto Alejandro Pérez Avilés¹

gilberto.perez@ciateq.mx

<https://orcid.org/0009-0001-8783-6155>

Posgrado CIATEQ

México

RESUMEN

El moldeo por inyección es uno de los procesos de transformación de plástico más representativos a nivel industrial. Se proyecta que, en 2029, el mercado alcance 7.24 millones de toneladas de plástico inyectado, con un crecimiento anual del 4.18 % (Mordor Intelligence, 2023). En este contexto, la optimización del diseño de moldes es clave para la eficiencia del proceso y garantizar la calidad de las piezas producidas. Este trabajo se centra en el diseño de un molde de inyección experimental para estudiar la influencia de tres variables: el ángulo de salida, la rugosidad superficial del molde y el tipo de material, sobre la fuerza de eyección necesaria para expulsar la pieza. Se realizó una búsqueda sistemática en Lens.org utilizando los términos 'draft angle + ejection force', identificando un crecimiento de publicaciones a partir del año 2000, lo que evidencia la relevancia del tema. El análisis de la literatura muestra que el estudio del proceso de inyección se relaciona con diversas áreas del conocimiento, entre ellas la ciencia de materiales, la ingeniería, la física y la medicina. Como antecedentes directos, se identificaron los trabajos experimentales de Murata et al., basados en molde instrumentados con sensores piezoeléctricos; los estudios de Maciariello sobre el efecto del ángulo de salida y la rugosidad en micro moldes; y las simulaciones por elementos finitos de Harris et al., las cuales muestran una posible ruta para la validación futura del diseño desarrollado para el presente estudio. A partir de estos referentes, se propone una unidad experimental modular basada en insertos intercambiables de cavidad y corazón, que permite variar de forma independiente el ángulo de salida, la rugosidad y el material, con el propósito de minimizar fuentes de ruido experimental y favorecer la repetibilidad de los ensayos.

Palabras clave: ángulo de salida, rugosidad superficial, fuerza de eyección, moldeo por inyección, diseño de moldes de inyección.

¹ Autor principal.

Correspondencia: gilberto.perez@ciateq.mx

Design of an Injection Mold to study the Relation Between Critical Variables Material, Roughness and Draft Angle, with the Ejection Force

ABSTRACT

Injection molding is one of the most representative plastic transformation processes at the industrial level. It is projected that, by 2029, the market will reach 7.24 million tons of injected plastic, with an annual growth rate of 4.18% (Mordor Intelligence, 2023). In this context, optimizing mold design is key to process efficiency and ensuring the quality of the produced parts. This work focuses on the design of an experimental injection mold to study the influence of three variables—draft angle, mold surface roughness, and material type—on the ejection force required to eject the part. A systematic search was conducted on Lens.org using the terms 'draft angle + ejection force', identifying a growth in publications since 2000, which demonstrates the relevance of the topic. The literature review shows that the study of the injection molding process is related to various fields of knowledge, including materials science, engineering, physics, and medicine. As direct precedents, the experimental work of Murata et al., based on molds instrumented with piezoelectric sensors, was identified, as well as the studies by Maciariello on the effect of draft angle and roughness in micromolds, and the finite element simulations of Harris et al., which show a possible path for the future validation of the design developed for this study. Based on these references, a modular experimental unit is proposed, based on interchangeable cavity and core inserts, which allows independent variation of draft angle, roughness, and material, with the aim of minimizing sources of experimental noise and promoting the repeatability of the tests.

Keywords: draft angle, surface roughness, ejection force, injection molding, injection mold design.

*Artículo recibido 20 mayo 2026
Aceptado para publicación: 20 junio 2026*



INTRODUCCIÓN

El moldeo por inyección es uno de los procesos de transformación más utilizados en la fabricación de productos plásticos a gran escala. Su aplicación abarca desde artículos de uso cotidiano, utensilios, componentes y textiles, hasta dispositivos médicos, piezas para las industrias automotriz y aeroespacial. Debido a esto, los polímeros se han integrado de manera omnipresente en la vida diaria y en la mayoría de los sectores productivos. Sin embargo, el crecimiento en el uso de materiales plásticos también ha evidenciado desafíos relacionados con su producción, procesamiento, rendimiento energético, reciclabilidad y disposición final. En este sentido, la optimización de los productos y de los herramientas empleados en su manufactura resulta fundamental para mejorar la eficiencia del proceso, reducir desperdicios y favorecer una producción más controlada y sostenible (Andrés López, 2020; Editorial Etecé, 2023; Ellen MacArthur Foundation & McKinsey & Company, 2016; Science History Institute, 2025).

Dentro del proceso de moldeo por inyección, la etapa de eyección representa un aspecto crítico, ya que una fuerza excesiva para expulsar la pieza puede provocar deformaciones, marcas superficiales, fallas dimensionales, desgaste prematuro del molde e interrupciones en la producción. Entre los factores que influyen en esta fuerza se encuentran el ángulo de salida, la rugosidad superficial de las zonas de contacto entre el polímero y el molde, así como el tipo de material inyectado. No obstante, en la literatura se observa que estas variables suelen estudiarse de manera aislada o bajo condiciones específicas, lo que limita su aplicación directa en entornos industriales convencionales.

El objeto de este estudio es diseñar de un molde de inyección experimental, concebido como una unidad de prueba modular y escalable, que permita analizar de manera objetiva la influencia del ángulo de salida, la rugosidad superficial de las zonas moldantes y el material de la pieza inyectada sobre la fuerza de eyección. A partir del análisis de trabajos previos, se busca atender los vacíos identificados en la literatura y aplicar recomendaciones actuales para el diseño de moldes de inyección y piezas plásticas, con el propósito de obtener una propuesta representativa, repetible y adaptable a condiciones industriales reales.

METODOLOGÍA

La metodología se desarrolló en cuatro etapas: identificación de la relevancia y estado del arte, búsqueda sistemática de proyectos similares, planteamiento de la unidad experimental y definición de directrices de diseño para el espécimen y el molde experimental.

Identificación de la relevancia y estado del arte: La fundamentación del estudio inició con una búsqueda sistemática en la base de datos Lens.org utilizando los términos "draft angle" y "ejection force". Esta plataforma fue seleccionada por su capacidad para analizar tendencias en publicaciones científicas, vincular la producción académica con desarrollos tecnológicos y patentes, así como identificar la co-ocurrencia de términos, lo que permite cuantificar el impacto transversal en disciplinas afines.

Búsqueda sistemática de proyectos similares, análisis de vacíos y limitaciones: De forma complementaria al análisis bibliométrico, se realizó una búsqueda sistemática de estudios de investigación afines en bases de datos académicas reconocidas y confiables, incluyendo Scopus, Web of Science y Google Scholar. Los términos de búsqueda seleccionados fueron "draft angle", "ejection force", "injection molding", "demolding resistance" y "surface roughness", empleando operadores booleanos (AND, OR) para limitar el dominio de los resultados. Se priorizaron los estudios publicados en los últimos 25 años, debido a la maduración de la tecnología del moldeo por inyección como un proceso consolidado y de uso generalizado en el plano industrial mundial.

A partir de esta búsqueda, se identificaron los trabajos más relevantes y directamente vinculados con las variables de interés del presente estudio. Los resultados de esta fase se presentan en la siguiente sección, donde se sintetizan estos antecedentes, destacando sus aportes, metodologías y limitaciones.

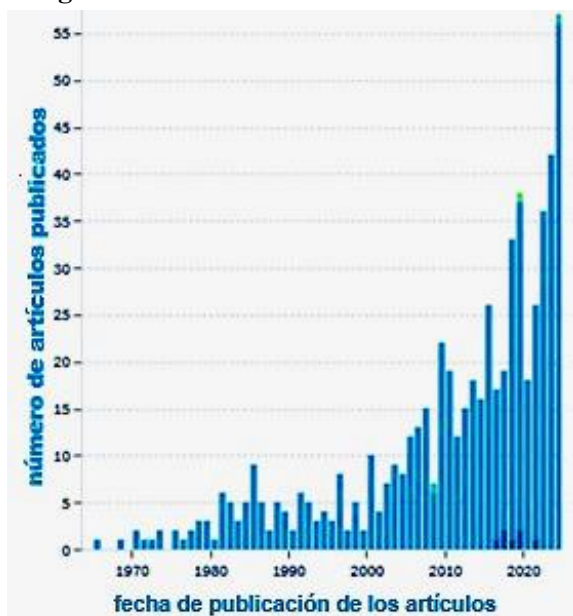
Planteamiento de la unidad experimental y análisis de ruido: A partir de las variables identificadas en la etapa de búsqueda sistemática de proyectos similares, análisis de vacíos y limitaciones, se plantea la unidad experimental con los siguientes propósitos: identificar los factores susceptibles de control, distinguir aquellos factores que son resilientes al control o que generan ruido, analizar el ruido del proceso con el fin de minimizarlo, definir las entradas y las salidas del proceso (máquina de inyección + molde de inyección) y su cuantificación, tomando en cuenta la compatibilidad de esta unidad experimental con un diseño de experimentos acorde en un futuro.

Directrices de diseño para el espécimen de inyección y el molde experimental: La definición de la unidad experimental se transforma en intenciones de diseño que cubren los vacíos identificados en trabajos previos, con especial atención en la reducción o eliminación del ruido, la representatividad y escalabilidad industrial de la unidad de prueba.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Identificación de la relevancia y estado del arte: Mediante un análisis de la evolución anual del número de publicaciones relacionadas con esta temática, se identificó un crecimiento sostenido en los trabajos publicados desde el año 2000 (Imagen 1), evidencia del creciente interés y la necesidad de optimizar las variables de diseño de moldes de inyección. (Lens.org, 2025)

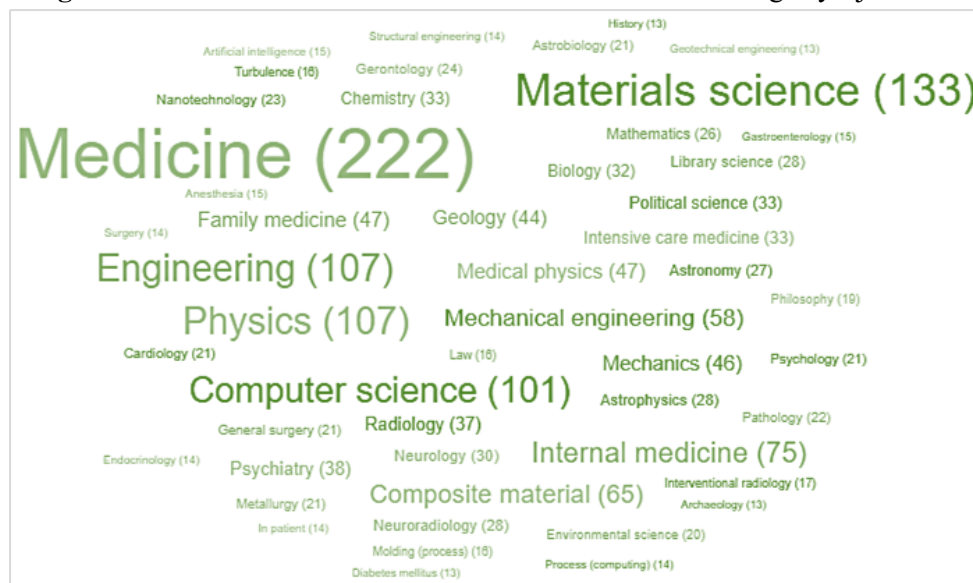
Imagen 1.



Evolución anual del número de publicaciones que contienen los términos 'draft angle' y 'ejection force' en Lens.org (2024). Se observa un crecimiento sostenido a partir del año 2000(Lens.org, 2025).

El análisis de co-ocurrencia (Imagen 2), muestra los campos en los que el presente estudio impacta transversalmente: medicina, ciencia de materiales, ingeniería y física(Lens.org, 2025).

Imagen 2. Red de coocurrencia de términos asociados a 'draft angle' y 'ejection force'.



El mayor tamaño indica disciplinas con vinculación más fuerte a la temática(Lens.org, 2025).

Búsqueda sistemática de proyectos similares, análisis de vacíos y limitaciones: El análisis de la Tabla 1 permite observar que, si bien existe un creciente interés en el estudio de la posible relación entre el ángulo de salida, la rugosidad superficial y la fuerza de desmoldeo, la mayoría de los estudios abordan estas variables de forma aislada o en condiciones muy específicas (micromoldes, cavidades obtenidas por manufactura aditiva, materiales y tratamientos especializados). En la literatura revisada no se identificaron estudios que integren simultáneamente las tres variables (ángulo de salida, rugosidad superficial y tipo de material) en un diseño experimental modular que permita su ejecución práctica y que sea fácilmente escalable a un entorno industrial con máquinas de inyección convencionales y materiales con mayor representación en el mercado (ABS, PA, PC, PE, PET, PP, etc.). El presente estudio es un puente para la brecha industrial entre la investigación, la academia y la industria, lo cual permitirá pasar del laboratorio a los despachos de diseño y las mesas de trabajo en las fábricas y talleres de los fabricantes de herramientas.

Tabla 1. Síntesis de las referencias más representativas identificadas en la búsqueda sistemática, con indicación de los factores estudiados, metodología empleada, principales aportes y limitaciones detectadas

Referencia	Factores estudiados	Metodología	Aportes principales	Vacío / Limitación
Blaisdell (1996)	Ángulo de salida cero	Experimental (radomo de pared gruesa)	Viabilidad de moldeo con ángulo de salida cero	Caso muy específico, no generalizable
Cedorge & Colton (2000)	Ángulo de salida, rugosidad superficial	Experimental (moldes de estereolitografía)	Evaluación de ambos factores, pero con moldes de estereolitografía (impresos en rugosidades atípicas 3D)	Limitado a moldes de estereolitografía, con rugosidades atípicas
Wang et al. (2000)	Fuerza de eyección	Simulación numérica y experimental	Predicción de fuerzas de eyección	Sin enfoque sistemático en ángulo de salida o rugosidad
Kobayashi et al. (2001)	Rugosidad del núcleo, fuerza de eyección	Experimental	Relación entre rugosidad superficial del núcleo y fuerza de eyección	No considera ángulo de salida ni variación de materiales
Pontes et al. (2001)	Fuerza de eyección	Experimental (piezas tubulares)	Evaluación de fuerzas de eyección en geometrías tubulares	Limitado a geometrías específicas (tubos)
Harris et al. (2002)	Ángulo de salida, espesor de capa	Experimental (moldes de estereolitografía)	Relación lineal entre ángulo de salida y fuerza de eyección	Limitado a geometrías simples (PP) y moldes de estereolitografía
Bataineh & Klamecki (2005)	Fuerza de eyección local	Simulación y validación experimental	Predicción de fuerzas de eyección locales mediante simulación	Modelo limitado a condiciones específicas, no incluye rugosidad ni ángulo como variables principales
Martins et al. (2014)	Fuerzas de eyección	Experimental (piezas tubulares de delgada)	Estudio de fuerzas de eyección en geometría tubular	Limitado a paredes delgadas y geometría tubular
Jong et al. (2017)	Ángulo de salida (draft angle)	Software y algoritmos	Reconocimiento y construcción automática de ángulos de salida	Enfoque computacional para diseño, no experimental
Oota et al. (2018)	Fuerza de desmoldeo	Experimental (sensor piezoeléctrico)	Desarrollo de sistema de medición de fuerzas de desmoldeo	Estudio centrado en la medición, no en variables de diseño
Murata et al. (2019)	Fuerza de desmoldeo	Experimental instrumentado (sensores de cuarzo)	Desarrollo de molde de alta precisión para medir resistencia al desmoldeo	Dispositivo complejo; no correlaciona con rugosidad ni material
Radi & Goulden (2020)	Ángulo de salida nulo o bajo	Método y sistema patentado	Propuesta de sistema para moldes con ángulo cero o bajo	Enfoque industrial, no sistemático
Maciariello et al. (2024)	Ángulo de salida, rugosidad superficial, temperatura del molde, presión de empaque	Experimental (microinyección, sensor piezoeléctrico)	Evaluación sistemática de factores; interacción entre temperatura del molde y rugosidad según el material (PP y COC)	Limitado a micro moldes y polímeros específicos.
Chen et al. (2025)	Ángulo de salida, textura superficial, exactitud dimensional	Experimental	Efecto del ángulo de salida en la calidad superficial de semicristalinos y amorfos	Estudio centrado en calidad superficial, no en fuerzas de eyección

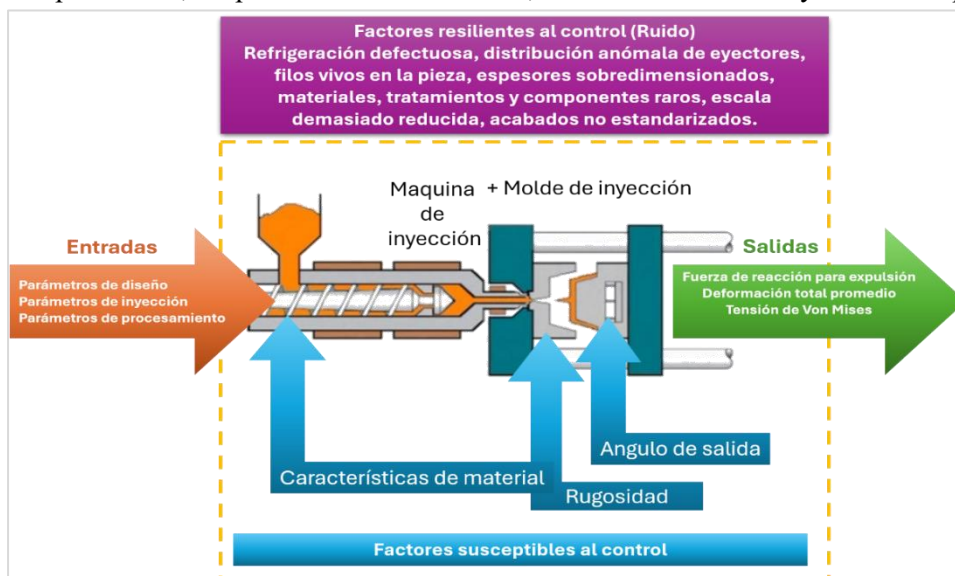
Elaboración propia



Planteamiento de la unidad experimental: A partir de las variables identificadas en la etapa de búsqueda sistemática y considerando los vacíos detectados en la Tabla 1 —específicamente, la falta de estudios que integren estas tres variables en un diseño modular práctico y escalable—, el concepto de la unidad experimental se muestra en la Imagen 3 con los siguientes propósitos:

- Identificar factores susceptibles de control (ángulo de salida, rugosidad superficial, tipo de material).
- Distinguir aquellos factores que son resilientes al control o que generan ruido (temperatura ambiente, variaciones en la fuerza ejercida por la distribución de los eyectores, geometría propensa a adherirse, desgaste de insertos, humedad del material, etc.).
- Definir las entradas del proceso (máquina de inyección de termoplásticos + molde de inyección) y las salidas del proceso (fuerza de eyección, calidad superficial, deformación de la pieza) junto con su cuantificación (Beltrán Rico Maribel & Marcilla Gomis Antonio, 2012; Dr. Friedrich Johannaber, 2008; GE Engineering Thermoplastics, 1998c; Singh, 2017).
- Establecer las bases para la compatibilidad de esta unidad experimental con un diseño de experimentos (DOE) en una etapa futura (Gutiérrez Pulido, 2012).

Imagen 3. Diagrama conceptual de la unidad de experimentación, en la que se muestra las variables independientes, las posibles fuentes de ruido, así como las entradas y salidas del proceso.



Identificación de fuentes de ruido inherentes al diseño: Además de las variables controlables (ángulo de salida, rugosidad superficial y material), se revisaron aquellas decisiones de diseño que, si no se abordan adecuadamente, introducen ruido experimental incluso antes del inicio del proceso de inyección. Estas fuentes de ruido se clasificaron en cuatro categorías:

- Ruido de origen geométrico (geometría de la probeta): La geometría de la pieza, y por consiguiente la del corazón y la cavidad, suele afectar el desempeño de la lectura de la fuerza de eyección si estas tienen una geometría compleja o difícil de controlar al momento de la fabricación. Aunque en la mayoría de los estudios anteriores se utilizan geometrías cilíndricas estrechas, la realidad es que son difíciles de controlar, pues el ángulo en estas superficies suele obtenerse mediante complejos procesos de rectificado cilíndrico que terminan eliminando la variable de rugosidad o bien terminan compensándola a mano. En este sentido, el diseño propuesto evita el ruido al optar por una geometría de prisma cuadrangular en la que se mantiene la altura constante y se alteran los ángulos de salida de las caras adyacentes de forma simultánea.
- Ruido de origen geométrico (espesor de la probeta): Las variaciones en el espesor de pared de la pieza inyectada generan contracciones diferenciales durante el enfriamiento, lo que introduce tensiones internas que pueden incrementar artificialmente la fuerza de eyección. Para eliminar esta fuente de ruido, la probeta se diseñó con un espesor de pared constante de 2 mm en toda su geometría, evitando cambios bruscos de sección que pudieran confundirse con el efecto del ángulo de salida o de la rugosidad superficial.
- Ruido de origen geométrico (radios de la probeta): Las aristas vivas (filos vivos) actúan como concentradores de tensiones durante la eyección, generando un efecto de "arado" que incrementa la fuerza medida sin que ello se deba a las variables de estudio. Además, las aristas vivas son más propensas al desgaste y a la deformación local. Para minimizar este ruido, se incorporaron radios de al menos 0.5 mm en todas las aristas de la pieza, especialmente en las zonas de contacto con el núcleo y en las aristas de expulsión. Este radio, además de reducir la concentración de tensiones, facilita el deslizamiento de la pieza durante la eyección (Bayer Engineering Polymers, 2000; Catoen & Rees, 2021; Eastman Chemical Company, 2017; GE Engineering Thermoplastics, 1998a;

Konstruieren, 2004; TICONA Engineering Polymers, 2006).

- Ruido de origen térmico: El origen de este ruido se encuentra cuando la distribución de los canales de refrigeración es deficiente, lo que genera gradientes térmicos al interior del molde, afectando directamente la contracción de la pieza y, por lo tanto, la fuerza de eyección. Para minimizar este ruido, los canales de refrigeración se diseñaron siguiendo la regla de distancia mínima a la superficie equivalente a un diámetro del barreno que forma el circuito, y al menos una distancia de más 10 mm entre ellos, con disposición en serie y deflectores de flujo (baffles) para inducir turbulencia y maximizar la eficiencia de enfriamiento(Catoen & Rees, 2021; Dawson et al., 2008; GE Engineering Thermoplastics, 1998b; Osswald et al., 2008; Rees, 2001; V. Rosato Dominick et al., 2000).
- Ruido de origen plástico (sistema de inyección): Este ruido es causado por una mala selección del sistema de inyección y por la ubicación y geometría del punto de inyección en conjunto con la pieza. Un punto de inyección desbalanceado creará frentes de flujo asimétricos que inducirán esfuerzos poco predecibles en la pieza, lo que provocará una lectura errónea de la fuerza de eyección necesaria para expulsar la pieza. En nuestro diseño se optó por un canal frío y un punto de inyección directo centrado sobre la cara superior del prisma con el fin de evitar este ruido(Bayer Engineering Polymers, 2000; Beltrán Rico Maribel & Marcilla Gomis Antonio, 2012; Gastrow H; Unger P., 2006; GE Engineering Thermoplastics, 1998c; Rees, 2001).
- Ruido de origen mecánico (sistema de expulsión): El uso de expulsores puntuales puede generar concentraciones de tensión y deformaciones locales en la pieza durante la eyección, introduciendo variabilidad en la medición de la fuerza de eyección. Para evitar este ruido, se optó por una placa expulsora completa que distribuye la fuerza de manera uniforme sobre toda la base de la pieza (Catoen & Rees, 2021; Eastman Chemical Company, 2017; Gastrow H; Unger P., 2006; GE Engineering Thermoplastics, 1998c; Rees, 2001).
- Ruido de origen superficial (acabado del molde): El acabado manual de las superficies del molde puede generar rugosidades variables, incluso dentro de una misma pieza. Para controlar esta fuente de ruido, se definieron rugosidades objetivo ($1.6\text{ }\mu\text{m}$ y $3.2\text{ }\mu\text{m}$ Ra), las cuales serán obtenidas

únicamente mediante el empleo directo de maquinado paralelo a la dirección de desmoldeo en máquinas de control numérico CNC. Esto evita toda fuente de variación inherente al factor humano y a las tareas manuales, al tiempo que estandariza el proceso (Chen et al., 2025; VDI-3400-Surface-Draft-Angle-Reference, 1975).

Directrices de diseño del espécimen y del molde experimental

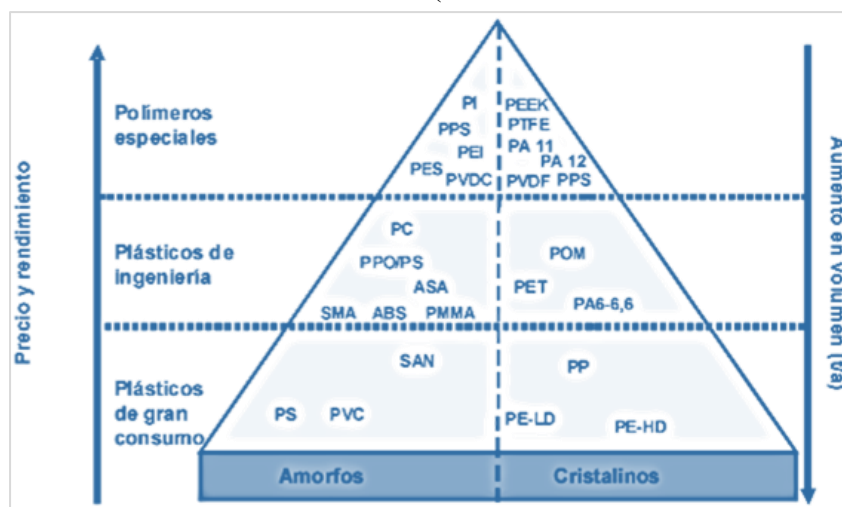
A partir del análisis de ruido y de los propósitos definidos para la unidad experimental, se establecieron las siguientes directrices de diseño, organizadas en dos grupos: las correspondientes a la pieza de prueba (espécimen) y las correspondientes al molde de inyección.

Directrices para el espécimen:

Geometría: prisma cuadrangular de altura constante (40 mm), con ángulos de salida variables en las caras adyacentes a la cara opuesta a la base. Esta geometría se seleccionó teniendo en cuenta las limitaciones de los trabajos anteriores, por ser más estable y por aportar un enfoque diferente al de las piezas tubulares o cilíndricas, ya bastante exploradas.

Materiales: PE (polietileno), ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), PA (poliamida) —seis variantes: LDPE (polietileno de baja densidad), HDPE (polietileno de alta densidad), ABS, ABS/GF30 (ABS con refuerzo de fibra de vidrio al 30 %), PA11 y PA12—. La selección de los materiales se llevó a cabo teniendo en cuenta la pirámide de clasificación de los termoplásticos (Imagen 4), considerando un polímero por sección y alternando entre cristalinos y amorfos, para que el diseño fuera representativo. Como se puede observar, los materiales seleccionados cuentan con dos niveles cada uno, con el fin de implementar estas características en un futuro DOE.

Imagen 4 Clasificación estructural-funcional de los termoplásticos, según precio y rendimiento/volumen en el mercado (Ministerio De Medio Ambiente Y Medio Rural Y Marino, 2009)



Espesor de pared: El espesor de pared constante de 2 mm se encuentra dentro del rango recomendado para los materiales seleccionados (PE, ABS, PA) y evita contracciones diferenciales.

Ángulos de salida: Los ángulos de salida (0.0°, 0.5°, 1.0°, 3.0°) cubren el espectro desde la fricción pura hasta la liberación asegurada, siguiendo las recomendaciones de Maciariello et al. (2024) y Harris et al. (2002).

Radios: 6.5 mm (aproximadamente ¼ de pulgada) en todas las aristas.

Directrices para el molde:

Dimensionamiento y peso: tamaño suficiente para alojarse en máquinas de inyección de 40 a 100 toneladas; peso estimado entre 60 y 90 kg.

Guiado: pernos y bujes tradicionales, distribuidos simétricamente en las esquinas del molde.

Estructura: componentes normalizados (portamolde estándar), con cavidad y núcleo insertados (arquitectura modular).

Sistema de inyección: colada fría, con compuerta directa centrada en la cara opuesta a la base del espécimen.

Sistema de expulsión: placa expulsora completa (no eyectores puntuales para evitar la distorsión en los resultados de la lectura de la fuerza de eyección).

Refrigeración: canales de Ø10 mm, dispuestos en serie con baffles, paralelos a las superficies activas y con distancia mínima a la superficie equivalente a un diámetro.

Materiales del molde: acero 1.1730 (AISI 1045) para la estructura (placas, portamolde, bujes) y acero 1.2311 (AISI P-20) para los insertos de cavidad y núcleo.

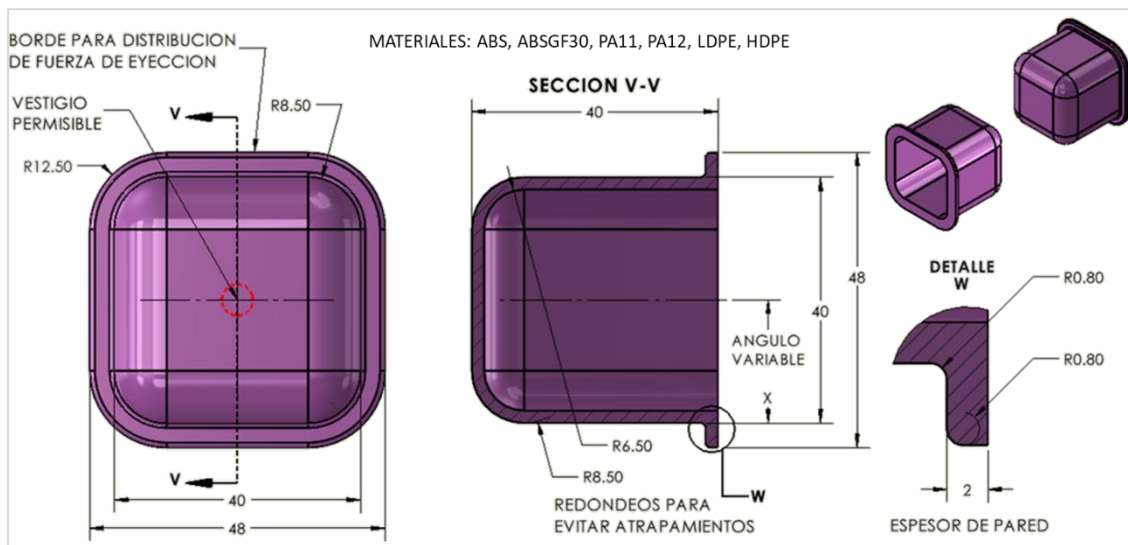
Acabados superficiales: Las rugosidades superficiales de 1.6 μm Ra para un acabado fino y 3.2 μm Ra para un acabado estándar, obtenidas por maquinado CNC (Control Numérico Computarizado) paralelo a la dirección de desmoldeo, permiten evaluar el efecto del acabado superficial sobre la fuerza de eyección, en línea con los trabajos de Kobayashi et al. (2001) y Maciariello et al. (2024).

En conjunto, las directrices de diseño adoptadas para el espécimen y el molde se basan en criterios ampliamente validados en la literatura especializada y en la experiencia industrial. A partir de estas definiciones, se desarrollaron los siguientes datos de manufactura (DFM) para la ingeniería del molde (Bayer Engineering Polymers, 2000; Catoen & Rees, 2021; Eastman Chemical Company, 2017; Gastrow H; Unger P., 2006; GE Engineering Thermoplastics, 1998a; Konstruieren, 2004; Osswald et al., 2008; Rees, 2001; Singh, 2017; TICONA Engineering Polymers, 2006; V. Rosato Dominick et al., 2000).

A continuación, se presentan los datos de manufactura (DFM) del molde y del espécimen, organizados en imágenes que detallan la geometría de la pieza o espécimen, el sistema de expulsión, los circuitos de refrigeración y los insertos intercambiables. Estas representaciones constituyen la base para la fabricación de la unidad experimental, si bien la validación y fabricación del diseño quedan en el alcance de futuros proyectos.

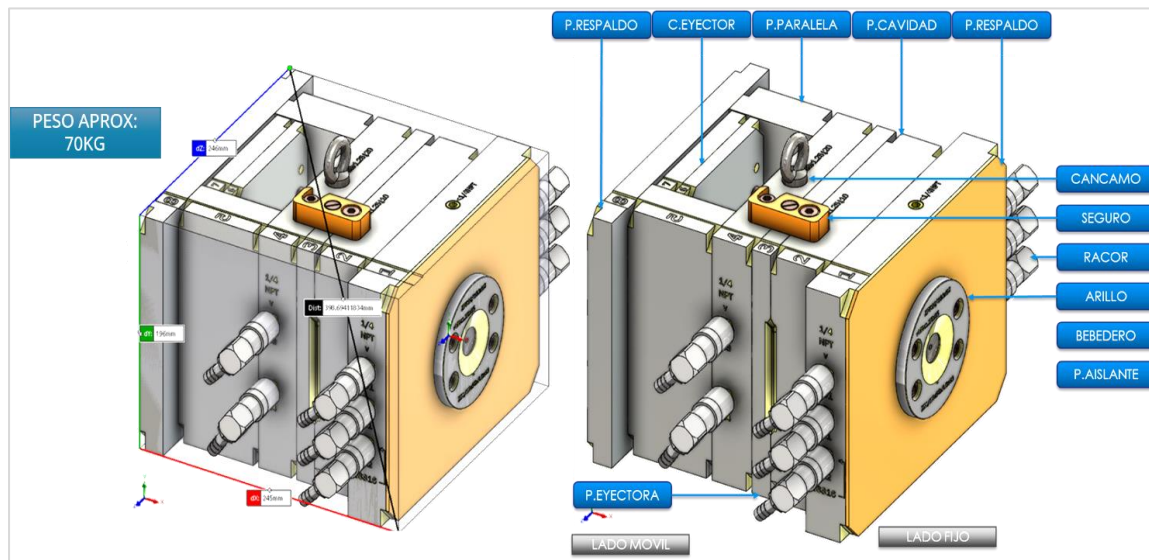
La Imagen 5 muestra la geometría obtenida para evaluar la fuerza de eyección en función de las variables de estudio. A diferencia de estudios previos, la inclusión de los redondeos y el borde de expulsión, permite distribuir uniformemente la fuerza de eyección.

Imagen 5. Geometría del espécimen de inyección (elaboración propia)



En la siguiente imagen (Imagen 6) se muestran las dimensiones generales del molde, la estructura y algunos componentes externos. Cabe destacar que el molde presenta un tamaño contenido; si bien es un molde pequeño, se aleja del entorno de los micro moldes con el fin de obtener resultados más representativos para el ámbito industrial.

Imagen 6 dimensiones generales del molde de inyección (unidad de prueba escalable) 245 mm de largo x 246 mm de ancho x 196 mm de alto con un peso aproximado de 70 kg. Dimensiones que lo vuelven práctico y apto para montarse en máquinas de 40-70 t.



Elaboración propia

A continuación, la Imagen 7 muestra la apertura del molde: el lado fijo con los insertos de cavidad y el lado móvil con el inserto del corazón. Estos insertos son intercambiables y pueden ser reemplazados desde el frente, lo que permitirá agilizar los experimentos y facilitar el mantenimiento.

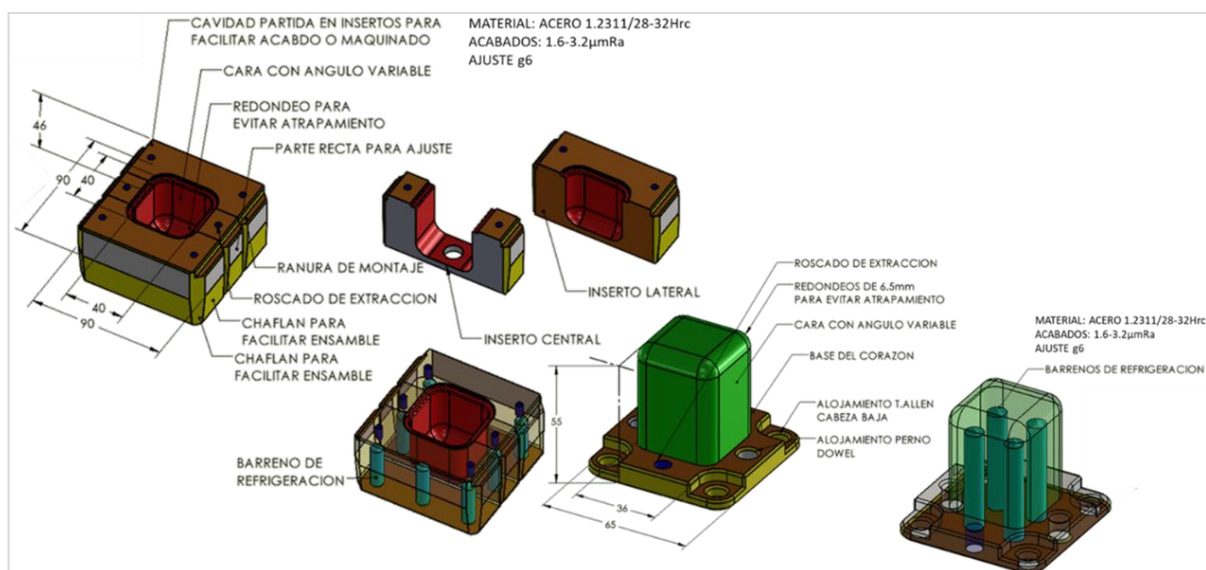
Imagen 7. Lado móvil y fijo del molde con sus respectivos insertos intercambiables de corazón y cavidad



Elaboración propia

La Imagen 8 muestra en detalle los insertos de cavidad y corazón. Pueden observarse los ángulos de salida variables (0.0° , 0.5° , 1.0° y 3.0°) que pueden controlarse mediante el cambio de insertos, así como los elementos de fijación (tornillos, pernos de centrado) y las vías de refrigeración integradas en los insertos.

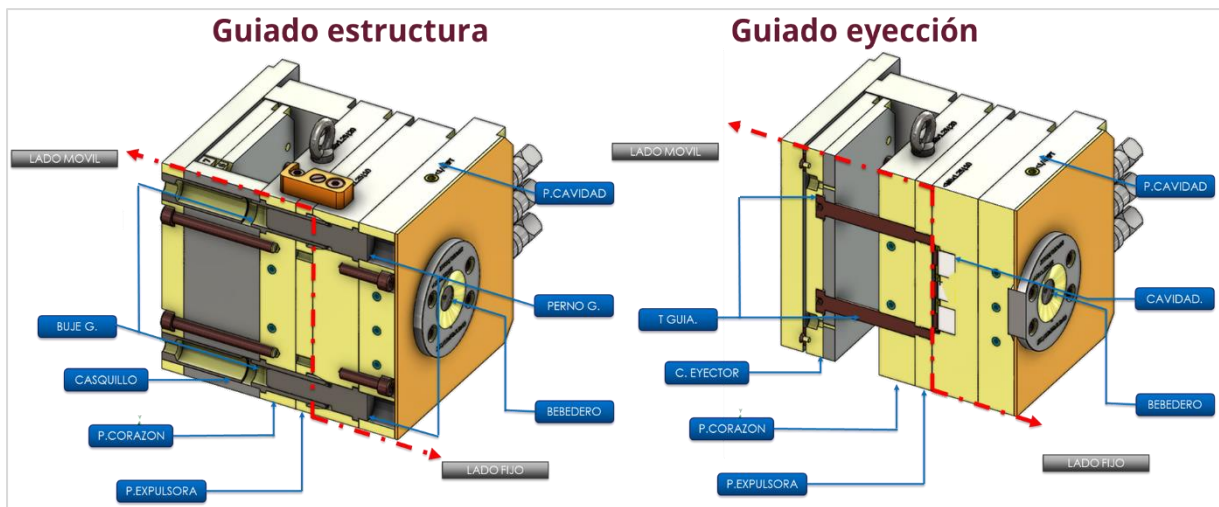
Imagen 8. Detalles de los insertos de corazón y cavidad, se puede observar el sistema de refrigeración uniforme y los ángulos que pueden controlarse simultáneamente debido a la segmentación práctica de los insertos.



Elaboración propia

Posteriormente en la Imagen 9 se aprecian los elementos de guiado de la estructura (bujes y pernos guía) y el sistema de eyección mediante pernos limitadores. En su mayoría, son componentes comerciales, lo que facilita su adquisición, mantenimiento y sustitución.

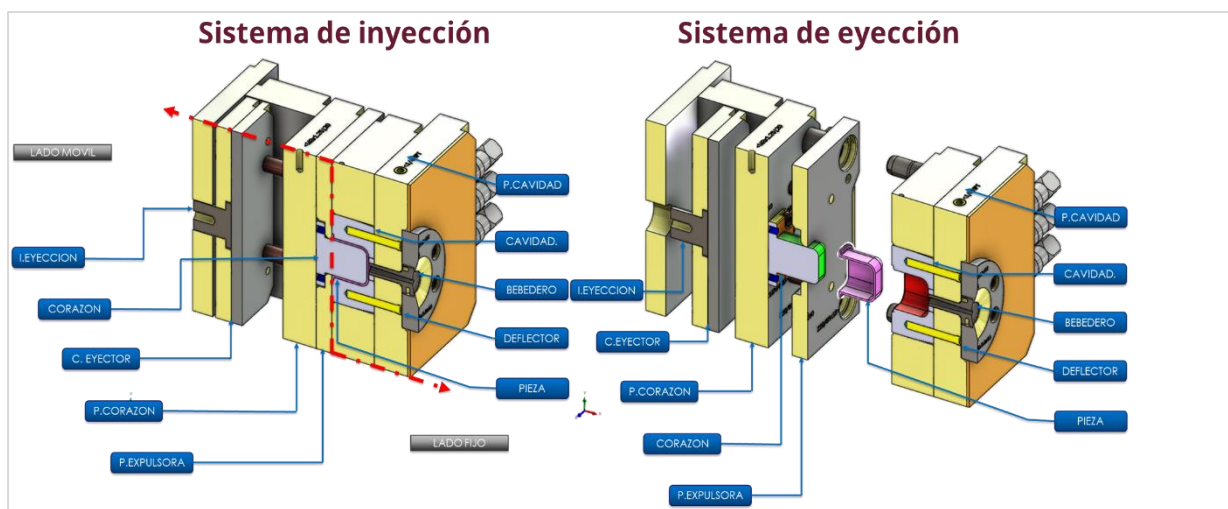
Imagen 9. Guiado de la estructura y la unidad de eyección con componentes comerciales intercambiables



Elaboración propia

La Imagen 10 muestra el sistema de inyección y eyección en un corte transversal del molde. En la parte superior se aprecia el punto de inyección directo centrado sobre la cara superior del espécimen (colada fría, compuerta directa). En el lado derecho se observa la expulsión de la pieza mediante la placa de eyección, que distribuye uniformemente la fuerza de eyección sobre la base del espécimen.

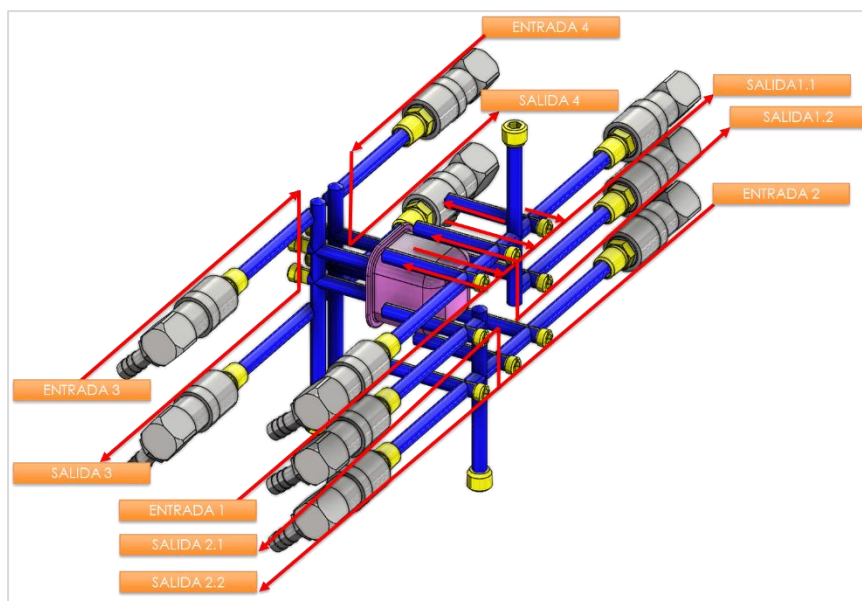
Imagen 10. Sistemas de inyección directa y eyección mediante placa del molde prototipo



Elaboración propia

Finalmente, la Imagen 11 muestra el sistema de refrigeración del molde, con canales de Ø10 mm dispuestos en serie y baffles para inducir turbulencia, garantizando un enfriamiento uniforme de la cavidad y el núcleo.

Imagen 11. Sistema de refrigeración óptimo mediante baffles en serie para incrementar la turbulencia.



CONCLUSIONES

El presente trabajo destaca principalmente el desarrollado conceptual y técnico del diseño del espécimen de inyección y de la unidad experimental, modular (corazones y cavidades intercambiables) y escalable para explorar la relación entre el ángulo de salida, la rugosidad de las superficies de contacto con el polímero, el tipo de material inyectado, y su influencia sobre la fuerza de eyección en el moldeo por inyección de termoplásticos. Este diseño está planteado para aislar dichas variables, facilitando la evaluación independiente de cada una de ellas. El análisis de las fuentes de ruido en el proceso y su influencia en el diseño para hacer los procesos más robustos y confiables constituye otro de sus principales aportes.

Son limitaciones del estudio —derivadas de las restricciones de tiempo y recursos— el hecho de que no se haya podido materializar el molde físicamente. Sin embargo, el presente trabajo sienta las bases firmes para una futura validación mediante métodos de elemento finito (MEF) y herramientas estadísticas como el diseño de experimentos (DOE).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andrés López, Gonzalo. (2020). Materiales: una historia sobre la evolución humana y los avances tecnológicos. Universidad de Burgos.
- Bayer Engineering Polymers. (2000). Part and Mold Design A Design Guide. www.bayer.com/polymers-usa:
- Beltrán Rico Maribel, & Marcilla Gomis Antonio. (2012). Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades (1st ed.). Universidad de Alicante.
- Catoen, B., & Rees, H. (2021). *Injection Mold Design Handbook*. Carl Hanser Verlag.
- Chen, H. L., Huang, P. W., & Huang, Y. S. (2025). Influence of Draft Angle Design on Surface Texture–Dimensional Accuracy Coupling in Injection-Molded Commodity and Engineering Polymers with Semi-Crystalline and Amorphous Characteristics. *Polymers*, 17(21). <https://doi.org/10.3390/polym17212892>
- Dawson, A., Rides, M., Allen, C. R. G., & Urquhart, J. M. (2008). Polymer-mould interface heat transfer coefficient measurements for polymer processing. *Polymer Testing*, 27(5), 555–565. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2008.02.007>
- Dr. Friedrich Johannaber. (2008). Injection Molding Machines A User's Guide (4th ed.). HANSER.
- Eastman Chemical Company. (2017). Eastman polymers Processing and mold design guidelines.
- Editorial Etecé. (2023, February 7). Historia del plástico - Invención, desarrollo y actualidad. <https://concepto.de/historia-del-plastico/>
- Ellen MacArthur Foundation, & McKinsey & Company. (2016). The New Plastics Economy Rethinking the future of plastics.
- Gastrow H; Unger P. (2006). *Gastrow Injection Molds 130 Proven Designs*. (4th ed.). HANSER.
- GE Engineering Thermoplastics. (1998a). Design Guide. <http://www.geplastics.com>
- GE Engineering Thermoplastics. (1998b). Injection Molding Design.
- GE Engineering Thermoplastics. (1998c). Injection Molding Processing Guide.
- Gutiérrez Pulido, H. de la V. S. R. (2012). Análisis y diseño de experimentos (3rd ed.). Mc Graw Hill. <https://www.facebook.com/pages/Interfase->



- Konstruieren, T. (2004). *Designing with engineering Plastics* (3 ed). Licharz technische kunststoffe.
www.licharz.de
- Lens.org. (2025, February). *Lens Scholarly Search_ ejection force and draft angle*.
<https://www.lens.org/lens/search/scholar/analysis?q=ejection%20force%20and%20draft%20angle>
- Ministerio De Medio Ambiente Y Medio Rural Y Marino. (2009). Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea Producción de Polímeros Documento BREF.
- Mordor Intelligence. (2023). Global Plastics Injection Molding Market(Study PERIOD:2019-2029).
- Osswald, T. A. ., Turng, L.-Sheng., & Gramann, P. J. . (2008). *Injection molding handbook*. Carl Hanser Publishers ; Hanser Gardner Publications.
- Rees, Herbert. (2001). *Understanding injection mold design*. Hanser Publishers ; Hanser Gardner Publications.
- Science History Institute. (2025). *history and future of plastics*.
<https://www.sciencehistory.org/education/classroom-activities/role-playing-games/case-of-plastics/history-and-future-of-plastics/>
- Singh, D. (2017). *A Guide to Injection Moulding Technique*. Mr.Dinbandhu Singh.
- TICONA Engineering Polymers. (2006). *Designing With Plastic The Fundamentals*. www.ticona.com
- V. Rosato Dominick, V. Rosato Donald, & G. Rosato Marlene. (2000). *Injection Molding Handbook* (THIRD). Kluwer Academic Publishers Group.
- VDI-3400-Surface-Draft-Angle-Reference, Verein Deutscher Ingenieure (1975).

