



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLDE DE RESINA PARA LA
ELABORACION DE PRODUCTOS DE POLIURETANO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniera Industrial

AUTORA: JAIREN ANAHI PILAPANTA CARAGUAY

TUTOR: ING. AUGUSTO VINICIO COQUE PAUCARIMA

Quito – Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, con JAIREN ANAHI PILAPANTA CARAGUAY documento de identificación N°: 1754493185 manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 2 de agosto de 2024

Atentamente,



JAIREN ANAHI PILAPANTA CARAGUAY

C.I: 1754493185

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, JAIREN ANAHI PILAPANTA CARAGUAY con documento de identificación N°: 1754493185, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del Trabajo de Titulación: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLDE DE RESINA PARA LA ELABORACION DE PRODUCTOS DE POLIURETANO", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 2 de agosto del 2024

Atentamente,



JAIREN ANAHI PILAPANTA CARAGUAY

C.I: 1754493185

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, AUGUSTO VINICIO COQUE PAUCARIMA con documento de identificación N°: 1718688516, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLDE DE RESINA PARA LA ELABORACION DE PRODUCTOS DE POLIURETANO", realizado por JAIREN ANAHI PILAPANTA CARAGUAY con documento de identificación N°1754493185, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Sistematización de prácticas de investigación y/o Intervención que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 2 de agosto del 2024

Atentamente,



AUGUSTO VINICIO COQUE PAUCARIMA

C.I: 1718688516

Dedicatoria

A mis amados padres, cuya paciencia y amor incondicional han sido el pilar de mi vida y el motor de mi esfuerzo. A mi hermana, por su apoyo constante y sus palabras de aliento. A mis primos, por su amistad y motivación que siempre iluminaron mi camino. A todos ustedes, gracias por ser mi inspiración y mi fuerza en cada paso de este viaje.

Agradecimiento

Este momento, tan esperado, marca el cierre de un viaje que comenzó hace cuatro años. Durante este tiempo, enfrenté numerosos desafíos, pero con paciencia y perseverancia, el proceso fue tomando forma, como si fuera un rompecabezas que finalmente encaja.

En primer lugar, expreso mi más sincero agradecimiento a Dios por brindarme la vida y la fortaleza necesarias para culminar este proyecto. A mis padres, cuyo amor incondicional y apoyo constante han sido el pilar fundamental en cada etapa de este camino. Sus esfuerzos y sacrificios han sido cruciales para alcanzar este logro.

A mi hermana, quien, a través de sus preguntas y curiosidades, me ofreció una fuente invaluable de inspiración. Su apoyo ha sido esencial para mantenerme motivado y enfocado. A mi mejor amiga, que siempre ha sido uno de los pilares más sólidos de mi vida. Gracias por su inquebrantable apoyo y por estar a mi lado en cada desafío, brindándome fortaleza y aliento.

Finalmente, a cualquier futuro ingeniero que lea estas palabras, le deseo el mayor de los éxitos en su camino. Que cada desafío sea una oportunidad para crecer y que cada logro sea el reflejo de su esfuerzo y dedicación. A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento. Este logro es tanto mío como de quienes me han acompañado y apoyado a lo largo de este viaje.

Resumen.

Este estudio presenta un análisis comparativo exhaustivo entre moldes de resina de bajo costo y moldes de acero tradicionales, con énfasis en el acero SISA P20, para la producción de productos de poliuretano en pequeñas y medianas empresas (PYMES). La investigación aborda aspectos técnicos, económicos y ambientales, empleando una metodología basada en el enfoque de Desarrollo de Producto. Se realiza una caracterización detallada de materiales, análisis de procesos de fabricación, evaluación económica comparativa, análisis de rendimiento operativo y estudio de sostenibilidad. Utilizando software CAD, se desarrolla un modelo 3D del molde de resina, optimizando materiales, tecnologías y procesos de fabricación. Los resultados revelan que los moldes de resina ofrecen ventajas significativas en términos de costos iniciales (81.5% menos que los moldes de acero) y flexibilidad de producción, siendo particularmente adecuados para series cortas y prototipos. Sin embargo, los moldes de acero mantienen su superioridad en durabilidad y precisión para producciones de alto volumen. Se concluye que la elección entre moldes de resina y acero debe basarse en un análisis cuidadoso de las necesidades específicas de cada PYME, considerando factores como volumen de producción, complejidad del producto, requisitos de precisión y estrategias de crecimiento a largo plazo. Esta investigación proporciona una base sólida para la toma de decisiones en la selección de materiales para moldes en la industria de inyección de plástico, especialmente relevante para PYMES en el contexto actual de innovación y competitividad.

Palabras clave: Molde de resina, poliuretano, PYMES, sostenibilidad, optimización de costos

Abstract.

This study presents a comprehensive comparative analysis between low-cost resin molds and traditional steel molds, with an emphasis on SISA P20 steel, to produce polyurethane products in small and medium-sized enterprises (SMEs). The research addresses technical, economic, and environmental aspects, employing a methodology based on the Product Development approach. A detailed characterization of materials, manufacturing process analysis, comparative economic evaluation, operational performance analysis, and sustainability study are conducted. Using CAD software, a 3D model of the resin mold is developed, optimizing materials, technologies, and manufacturing processes. The results reveal that resin molds offer significant advantages in terms of initial costs (81.5% less than steel molds) and production flexibility, being particularly suitable for short runs and prototypes. However, steel molds maintain their superiority in durability and precision for high-volume productions. It is concluded that the choice between resin and steel molds should be based on a careful analysis of the specific needs of each SME, considering factors such as production volume, product complexity, precision requirements, and long-term growth strategies. This research provides a solid foundation for decision-making in the selection of mold materials in the plastic injection industry, especially relevant for SMEs in the current context of innovation and competitiveness.

Keywords: Resin mold, polyurethane, SMEs, sustainability, cost optimization

Lista de contenido

	Pág.
Portada.....	I
Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación.....	II
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la universidad politécnica salesiana.....	III
Certificado de dirección del trabajo de titulación	IV
Dedicatoria	V
Agradecimiento	VI
Resumen.	VII
Abstract.	VIII
Introducción	1
Antecedentes	3
Problema de estudio	6
Justificación.....	9
Objetivo general	11
Objetivos específicos.....	11
Metodología	12
Capítulo I	14
Marco teórico.....	14
1.1 Aceros.....	14
1.1.1 Características	14
1.2 Tipos de acero.	16

1.2.1	Usos aplicativos del acero.....	17
1.3	Resinas Termoestables.....	18
1.3.1	Tipos de las resinas termoestables.....	19
1.3.2	Usos aplicativos.....	21
1.4	Poliuretano.....	22
1.4.1	Características.....	23
1.4.2	Usos aplicativos.....	24
1.5	Análisis financiero.....	25
1.5.1	Costos.....	25
1.5.2	Valor Actual Neto (VAN).....	26
1.5.3	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	27
1.6	Moldes de inyección.....	30
Capítulo II	34
	Materiales y metodología.....	34
2.1	Aceros.....	34
2.2	Acero P20.....	36
2.3	Análisis Económico Comparativo en molde de acero.....	37
2.4	Resinas.....	40
2.4.1	Tipos de resina a evaluar.....	40
2.5	Resina epoxica de Poliuretano.....	42
2.6	Resina epoxica de Poliéster.....	45
2.7	Resina epoxica de Cristal Poliéster.....	49

Capítulo III	62
Diseño y construcción de un molde de inyección.	62
3.1 Diseño del molde de inyección.	62
3.1.1 Dimensiones de los componentes para un molde de resina.	63
3.2 Proceso de fabricación de un molde de resina.	64
3.2.1 Selección del producto y creación del modelo:.....	65
3.2.2 Preparación de la base:	65
3.2.3 Fabricación del cuerpo exterior del molde:.....	66
3.2.4 Creación de la parte superior del molde:.....	66
3.2.5 Preparación y vertido de la resina:	67
3.2.6 Proceso de curado:	68
3.2.7 Acabado y ensamblaje final:	69
3.3 Análisis VAN y TIR.....	71
3.3.1 Análisis VAN y TIR para un molde en Acero P20.	71
3.3.2 Análisis VAN y TIR para un molde en resina de Poliuretano.	75
Conclusiones	79
Recomendaciones.....	81
Referencias.....	83
Anexo 1	87

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Tipos de acero</i>	16
Figura 2. <i>Tipos de resinas termoestables</i>	20
Figura 3. <i>Formula del VAN</i>	26
Figura 4. <i>Formula de TIR</i>	28
Figura 5. <i>Partes de un molde</i>	31
Figura 6. <i>Proceso de fabricación de un molde de inyección</i>	32
Figura 7. <i>Esquema de las resinas termoestables</i>	41
Figura 8. <i>Distribución de Inversión para Fabricación de Molde</i>	58
Figura 9. <i>Diseño del molde de resina en 3D</i>	63
Figura 10. <i>Plano de vistas del molde de inyección</i>	64
Figura 11. <i>Producto seleccionado</i>	65
Figura 12. <i>Diseño del contorno del producto</i>	65
Figura 13. <i>Base de soporte del producto</i>	66
Figura 14. <i>Caja de acero P20 y base de madera del producto</i>	66
Figura 15. <i>Cuerpo superior e inferior del molde en acero P20</i>	67
Figura 16 <i>Vaciado de la mezcla de resina de poliuretano</i>	67
Figura 17. <i>Molde resina curado</i>	68
Figura 18. <i>Molde de resina con acoples finales</i>	69
Figura 19. <i>Vista superior de la fabricación de un molde de resina</i>	70
Figura 20. <i>Vista lateral de la fabricación de un molde de resina</i>	70

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Características del material en acero [5]</i>	15
Tabla 2. <i>Características termoestables [6]</i>	22
Tabla 3. <i>Poliuretano en la vida diaria [8]</i>	23
Tabla 4. <i>Poliuretano en la vida diaria [9]</i>	24
Tabla 5. <i>Decisiones del VAN</i>	27
Tabla 6. <i>Criterios y ponderaciones para las alternativas de materiales en acero [2]</i>	35
Tabla 7. <i>Propiedades del acero P20</i>	36
Tabla 8. <i>Costo de los materiales para la construcción del molde</i>	37
Tabla 9. <i>Costo de maquinaria y herramientas para la construcción del molde [16]</i>	38
Tabla 10. <i>Costo total para la construcción del molde</i>	39
Tabla 11. <i>Características físico químicas de la resina de poliuretano.</i>	42
Tabla 12. <i>Propiedades de la resina de Poliuretano</i>	43
Tabla 13. <i>Característica de la resina epoxica de poliuretano</i>	44
Tabla 14. <i>Propiedades de la resina Poliéster Ortoftálica y Isoftálica</i>	47
Tabla 15. <i>Característica de la resina epoxica de Poliéster Isoftálica y Ortoftálica</i>	48
Tabla 16. <i>Característica de la resina epoxica de Cristal.</i>	49
Tabla 17. <i>Propiedades de la resina epóxica cristal</i>	51
Tabla 18. <i>Costos de resinas evaluadas.</i>	52
Tabla 19. <i>Criterios y ponderaciones para las alternativas de materiales en resinas epoxica.</i>	53

Tabla 20. <i>Costos de la maquinaria de un molde de resina.</i>	55
Tabla 21. <i>Comparación de costos entre el molde de acero y de resina</i>	57
Tabla 22. <i>Porcentaje de ahorro de costos.</i>	58
Tabla 23. <i>Comparación cualitativa y cuantitativa del molde de resina vs un molde de acero.</i>	60
Tabla 24. <i>Dimensiones de los Componentes</i>	64
Tabla 25. <i>Costos de inversión en el molde de acero P20</i>	72
Tabla 26. <i>Ventas estimadas en el molde de acero P20.</i>	73
Tabla 27. <i>Utilidad operacional en el molde de acero P20.</i>	74
Tabla 28. <i>VAN y TIR en el molde de acero P20.</i>	74
Tabla 29. <i>Costos de inversión en el molde de resina de poliuretano.</i>	76
Tabla 30. <i>Ventas estimadas en el molde de resina de poliuretano.</i>	77
Tabla 31. <i>Utilidad operacional en el molde de resina de poliuretano</i>	77
Tabla 32. <i>VAN y TIR en el molde de resina de poliuretano</i>	78

Introducción

La industria de fabricación de moldes para inyección de plástico ha experimentado una evolución significativa en las últimas décadas, impulsada por la creciente demanda de productos plásticos en diversos sectores como la automoción, electrónica, embalaje y bienes de consumo. Tradicionalmente, los moldes de acero han sido el estándar en esta industria debido a su durabilidad, precisión y capacidad para soportar altas presiones y temperaturas durante el proceso de inyección. Sin embargo, el alto costo asociado con estos moldes ha generado un desafío considerable, especialmente para las pequeñas y medianas empresas (PYMES) [1].

En el contexto actual, donde la personalización masiva, los ciclos de vida de productos más cortos y la presión por la reducción de costos son tendencias dominantes, surge la necesidad de explorar alternativas más económicas y flexibles en la fabricación de moldes. La investigación de Guarín y Páramo [1] revela que la demanda mensual de fabricación de moldes para inyección en Colombia alcanza aproximadamente 50 unidades, con un costo promedio de 40 millones de pesos colombianos por molde. Esta inversión sustancial representa una barrera significativa para muchas PYMES que buscan entrar o expandirse en el mercado de productos de plástico.

En respuesta a estos desafíos, la industria ha comenzado a explorar el uso de resinas epóxicas como una alternativa potencial. Inicialmente empleadas en recubrimientos protectores [2], estas resinas ofrecen la posibilidad de crear moldes a un costo significativamente menor, con tiempos de producción más cortos y mayor facilidad para modificaciones. La investigación de Jarrín y Rigail [2] sobre las propiedades de las resinas epóxicas ha abierto nuevas posibilidades para su aplicación en la fabricación de moldes, sugiriendo que podrían proporcionar una alternativa viable a los moldes de acero en ciertas aplicaciones.

El avance en las tecnologías de diseño asistido por computadora (CAD) y fabricación aditiva ha facilitado aún más la producción de moldes más complejos y personalizados, aumentando el interés en materiales alternativos como las resinas. Estas tecnologías permiten una mayor precisión en el diseño y la posibilidad de iterar rápidamente, aspectos cruciales en el desarrollo de moldes de resina [5].

La importancia de la innovación en este campo no puede ser subestimada. Como señala Echeverri [3], las estrategias de innovación son fundamentales para el crecimiento y la supervivencia de las organizaciones en el mercado actual. La reducción de costos de producción, que puede lograrse a través de la adopción de nuevas tecnologías y materiales en la fabricación de moldes, es un componente clave de estas estrategias de innovación.

En este contexto, el presente estudio se propone realizar un análisis comparativo exhaustivo entre moldes de resina de bajo costo y moldes de acero tradicionales, con énfasis en el acero SISA P20, para la producción de productos de poliuretano en PYMES. La investigación aborda aspectos técnicos, económicos y ambientales, empleando una metodología basada en el enfoque de Desarrollo de Producto [1].

El objetivo principal es proporcionar a las PYMES una base sólida para la toma de decisiones en la selección de materiales para moldes, considerando factores como el volumen de producción, la complejidad del producto, los requisitos de precisión y las estrategias de crecimiento a largo plazo. Este estudio no solo tiene implicaciones para la fabricación de moldes y la producción de plásticos, sino que también se alinea con las tendencias más amplias de sostenibilidad y eficiencia en la manufactura.

Al explorar alternativas más económicas y potencialmente más sostenibles, esta investigación contribuye al desarrollo de prácticas industriales más adaptativas y resilientes, especialmente relevantes en el contexto de las economías emergentes y el sector de las PYMES. Los resultados de este estudio prometen tener implicaciones significativas para la competitividad y la innovación en la industria de inyección de plástico, proporcionando una base empírica para la toma de decisiones estratégicas en la selección de materiales y tecnologías de fabricación de moldes.

Antecedentes

La industria de fabricación de moldes para inyección ha experimentado una evolución significativa en las últimas décadas, impulsada por la creciente demanda de productos plásticos en diversos sectores como la automoción, electrónica, embalaje y bienes de consumo. Tradicionalmente, los moldes de acero han sido el estándar en esta industria debido a su durabilidad, precisión y capacidad para soportar altas presiones y temperaturas durante el proceso de inyección. Sin embargo, el alto costo asociado con estos moldes ha generado un desafío considerable, especialmente para las pequeñas y medianas empresas (PYMES).

El origen del problema se remonta a la necesidad de equilibrar la calidad y la accesibilidad en la producción de moldes. Según la investigación de Guarín y Páramo [1], la demanda mensual de fabricación de moldes para inyección en Colombia es de aproximadamente 50 unidades, con un costo promedio de 40 millones de pesos colombianos por molde (equivalente a unos 10,232.44 dólares estadounidenses). Esta inversión sustancial representa una barrera significativa para muchas PYMES que buscan entrar o expandirse en el mercado de productos de plástico. La magnitud de esta inversión no solo afecta la capacidad de las empresas para innovar y diversificar su producción, sino que también limita su competitividad en un mercado global cada vez más exigente.

La situación se ha visto exacerbada por varias tendencias en la industria manufacturera:

Personalización masiva: La creciente demanda de productos personalizados ha llevado a la necesidad de producir series más cortas y variadas, lo que requiere moldes más flexibles y económicos.

Ciclos de vida de productos más cortos: La rápida evolución de las preferencias del consumidor y los avances tecnológicos han acortado el ciclo de vida de muchos productos, haciendo que la inversión en moldes de acero costosos sea menos atractiva para productos con un futuro incierto en el mercado.

Presión por la reducción de costos: En un mercado global altamente competitivo, las empresas buscan constantemente formas de reducir costos sin comprometer la calidad, lo que ha llevado a la búsqueda de alternativas más económicas en la fabricación de moldes.

Auge de las startups y pequeñas empresas: El crecimiento del emprendimiento ha llevado a un aumento en el número de pequeñas empresas que buscan entrar en el mercado de productos plásticos, pero que carecen del capital necesario para invertir en moldes de acero tradicionales.

Los moldes de acero tradicionales, aunque duraderos, requieren tiempos de producción más largos, son menos adaptables a cambios rápidos en el diseño y demandan una inversión inicial significativa. Esto ha creado una brecha en el mercado, especialmente para las PYMES que necesitan soluciones más ágiles y económicas.

En respuesta a estos desafíos, la industria ha comenzado a explorar alternativas más económicas y flexibles. El uso de resinas epóxicas, inicialmente empleadas principalmente en recubrimientos protectores [2], ha emergido como una potencial solución. Estas resinas ofrecen la posibilidad de crear moldes a un costo significativamente menor, con tiempos de producción más cortos y mayor facilidad para modificaciones. La investigación de Jarrín y Rigail [2] sobre las propiedades de las resinas epóxicas ha abierto nuevas posibilidades para su aplicación en la fabricación de moldes, sugiriendo que podrían proporcionar una alternativa viable a los moldes de acero en ciertas aplicaciones.

Además, el avance en las tecnologías de diseño asistido por computadora (CAD) y fabricación aditiva ha facilitado la producción de moldes más complejos y personalizados, lo que ha aumentado el interés en materiales alternativos como las resinas. Estas tecnologías permiten una mayor precisión en el diseño y la posibilidad de iterar rápidamente, aspectos cruciales en el desarrollo de moldes de resina.

La importancia de la innovación en este campo no puede ser subestimada. Como señala Echeverri [3] en su estudio, las estrategias de innovación son fundamentales para el crecimiento y la supervivencia de las organizaciones en el mercado actual. La reducción de costos de producción, que puede lograrse a través de la adopción de nuevas tecnologías y materiales en la fabricación de moldes, es un componente clave de estas estrategias de innovación.

Este contexto ha dado lugar a la necesidad urgente de investigar y desarrollar moldes de resina de bajo costo que puedan satisfacer las necesidades de las PYMES en la producción de productos

de poliuretano y otros plásticos. La búsqueda de una solución que combine accesibilidad económica con calidad adecuada se ha convertido en un imperativo para la industria, especialmente en un entorno donde la innovación y la capacidad de respuesta rápida al mercado son cruciales para la competitividad empresarial.

El presente estudio se origina, por tanto, de la necesidad de abordar esta brecha en el mercado, explorando la viabilidad técnica y económica de los moldes de resina como una alternativa a los moldes de acero tradicionales. El objetivo es proporcionar a las PYMES una opción que les permita mejorar su competitividad y capacidad de innovación en la industria de inyección de plástico, al tiempo que se adaptan a las cambiantes demandas del mercado y las presiones económicas.

Esta investigación no solo tiene implicaciones para la fabricación de moldes y la producción de plásticos, sino que también se alinea con las tendencias más amplias de sostenibilidad y eficiencia en la manufactura. Al explorar alternativas más económicas y potencialmente más sostenibles, este estudio contribuye al desarrollo de prácticas industriales más adaptativas y resilientes, especialmente relevantes en el contexto de las economías emergentes y el sector de las PYMES.

Problema de estudio

En el contexto actual de la industria de fabricación de moldes para inyección de plástico, se presenta un desafío significativo que afecta particularmente a las pequeñas y medianas empresas (PYMES) dedicadas a la producción de productos de poliuretano. Este problema se centra en los elevados costos asociados con el diseño y construcción de moldes tradicionales, lo que limita la capacidad de estas empresas para responder eficientemente a las demandas del mercado y mantener su competitividad.

La investigación de Guarín y Páramo [1] proporciona una perspectiva cuantitativa alarmante sobre esta situación en Colombia, un caso que refleja una realidad extendida en muchos países en desarrollo. Según su estudio, la demanda mensual de fabricación de moldes para inyección en Colombia alcanza aproximadamente 50 unidades, con un costo promedio por molde de 40.000 millones de pesos colombianos, equivalente a 10.232,44 dólares estadounidenses. Esta cifra representa una barrera financiera formidable para muchas PYMES, obstaculizando su capacidad para adaptar su producción a las fluctuaciones de la demanda y a las cambiantes necesidades del mercado.

El problema se agudiza cuando se considera que este alto costo no solo afecta la adquisición inicial del molde, sino que también impacta en la flexibilidad operativa de las empresas. La inversión sustancial requerida para cada molde limita la capacidad de las PYMES para diversificar su oferta de productos, experimentar con nuevos diseños o responder rápidamente a las tendencias del mercado. Esta rigidez operativa puede resultar en una desventaja competitiva significativa en un entorno de mercado cada vez más dinámico y exigente.

Frente a esta problemática, surge la interrogante sobre la viabilidad de desarrollar moldes de resina de bajo costo que puedan satisfacer las necesidades del sector de producción de poliuretano. Esta alternativa plantea un desafío técnico y económico: ¿Cómo reducir los costos de fabricación de moldes sin comprometer la calidad del producto final? La respuesta a esta pregunta implica una evaluación exhaustiva de diversos aspectos, incluyendo la selección de materiales alternativos, la adaptación de tecnologías existentes, y la optimización de los procesos de diseño y fabricación.

El trabajo de Jarrín y Rigai [2] sobre la utilización de resinas epóxicas en recubrimientos protectores abre una línea de investigación prometedora. La posibilidad de adaptar estas resinas para la fabricación de moldes plantea varias preguntas cruciales: ¿Pueden estas resinas proporcionar la resistencia y durabilidad necesarias para la producción de moldes? ¿Es posible lograr con ellas la precisión dimensional requerida en la industria del plástico? ¿Cómo se compara su rendimiento a largo plazo con el de los moldes tradicionales de acero?

Además, el estudio de Echeverri [3] sobre estrategias de innovación subraya la importancia crítica de la reducción de costos y la mejora continua para la supervivencia y crecimiento de las empresas en el mercado actual. Esto plantea preguntas adicionales sobre cómo la adopción de moldes de resina podría impactar en la estructura de costos global de las PYMES, su capacidad para innovar en diseños de productos, y su habilidad para responder ágilmente a las demandas del mercado.

El problema de estudio, por lo tanto, se extiende más allá de la simple reducción de costos. Implica una evaluación holística de cómo la introducción de moldes de resina de bajo costo podría transformar la dinámica operativa de las PYMES en el sector de producción de poliuretano. Esto incluye considerar:

- La viabilidad técnica de los moldes de resina para cumplir con los estándares de calidad y precisión requeridos en la industria.
- El impacto económico a corto y largo plazo de la adopción de esta tecnología.
- Las implicaciones para la flexibilidad operativa y la capacidad de innovación de las PYMES.
- Los posibles efectos en la competitividad y sostenibilidad de estas empresas en el mercado global.

El problema de estudio se centra en la necesidad crítica de encontrar una solución viable y sostenible para la fabricación de moldes de bajo costo que permita a las PYMES en el sector de producción de poliuretano superar las barreras económicas actuales, mejorar su competitividad, y adaptarse más eficazmente a un mercado en constante evolución. La resolución de este problema

podría tener implicaciones significativas no solo para las empresas individuales, sino para el desarrollo y la innovación en todo el sector industrial de plásticos y poliuretanos.

Justificación

El desarrollo de moldes de resina para la fabricación de productos de poliuretano emerge como una innovación transformadora en el ámbito de la producción industrial, con el potencial de revolucionar los procesos de fabricación, especialmente para las pequeñas y medianas empresas (PYMES). Esta investigación encuentra su justificación en su trascendental relevancia económica, su impulso a la innovación tecnológica, su valiosa contribución metodológica y su potencial para redefinir la competitividad y sostenibilidad del sector industrial.

La motivación fundamental de este estudio radica en la necesidad imperante de democratizar el acceso a tecnologías de fabricación avanzadas. En un panorama industrial donde los altos costos de los moldes tradicionales actúan como una barrera infranqueable para muchas PYMES, la búsqueda de alternativas económicamente viables se convierte en un imperativo. Esta investigación nace del deseo de empoderar a las empresas más pequeñas, dotándolas de herramientas que les permitan competir en igualdad de condiciones con corporaciones más grandes y establecidas. La motivación se extiende más allá del ámbito puramente económico, abarcando un compromiso con la innovación sostenible y la democratización de la tecnología industrial.

Los beneficiarios directos de esta investigación son, en primera instancia, las PYMES dedicadas a la producción de productos de poliuretano. Estas empresas, frecuentemente limitadas por restricciones presupuestarias y tecnológicas, encontrarán en los moldes de resina una oportunidad para expandir sus capacidades productivas, diversificar su oferta y mejorar su competitividad en el mercado. Sin embargo, el alcance de los beneficiarios se extiende mucho más allá. Los proveedores de materias primas para resinas podrían experimentar un aumento en la demanda, estimulando la innovación en la industria química. Los fabricantes de equipos para el procesamiento de resinas también se beneficiarían, al igual que los profesionales especializados en el diseño y fabricación de moldes, quienes verían ampliadas sus oportunidades laborales.

Además, los consumidores finales se beneficiarían indirectamente de esta innovación. La reducción en los costos de producción y la mayor flexibilidad en el diseño de productos podrían traducirse en una oferta más diversa y asequible de productos de poliuretano en el mercado. Esto podría

llevar a una mayor accesibilidad a productos personalizados o de nicho, anteriormente limitados por los altos costos de producción asociados con los moldes tradicionales.

La factibilidad de este proyecto de investigación se sustenta en varios pilares. En primer lugar, la tecnología de resinas epóxicas ya ha demostrado su eficacia en otras aplicaciones industriales, como recubrimientos protectores y adhesivos de alto rendimiento. La adaptación de estas resinas para la fabricación de moldes representa una evolución natural de la tecnología existente, no una reinención completa. Además, los avances en la química de polímeros y en las técnicas de fabricación aditiva proporcionan un terreno fértil para la innovación en este campo.

Desde el punto de vista económico, la factibilidad se refuerza por el potencial de reducción significativa en los costos de producción a largo plazo. Aunque la inversión inicial en investigación y desarrollo puede ser considerable, los beneficios proyectados en términos de flexibilidad de producción, reducción de tiempos de ciclo y disminución de costos de mantenimiento prometen un retorno de inversión atractivo. La creciente demanda de soluciones de fabricación más ágiles y económicas en el mercado global también contribuye a la viabilidad económica del proyecto.

El alcance de esta investigación es amplio y multifacético. En el plano técnico, abarca desde la selección y optimización de materiales de resina adecuados para la fabricación de moldes, hasta el desarrollo de procesos de diseño y fabricación específicos para estos nuevos materiales. Se explorarán las propiedades mecánicas, térmicas y químicas de los moldes de resina, así como su durabilidad y precisión en comparación con los moldes tradicionales de acero. En el ámbito económico, el alcance incluye un análisis exhaustivo de costos, que abarcará la fabricación inicial del molde.

El alcance metodológico de la investigación es igualmente amplio. Se desarrollarán y validarán protocolos para el diseño y fabricación de moldes de resina. Estos protocolos no solo servirán para el proyecto actual, sino que también establecerán una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones industriales.

Se plantea para abordar desafíos críticos en la industria de fabricación de moldes, impulsando la innovación tecnológica, proporcionando una valiosa utilidad metodológica para futuras investigaciones, y contribuyendo sustancialmente al avance disciplinario en el campo de la producción

industrial. La motivación de empoderar a las PYMES, el amplio espectro de beneficiarios, la factibilidad técnica y económica del proyecto, y su alcance comprensivo en aspectos técnicos, económicos y ambientales, posicionan esta investigación como un paso crucial hacia un futuro más innovador, eficiente y sostenible en la producción industrial. Los resultados de este estudio prometen tener implicaciones de gran alcance, no solo para la competitividad de las PYMES en el sector de fabricación de productos de poliuretano, sino también para la innovación y sostenibilidad en la industria manufacturera en general, marcando un hito significativo en la evolución de las tecnologías de fabricación.

Objetivo general

Realizar el diseño y construcción de un molde de resina para la elaboración de productos de poliuretano.

Objetivos específicos.

- Investiga los costos de fabricación de moldes de acero y resina para productos de poliuretano, comparando precios y considerando durabilidad para PYMES.
- Utilizar un software CAD para convertir el boceto en un modelo 3D del molde de inyección.
- Investigar y seleccionar el tipo óptimo de resina para el molde de poliuretano.

Metodología

El presente estudio adopta un enfoque de investigación mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos, para realizar una evaluación comparativa exhaustiva entre moldes de resina de bajo costo y moldes de acero tradicionales, con énfasis en el acero SISA P20, para la producción de productos de poliuretano en pequeñas y medianas empresas (PYMES). Esta metodología se fundamenta en el enfoque de Desarrollo de Producto, como lo describen Ulrich y Eppinger en su obra "Product Design and Development" [1], abarcando aspectos técnicos, económicos y ambientales.

La caracterización de materiales constituye el primer pilar de esta investigación. Se realiza un análisis comparativo detallado de las propiedades físico-mecánicas del acero SISA P20 y de diversas resinas epóxicas, incluyendo resinas de poliuretano, isoftálicas, ortoftálicas y cristal. Este proceso implica la recopilación y análisis de datos de la literatura existente y especificaciones de fabricantes, siguiendo las directrices propuestas por Ashby en "Materials Selection in Mechanical Design" [2]. Se evalúan propiedades como resistencia a la tracción, módulo de elasticidad, dureza, conductividad térmica y resistencia química, presentando los resultados en tablas y gráficos comparativos.

El análisis de los procesos de fabricación constituye el segundo componente metodológico. Se evalúan detalladamente los procesos para ambos tipos de moldes, incluyendo un desglose de los pasos de fabricación, uso de maquinaria y herramientas, y requerimientos de mano de obra. Este análisis se basa en los principios de ingeniería de fabricación descritos por Kalpakjian y Schmid en "Manufacturing Engineering and Technology" [3], permitiendo una comparación exhaustiva de los tiempos totales de fabricación y la complejidad de los procesos.

La evaluación económica comparativa forma el tercer pilar metodológico. Se realiza un análisis económico exhaustivo que incluye el desglose detallado de costos de materiales, maquinaria, herramientas y mano de obra para ambos tipos de moldes. Este análisis sigue los principios de ingeniería económica establecidos por Sullivan, Wicks y Koelling en "Engineering Economy" [4], incorporando costos iniciales y proyecciones a largo plazo para diferentes escalas de producción.

El diseño y modelado 3D constituye una etapa crucial de la metodología. Utilizando software CAD (AutoCAD Inventor), se desarrolla un modelo 3D detallado del molde de resina propuesto. Este proceso sigue las mejores prácticas de diseño asistido por computadora descritas por Lee en "Principles of CAD/CAM/CAE Systems" [5], incluyendo diseño conceptual, modelado detallado, optimización y simulaciones virtuales para evaluar el rendimiento del molde bajo diferentes condiciones.

La metodología se completa con un análisis cualitativo y la fabricación de un prototipo. El análisis cualitativo sigue las técnicas de investigación cualitativa descritas por Creswell en "Qualitative Inquiry and Research Design" [8]. La fabricación del prototipo de un molde de resina para una pelota antiestrés permite una evaluación práctica de la viabilidad y eficacia del proceso propuesto.

Esta metodología integral facilita una comparación multifacética entre los moldes de resina y acero, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones en la selección de materiales para moldes en la industria de inyección de plástico. El enfoque adoptado permite una evaluación holística que abarca aspectos económicos, técnicos y operativos, fundamentales para informar estrategias de producción en el sector de fabricación de moldes, especialmente relevante para PYMES en el contexto actual de innovación y competitividad.

Capítulo I

Marco teórico.

Este estudio comparará moldes de resina y acero en la industria de inyección de plástico, enfocándose en las PYMES. Analizará la evolución de la fabricación de moldes, destacando desafíos como la personalización, ciclos de vida de productos más cortos y reducción de costos. Propondrá los moldes de resina como alternativa económica y flexible a los moldes de acero. También abordará tecnologías emergentes como CAD y fabricación aditiva, estableciendo un marco para encontrar soluciones innovadoras y viables para las PYMES en el moldeo por inyección.

1.1 Aceros

Los aceros son aleaciones de hierro que contienen entre un 0.02% y un 2% de carbono, y pueden incluir otros elementos que mejoran sus propiedades como la resistencia, maquinabilidad, elasticidad y dureza. Debido a la gran variedad y diversidad de estas aleaciones, los aceros son uno de los materiales más utilizados en procesos de conformado y mecanizado.

1.1.1 Características

Los aceros son materiales versátiles y fundamentales en la ingeniería y la manufactura debido a sus excepcionales propiedades mecánicas y su capacidad de ser procesados en diversas formas y aplicaciones. Entre sus características más destacadas se encuentran su alta resistencia mecánica, elasticidad, soldabilidad, ductilidad, forjabilidad y trabajabilidad. Estas propiedades permiten que los aceros sean utilizados en una amplia gama de sectores industriales, desde la construcción hasta la fabricación de maquinaria y componentes estructurales. La Tabla 1 presenta un resumen de las principales características del acero, proporcionando una visión detallada de sus propiedades clave y su importancia en la industria moderna.

Tabla 1. Características del material en acero [5]

Característica	Descripción
Alta resistencia mecánica	Los aceros exhiben alta resistencia mecánica tanto a esfuerzos de tracción como a compresión, lo cual se evalúa mediante ensayos de laboratorio para determinar su límite elástico y esfuerzo de rotura.
Elasticidad	Los aceros son altamente elásticos, lo que significa que pueden estirarse considerablemente durante un ensayo de tracción y regresar a su forma original antes de alcanzar el límite elástico.
Soldabilidad	Los aceros pueden unirse mediante soldadura, lo cual facilita la construcción de estructuras complejas utilizando piezas individuales soldadas.
Ductilidad	Los aceros son altamente dúctiles, lo que permite trabajarlos, doblarlos y torcerlos sin que se produzcan fracturas importantes.
Forjabilidad	La forjabilidad del acero indica que puede ser conformado mediante calor y martillado para adoptar diversas formas deseadas sin perder sus propiedades mecánicas.
Trabajabilidad	A pesar de su resistencia, los aceros pueden ser cortados y perforados, lo que facilita su procesamiento y manufactura en diversas aplicaciones industriales.

1.2 Tipos de acero.

Los aceros, aleaciones versátiles de hierro y carbono, se clasifican en diversos tipos según su composición química y propiedades mecánicas. Esta diversidad permite adaptarlos a una amplia gama de aplicaciones industriales, desde la construcción hasta la fabricación de herramientas y maquinaria especializada. La clasificación de los aceros no solo facilita su selección para usos específicos, sino que también proporciona una comprensión clara de sus características y comportamiento bajo diferentes condiciones. En la Figura 1 se presentan los principales tipos de acero, categorizados de acuerdo con sus propiedades y composición:

Existen varios tipos de acero clasificados según su composición química y propiedades mecánicas. Entre los principales tipos se presentan en la Figura 1 se encuentran:

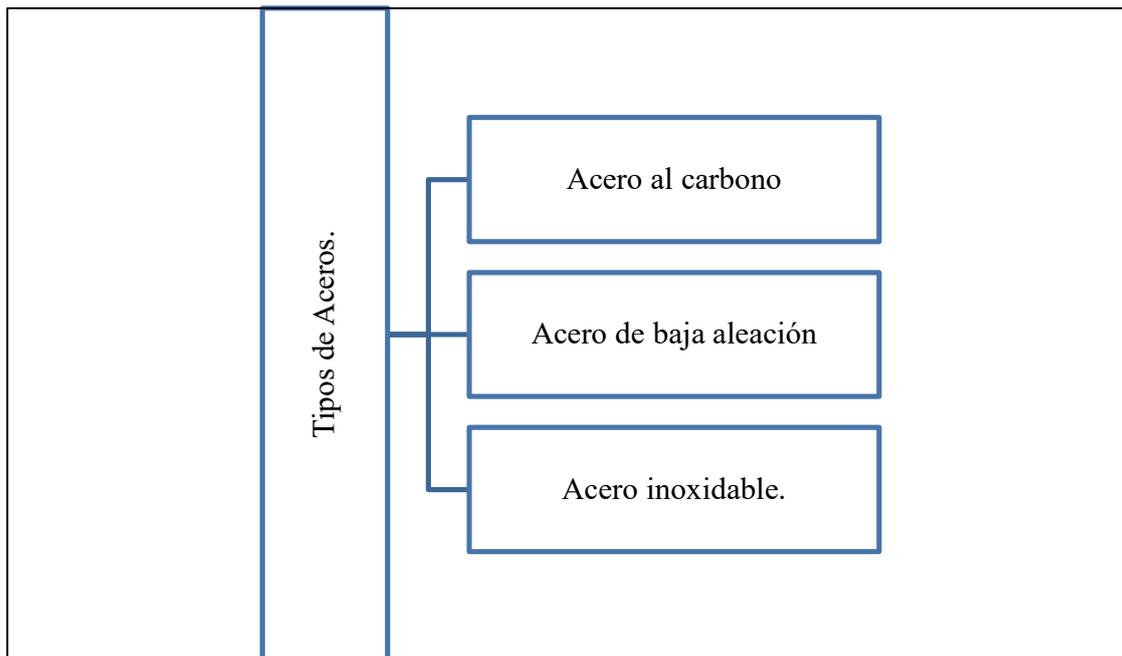


Figura 1. Tipos de acero

La Figura 1 presenta una clasificación simplificada de los principales tipos de acero utilizados en la industria. El acero al carbono, el más común y versátil, se caracteriza por su contenido variable

de carbono que influye directamente en su dureza y resistencia. Los aceros de baja aleación, por su parte, contienen pequeñas cantidades de elementos adicionales como níquel, cromo o molibdeno, que mejoran sus propiedades mecánicas y su resistencia a la corrosión, haciéndolos ideales para aplicaciones que requieren mayor rendimiento. Finalmente, los aceros inoxidable, conocidos por su excelente resistencia a la corrosión debido a su alto contenido de cromo, son ampliamente utilizados en entornos agresivos o donde la higiene es primordial, como en la industria alimentaria o química. Cada uno de estos tipos de acero ofrece características únicas que los hacen adecuados para diferentes aplicaciones, desde la construcción de estructuras hasta la fabricación de herramientas y equipos especializados.

1.2.1 Usos aplicativos del acero.

El acero se utiliza ampliamente en la construcción de infraestructuras, edificaciones, puentes, vehículos de transporte, maquinaria industrial, herramientas de corte y perforación, entre otros. Su versatilidad y resistencia lo convierten en un material fundamental en la industria moderna, donde se valora su capacidad para soportar cargas pesadas, resistir tensiones mecánicas y mantener su integridad estructural a lo largo del tiempo.

El acero, gracias a su excepcional combinación de resistencia, durabilidad y versatilidad, se ha convertido en un material indispensable en numerosos sectores industriales y aplicaciones cotidianas. En la construcción e infraestructura, el acero forma el esqueleto de rascacielos, puentes y estructuras ferroviarias, proporcionando la fuerza necesaria para soportar cargas pesadas y resistir tensiones mecánicas a lo largo del tiempo. En la industria automotriz y aeroespacial, se utiliza para fabricar carrocerías, componentes de motores y partes críticas de aeronaves, ofreciendo una combinación óptima de resistencia y ligereza. Además, en el sector energético, el acero es fundamental para la construcción de plataformas petroleras, turbinas eólicas y componentes de centrales nucleares, demostrando su capacidad para funcionar en condiciones extremas.

La versatilidad del acero se extiende a la maquinaria industrial, donde se emplea en la fabricación de equipos de manufactura, prensas, tornos y maquinaria agrícola. En el ámbito de las herramientas y utensilios, el acero es esencial para la producción de instrumentos de corte, perforación y utensilios de cocina. Su importancia también se refleja en el sector médico, donde se utiliza para crear instrumental quirúrgico e implantes médicos de alta precisión. En la industria de electrodomésticos, el acero es un componente clave en la fabricación de lavadoras, refrigeradores y hornos, mientras que, en la industria naval, se emplea en la construcción de barcos, desde los cascos hasta los sistemas de propulsión.

La capacidad del acero para ser aleado con diversos elementos permite ajustar sus propiedades según las necesidades específicas de cada aplicación, lo que explica su amplio espectro de usos. Su resistencia a la corrosión, especialmente en aceros inoxidable, su capacidad para soportar altas temperaturas, su conductividad térmica y eléctrica, y su potencial para ser reciclado indefinidamente sin perder sus propiedades, lo convierten en un material sostenible y económicamente viable a largo plazo. Además, la industria siderúrgica continúa innovando, desarrollando nuevos tipos de aceros con propiedades mejoradas, como los aceros de ultra alta resistencia o los aceros con memoria de forma, expandiendo aún más el horizonte de aplicaciones posibles para este versátil material.

1.3 Resinas Termoestables.

Las resinas termoestables son un tipo de material que experimenta un cambio irreversible cuando se les expone al calor, luz, agentes fotoquímicos o sustancias químicas. Este cambio implica que el material pasa de un estado fusible y soluble a un estado no fusible e insoluble debido a la formación de una red tridimensional de enlaces covalentes. Durante el proceso de curado o entrecruzamiento, las cadenas poliméricas, que pueden ser termoplásticas o líquidas en su estado inicial, reaccionan entre sí y con un agente entrecruzador. Este proceso de reacción da lugar a la formación de macromoléculas que se organizan en una estructura tridimensional y se conectan a través de numerosos enlaces covalentes.

El resultado es una red reticulada que proporciona al material curado propiedades excepcionales en términos de mecánicas, térmicas y resistencia química. Estas propiedades avanzadas hacen que las resinas termoestables sean adecuadas para una amplia gama de aplicaciones industriales. En comparación con otros tipos de materiales, las resinas termoestables ofrecen una durabilidad y resistencia superiores, lo que las convierte en una opción ideal para productos que deben soportar condiciones extremas o tener una vida útil prolongada.

1.3.1 Tipos de las resinas termoestables.

Los aceros, debido a su amplia variedad y diversidad en sus aleaciones, se clasifican en diferentes categorías según sus propiedades y composiciones específicas. Esta clasificación es fundamental para determinar su uso adecuado en diversas aplicaciones industriales. La clasificación de los aceros se presenta en la Figura 2, proporcionando una visión detallada de las distintas variedades y sus características distintivas

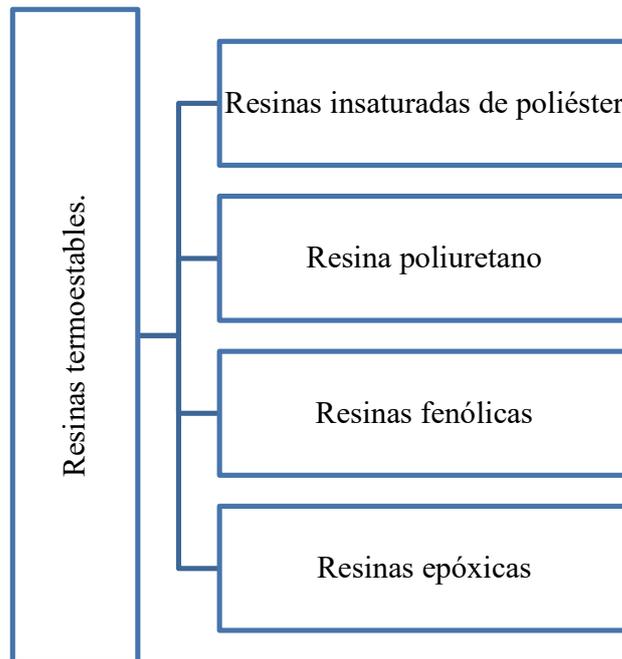


Figura 2. Tipos de resinas termoestables

Las resinas insaturadas de poliéster son altamente valoradas en la industria de plásticos reforzados debido a su capacidad para formar una red tridimensional durante el proceso de curado. Esto les confiere una notable resistencia mecánica y química. Estas resinas son frecuentemente utilizadas en la fabricación de moldes y componentes estructurales, así como en recubrimientos, donde se requiere durabilidad y resistencia a productos químicos.

El poliuretano es otro tipo de resina que destaca por su versatilidad. Este material se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, desde adhesivos hasta recubrimientos y espumas. Su capacidad para ofrecer resistencia al desgaste, a la abrasión y su elasticidad lo hacen adecuado para productos que deben soportar condiciones exigentes. La adaptabilidad del poliuretano lo convierte en un material de elección para aplicaciones industriales y de consumo.

Las resinas fenólicas se caracterizan por su alta resistencia al calor y a la corrosión. Estas resinas son especialmente útiles en aplicaciones que requieren materiales robustos y duraderos, como com-

ponentes electrónicos, recubrimientos industriales y materiales de fricción. Su capacidad para soportar altas temperaturas y condiciones corrosivas las convierte en una opción preferida para aplicaciones industriales exigentes.

Finalmente, las resinas epóxicas son conocidas por su excelente adhesión, resistencia química y mecánica. Se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo adhesivos industriales, recubrimientos protectores y en la fabricación de plásticos reforzados con fibra de vidrio. El proceso de curado de las resinas epóxicas, que implica la formación de una red química, las dota de propiedades superiores de dureza y resistencia.

1.3.2 Usos aplicativos

Las resinas termoestables son materiales de gran versatilidad y resistencia que se utilizan en una amplia gama de sectores debido a sus propiedades superiores como alta resistencia térmica y química, rigidez y durabilidad. Estas características las hacen adecuadas para aplicaciones que van desde componentes aeroespaciales y piezas automotrices hasta productos domésticos y herramientas. La siguiente Tabla 2 resume las principales aplicaciones de las resinas termoestables en distintos campos, destacando su importancia y versatilidad en la fabricación y diseño de diversos productos.

Tabla 2. Características termoestables [6]

Sector	Aplicaciones
Aeroespacial	Componentes de misiles, alas, fuselajes, etc.
Aplicaciones domésticas	Interruptores, asas, etc.
Automoción	Piezas ligeras para sustituir metales, frenos, pinturas, etc.
Construcción	Espumas aislantes, techos, chapas para forrar paredes, pinturas, etc.
Vestimenta	Botones, ropa tratada, etc.
Eléctrico	Cuadro de conexiones, recubrimientos, etc.

1.4 Poliuretano

El poliuretano es un material altamente resistente y adaptable, considerado uno de los plásticos más versátiles, con una amplia gama de aplicaciones en la construcción y la industria. Aunque muchas personas no lo noten en su vida diaria, su presencia es fundamental, y sin él, muchas cosas serían muy diferentes [7]. Gracias a su ligereza, durabilidad y robustez, el poliuretano se utiliza para fabricar numerosos artículos cotidianos, como suelas de zapatos, calzado deportivo, ropa, asientos de automóviles, colchones, cojines, colchonetas, moquetas, muebles de baño, encimeras de cocina, puertas, tabiques, ventanas y tablas de surf. Además, en la industria del transporte, el poliuretano se emplea en diversas partes de camiones y trenes de alta velocidad, ofreciendo resistencia con un peso reducido. La versatilidad del poliuretano sigue expandiéndose, y continuamente se descubren nuevos usos para este material, que está reemplazando a los materiales tradicionales en diversas aplicaciones.

1.4.1 Características

El poliuretano es un material versátil y altamente valorado en la industria debido a sus excepcionales propiedades físicas y mecánicas. Su combinación única de resistencia, durabilidad y flexibilidad lo convierte en una opción ideal para una amplia gama de aplicaciones, desde componentes industriales hasta productos de consumo. A continuación, en la Tabla 3, se detallan algunas de las características más destacadas del poliuretano que lo hacen tan apreciado en diversos sectores:

Tabla 3. Poliuretano en la vida diaria [8]

Características.	Descripción
Alta resistencia al desgaste y a la abrasión	El poliuretano presenta una excelente resistencia al desgaste y la abrasión, asegurando una larga durabilidad en aplicaciones exigentes.
Excelente comportamiento tracción/compresión	Mantiene un rendimiento óptimo bajo esfuerzos de tracción y compresión, proporcionando estabilidad y resistencia estructural.
Alta elasticidad incluso en las durezas más altas	Ofrece una notable elasticidad, incluso en los niveles de dureza más altos, permitiendo que se adapte a diversas aplicaciones sin perder su flexibilidad.
Gran resistencia al desgarre y cizallamiento	Posee una alta resistencia al desgarre y al cizallamiento, lo que lo hace adecuado para condiciones de alta tensión y fricción.

Estas características hacen del poliuretano un material extremadamente versátil y duradero, capaz de soportar condiciones de uso exigentes en una variedad de entornos. Su capacidad para combinar resistencia y flexibilidad, junto con su excelente resistencia al desgaste, lo convierten en una opción superior para aplicaciones que requieren un rendimiento consistente a largo plazo. Además, la posibilidad de ajustar sus propiedades durante la fabricación permite crear formulaciones específicas para satisfacer los requisitos únicos de cada aplicación, desde componentes automotrices hasta calzado deportivo y equipos industriales.

1.4.2 Usos aplicativos

El poliuretano, gracias a su versatilidad y excelentes propiedades mecánicas, ha encontrado un lugar prominente en diversos sectores industriales. Su capacidad para adaptarse a diferentes requisitos de rendimiento lo ha convertido en un material de elección para una amplia gama de aplicaciones. Desde la maquinaria pesada hasta la construcción, el poliuretano demuestra su valía en numerosos contextos. A continuación, se presenta en la Tabla 4, una visión general de cómo este material se utiliza en distintos sectores industriales:

Tabla 4. Poliuretano en la vida diaria [9]

Sector	Aplicaciones del Poliuretano
Maquinaria y Fabricación de Aparatos	Sellos herméticos, guías, rascadores, topes, cilindros, rodillos, engranajes, collarines hidráulicos, juegos de juntas, expulsores.
Construcción de Maquinaria Textil	Lanzaderas, tacos, revestimientos de rodillos, topes.
Industria de la Construcción	Revestimientos de hormigoneras y mezcladoras, protección de limpiadores en maquinaria quitanieves.

Esta diversidad de aplicaciones ilustra la versatilidad y adaptabilidad del poliuretano en el ámbito industrial. Su capacidad para resistir el desgaste, soportar condiciones extremas y proporcionar un rendimiento fiable lo convierte en un material indispensable en muchos procesos de fabricación y construcción. Además, la continua investigación y desarrollo en el campo de los poliuretanos está abriendo nuevas posibilidades de aplicación, expandiendo aún más su utilidad en sectores emergentes como la impresión 3D, la medicina y la tecnología aeroespacial. Esta amplia gama de usos subraya la importancia del poliuretano como un material clave en la innovación industrial y el avance tecnológico.

1.5 Análisis financiero

1.5.1 Costos

Los costos son un elemento fundamental en la gestión empresarial y la toma de decisiones financieras. Se definen como el valor monetario de los recursos utilizados para producir un bien o servicio [10]. Los costos se pueden clasificar en tres categorías principales, las cuales son de gran importancia para el desarrollo de proyecto:

- **Costos de materia prima:** Se refieren al valor de los materiales directos utilizados en la producción de un bien. Estos materiales son identificables y cuantificables en el producto final [10]. Por ejemplo, en la fabricación de muebles, la madera sería una materia prima directa.
- **Costos de mano de obra directa:** Representan el valor del trabajo realizado por los empleados que están directamente involucrados en la producción del bien o servicio [10]. Esto incluye salarios, beneficios y otras compensaciones de los trabajadores que transforman la materia prima en producto terminado.
- **Costos indirectos de fabricación:** Son aquellos costos que no se pueden asignar directamente a un producto específico, pero son necesarios para el proceso de producción [11].

Estos pueden incluir el alquiler de la planta de producción, la depreciación de la maquinaria, los servicios públicos, y los salarios del personal de supervisión.

El análisis y la evaluación de proyectos de inversión son procesos críticos para la toma de decisiones financieras en las empresas. Dos de las herramientas más utilizadas para este fin son el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) [12].

1.5.2 Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es una medida fundamental en la evaluación de proyectos. [13] lo define como "el valor actual/presente de los flujos de efectivo netos de una propuesta, entendiéndose por flujos de efectivo netos la diferencia entre los ingresos y los egresos periódicos". Para su cálculo, se utiliza una tasa de descuento que representa la rentabilidad mínima exigida por el proyecto. El criterio de decisión asociado al VAN es claro: si el VAN es positivo, el proyecto se acepta; si es negativo, se rechaza [13].

$$\text{VAN} = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+r)^n} = 0$$

Figura 3. Formula del VAN

I_0 = Inversión Inicial para el proyecto.

C_n = Flujo de caja o beneficio generados por a inversión en cada uno de los periodos.

N = Número total de periodos,

n = Año donde se va obteniendo los beneficios de cada periodo.

r = TIR

El Valor Actual Neto (VAN) es una herramienta financiera clave utilizada para evaluar la viabilidad de proyectos de inversión. Este indicador permite determinar si una inversión generará ga-

nancias o pérdidas en términos monetarios, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones. La Tabla 5 presenta las posibles interpretaciones del VAN y las decisiones correspondientes que deben tomarse en función de su valor.

Tabla 5. Decisiones del VAN

Valor del VAN	Significado	Decisión para tomar
$VAN > 0$	La inversión produciría ganancias	El proyecto puede aceptarse, ya que se espera obtener beneficios económicos positivos.
$VAN < 0$	La inversión produciría pérdidas	El proyecto debería rechazarse, ya que se anticipan pérdidas económicas.
$VAN = 0$	La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas	Dado que el proyecto no agrega valor monetario, la decisión debe basarse en otros criterios, como posicionamiento en el mercado, beneficios sociales, u otros factores.

1.5.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de descuento que hace que el VAN de un proyecto sea igual a cero. En otras palabras, es la tasa de rendimiento anual compuesta que el proyecto genera para la empresa [11]. Si la TIR es mayor que la tasa de rendimiento requerida por la empresa, el proyecto se considera atractivo.

La Tasa Interna de Retorno (TIR), por otro lado, "se define como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos del proyecto con el valor presente de los egresos" [14]. En otras palabras, es la tasa que hace que el VAN del proyecto sea igual a cero. La TIR proporciona una medida de la rentabilidad del proyecto en términos porcentuales, lo que facilita su comparación con otras alternativas de inversión o con la tasa de rendimiento requerida por la empresa.

$$0 = -inversión + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t}$$

Figura 4. Formula de TIR

Ft = flujos de caja en el momento t

n = número de períodos

El Valor Actual Neto (VAN) es una medida del beneficio absoluto que proporciona un proyecto, expresado en términos monetarios actuales. Se calcula como la diferencia entre el valor presente de los flujos de efectivo futuros y la inversión inicial [11]. Un VAN positivo indica que el proyecto es financieramente viable, mientras que un VAN negativo sugiere que el proyecto debería ser rechazado.

Estas herramientas permiten a los empresarios y financieros evaluar la viabilidad económica de los proyectos y tomar decisiones informadas sobre la asignación de recursos. Sin embargo, es importante señalar que tanto el VAN como la TIR tienen sus limitaciones y deben ser utilizados en conjunto con otros métodos de evaluación financiera para obtener una imagen completa de la viabilidad de un proyecto [12].

El VAN y la TIR son herramientas fundamentales en la evaluación de proyectos de inversión, pero deben ser utilizadas con un entendimiento claro de sus supuestos y limitaciones. El uso de versiones modificadas como el VANM y la TIRM puede proporcionar una base más sólida para la toma de decisiones financieras, especialmente en entornos económicos complejos y cambiantes.

La industria de fabricación de moldes para inyección de plástico está experimentando una transformación significativa, impulsada por la innovación en materiales y procesos. Mientras que los moldes de acero han sido el estándar durante décadas, nuevas alternativas como los moldes de resina están ganando popularidad, especialmente entre las PYMES, debido a su menor costo y mayor flexibilidad. Este estudio se enfoca en el diseño y construcción de un molde de resina de bajo costo para productos de poliuretano, respondiendo a la creciente demanda de soluciones más accesibles y adaptables en un mercado que exige personalización y series de producción más cortas.

El objetivo principal de la investigación es realizar un análisis comparativo exhaustivo entre los moldes de resina y los de acero, particularmente el acero SISA P20, utilizando software CAD avanzado para desarrollar un modelo 3D detallado del molde de resina propuesto. Este análisis es crucial en un contexto donde la optimización de costos, la flexibilidad en la producción y la capacidad de respuesta rápida a las demandas del mercado son factores clave para la competitividad empresarial, especialmente para las PYMES que buscan superar las barreras de altos costos y largos tiempos de fabricación asociados con los moldes tradicionales.

La metodología empleada se basa en el enfoque de Desarrollo de Producto, que incluye etapas cuidadosamente estructuradas de diseño del producto, diseño del molde, selección de materiales, fabricación, ensamblaje, acabado, pruebas y ajustes. Este enfoque integral nos permite no solo comparar costos y propiedades, sino también evaluar la viabilidad y eficacia de los moldes de resina en diversos escenarios de producción [15]. Además, incorporamos un análisis económico comparativo detallado y una evaluación de sostenibilidad, siguiendo las directrices de ISO 14040/44, para proporcionar una visión holística de las implicaciones de adoptar esta tecnología.

Este trabajo pretende proporcionar a las PYMES una herramienta valiosa para la toma de decisiones en la selección de materiales para moldes. Al considerar factores como el volumen de producción, los requisitos específicos del producto, las limitaciones presupuestarias y las proyecciones de crecimiento a largo plazo, buscamos ofrecer una visión completa que permita a las empresas optimizar sus procesos de fabricación y mejorar su competitividad en el mercado [15]. Además, este estudio contribuye al debate más amplio sobre la sostenibilidad en la industria manufacturera,

evaluando cómo la elección entre moldes de acero y resina puede impactar en la huella ecológica de las operaciones de producción.

Este trabajo pretende proporcionar a las PYMES una herramienta valiosa para la toma de decisiones en la selección de materiales para moldes. Al considerar factores como el volumen de producción, los requisitos específicos del producto, las limitaciones presupuestarias y las proyecciones de crecimiento a largo plazo, buscamos ofrecer una visión completa que permita a las empresas optimizar sus procesos de fabricación y mejorar su competitividad en el mercado [16]. Además, este estudio contribuye al debate más amplio sobre la sostenibilidad en la industria manufacturera, evaluando cómo la elección entre moldes de acero y resina puede impactar en la huella ecológica de las operaciones de producción.

1.6 Moldes de inyección.

Los moldes de inyección son herramientas clave en la manufactura moderna, permitiendo la producción eficiente y precisa de piezas de plástico y otros materiales. Este proceso implica la inyección de material fundido en un molde, que luego se enfría y solidifica para formar la pieza deseada. Para las PYMES, un molde de inyección ofrece ventajas significativas al reducir costos unitarios, mejorar la calidad del producto y permitir una alta flexibilidad en la producción. A continuación, en la Figura 5, se presenta unas partes comunes en un molde de inyección:

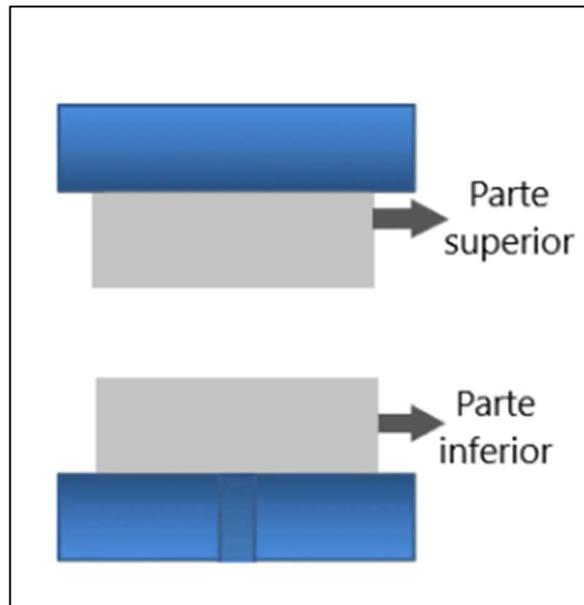


Figura 5. Partes de un molde.

La Figura 5 muestra las partes principales de un molde típico, incluyendo la parte superior e inferior. La parte superior del molde generalmente contiene el sistema de alimentación, mientras que la parte inferior alberga la cavidad del molde donde se forma la pieza. Ambas partes trabajan en conjunto para crear la forma deseada del producto final.

Es importante destacar que la fabricación de moldes de resina implica un proceso meticuloso que requiere atención a los detalles y seguimiento de protocolos de seguridad. A continuación, se describen en la Figura 6 los pasos clave para la correcta preparación de la fabricación de un molde de inyección. [20]:

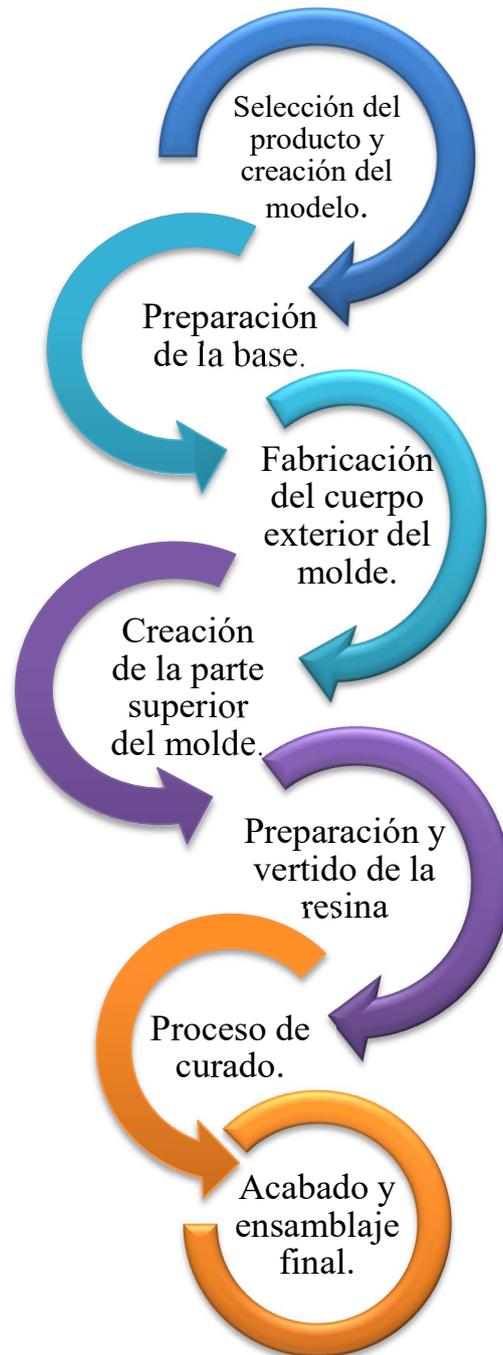


Figura 6. *Proceso de fabricación de un molde de inyección*

Los moldes de inyección, como se describe en la figura, son herramientas esenciales en la manufactura moderna, permitiendo la producción eficiente y precisa de piezas de plástico y otros materiales. Este proceso implica la inyección de material fundido en un molde, que luego se enfría y solidifica para formar la pieza deseada. Para las PYMES, el moldeo por inyección ofrece ventajas significativas al reducir costos unitarios, mejorar la calidad del producto y permitir una alta flexibilidad en la producción.

Capítulo II

Materiales y metodología

Este estudio emplea un enfoque de investigación mixto, combinando análisis cuantitativo y cualitativo, para evaluar comparativamente la eficacia y eficiencia de moldes de resina frente a moldes de acero, con énfasis en el acero SISA P20. Se realizará un análisis comparativo de las propiedades del acero SISA P20 y de las resinas epoxica reforzadas, basado en la literatura existente y datos de fabricantes.

2.1 Aceros

En el proceso de selección del material más adecuado para la fabricación de moldes, es crucial realizar una evaluación comparativa de las diferentes alternativas de acero disponibles. Esta evaluación debe considerar diversos criterios que influyen directamente en el rendimiento, costo y viabilidad del molde en el contexto de las PYMES. A continuación, se presenta la Tabla 6 que compara tres tipos de acero comúnmente utilizados en la industria de moldeo por inyección: el acero P20, el acero de baja aleación y el acero inoxidable. La comparación se basa en cinco criterios fundamentales: aplicación, costo, maquinabilidad, accesibilidad en el mercado y mantenibilidad.

Tabla 6. Criterios y ponderaciones para las alternativas de materiales en acero [2]

Criterios	Acero P20	Acero de baja aleación	Acero inoxidable
Aplicación	5	3	1
Costo	3	5	1
Maquinabilidad	5	5	3
Accesibilidad en el mercado	5	5	3
Mantenibilidad	5	1	5
TOTAL	23	19	13

Valores para la ponderación: 1 - 5	Donde Buena = 5	Regular = 3	Mala = 1
------------------------------------	-----------------	-------------	----------

Como se puede observar en la Tabla 6, el acero P20 destaca como la opción más equilibrada, obteniendo la puntuación total más alta de 23 puntos. Este resultado se debe a su excelente desempeño en aplicación, maquinabilidad, accesibilidad en el mercado y mantenibilidad, aunque su costo es moderado. El acero de baja aleación, con 19 puntos, se posiciona como una alternativa económica con buena maquinabilidad y accesibilidad, pero con desventajas en aplicación y mantenibilidad. Por último, el acero inoxidable, con 13 puntos, muestra ser la opción menos favorable en términos generales, destacando solo en mantenibilidad, pero con desventajas significativas en costo y aplicación. Esta comparación proporciona una base sólida para que las PYMES tomen decisiones informadas al seleccionar el material para sus moldes, considerando sus necesidades específicas y limitaciones presupuestarias.

2.2 Acero P20

Tras la evaluación comparativa de las diferentes alternativas de acero, el acero P20 se destaca como la opción más adecuada para la fabricación de moldes en el contexto de las PYMES. Para comprender mejor las características que hacen del acero P20 una elección superior, es fundamental examinar sus propiedades físicas y mecánicas en detalle. La siguiente tabla presenta las propiedades clave del acero P20, incluyendo su composición química, módulo de elasticidad, densidad, conductividad térmica y coeficiente de dilatación térmica. Estos parámetros son cruciales para determinar el rendimiento del material en las condiciones exigentes de la inyección de plástico.

Tabla 7. Propiedades del acero P20

Propiedades	Valor
Composición química	C 0.30%, Si 0.50%, Mn 0.75%, Cr 1.70%, Mo 0.40%
Módulo de Elasticidad	207 GPa
Densidad	7860 kg/m ³
Conductividad Térmica	42 W/m-°K a 95°C
Coefficiente de Dilatación Térmica	12.3 x 10 ⁻⁶ mm/mm/°C (20-260°C)

Las propiedades presentadas en la Tabla 7 revelan por qué el acero P20 es tan valorado en la industria de moldeo por inyección. Su composición química equilibrada, con una combinación de carbono, silicio, manganeso, cromo y molibdeno, le confiere una excelente resistencia y durabilidad. El alto módulo de elasticidad de 207 GPa asegura una rigidez óptima, crucial para mantener la precisión dimensional del molde durante el proceso de inyección. La densidad de 7860 kg/m³ proporciona una buena relación entre peso y resistencia. La conductividad térmica de 42 W/m-°K a 95°C permite una disipación eficiente del calor, factor crítico en el proceso de moldeo. Finalmente, el coeficiente de dilatación térmica relativamente bajo de 12.3 x 10⁻⁶ mm/mm/°C (20-

260°C) minimiza las deformaciones del molde debido a los cambios de temperatura durante el ciclo de inyección. Estas propiedades, en conjunto, hacen del acero P20 una opción ideal para la fabricación de moldes en PYMES, ofreciendo un equilibrio entre rendimiento, durabilidad y costo.

2.3 Análisis Económico Comparativo en molde de acero

Al examinar las propiedades del acero P20 y comprender su idoneidad para la fabricación de moldes, es importante ahora desglosar los costos asociados con la construcción de un molde completo. La siguiente tabla proporciona un detalle exhaustivo de los materiales necesarios para la construcción de un molde de inyección, incluyendo las especificaciones de cada componente, sus dimensiones, cantidades requeridas y costos tanto unitarios como totales. Esta información es crucial para las PYMES, ya que permite una planificación financiera precisa y una comprensión clara de la inversión necesaria para la fabricación de moldes de acero.

Tabla 8. Costo de los materiales para la construcción del molde

Pieza	Material	Descripción (mm)	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
Caja Superior	AISI P20	135x135x100	1	\$250,00	\$250,00
Caja inferior	AISI P20	135x135x100	1	\$250,00	\$250,00
Bisagra	AISI P20	15x70	1	\$20,00	\$20,00
VALOR TOTAL					\$520,00

El desglose detallado en la Tabla 8 de los costos de materiales para la construcción del molde revela una inversión total de \$520.00. Este costo se distribuye entre varios componentes clave, siendo las placas porta molde de AISI P20 las más costosas, con un valor de \$250,00 cada una. Es notable que, aunque el acero P20 se utiliza para las partes más críticas del molde, se emplean otros tipos de acero como el AISI 1045 y el AISI 4340 para componentes específicos, lo que permite una

optimización de costos sin comprometer la calidad. La variedad de piezas y materiales utilizados subraya la complejidad de la construcción de moldes y justifica la inversión significativa. Para las PYMES, este desglose no solo proporciona una visión clara de los costos involucrados, sino que también ofrece oportunidades para identificar posibles áreas de optimización o alternativas de materiales que podrían reducir los costos sin afectar el rendimiento del molde.

Además de los costos de materiales, es crucial considerar los gastos asociados con la maquinaria y herramientas necesarias para la fabricación del molde. Estos costos operativos son un componente significativo del presupuesto total y pueden variar dependiendo de la complejidad del molde y las capacidades de producción de la PYME. La siguiente tabla desglosa los costos de maquinaria y herramientas, incluyendo las horas de operación, el costo por hora y el costo total para cada equipo utilizado en el proceso de fabricación del molde. Esta información es vital para que las PYMES puedan calcular con precisión los costos totales de producción y evaluar la viabilidad económica de la fabricación interna de moldes.

Tabla 9. Costo de maquinaria y herramientas para la construcción del molde [16]

Descripción	Horas de operación	Costo por horas (\$)	Costo total (\$)
Torno	2	\$9,00	\$18,00
Esmeril	2	\$3,00	\$6,00
Sierra Eléctrica	6	\$10,00	\$60,00
Fresadora CNC	20	\$20,00	\$400,00
Pulidora	2	\$5,00	\$10,00
TOTAL			\$494,00

Los costos de maquinaria y herramientas presentados en la Tabla 9 revelan una inversión total de \$494 en el proceso de fabricación del molde. Este monto representa un componente sustancial del costo total de producción, casi igualando el costo de los materiales. La fresadora CNC es el equipo más costoso, con \$400 respectivamente, reflejando la importancia de la precisión y la tecnología avanzada en la fabricación de moldes. Para las PYMES, esta información es crucial para evaluar si la inversión en equipos propios es justificable o si la subcontratación de ciertas etapas

del proceso podría ser más rentable. Además, estos datos pueden ayudar a identificar áreas donde la optimización de procesos o la inversión en tecnología más eficiente podría reducir los costos operativos a largo plazo.

Tras haber examinado detalladamente los costos de materiales, maquinaria y herramientas de forma individual, es fundamental consolidar esta información para obtener una visión global del costo total de construcción del molde. Esta síntesis es crucial para las PYMES, ya que proporciona una comprensión clara de la inversión total requerida para la fabricación de un molde de acero. La siguiente tabla presenta un resumen conciso de los costos totales, desglosados en las dos categorías principales: materiales y maquinaria/herramientas. Esta información permitirá a las empresas evaluar la viabilidad económica del proyecto y tomar decisiones informadas sobre la producción de moldes.

Tabla 10. Costo total para la construcción del molde

Descripción	Valor (\$)
Costo de materiales para la construcción del molde	\$ 500,20
Costo de maquinaria y herramientas utilizadas para la construcción del molde	\$ 494,00
TOTAL	\$ 994,20

Como se puede observar en la Tabla 10, el costo total de construcción del molde asciende a \$994.20, lo cual representa una inversión significativa para una PYME. Esta cifra se compone de \$500.20 en materiales y \$494.00 en costos de maquinaria y herramientas. Es interesante notar que los costos de materiales constituyen aproximadamente el 50.3% del total, mientras que los costos asociados con maquinaria y herramientas representan el 49.7% restante. Esta distribución casi equitativa subraya la importancia no solo de la selección de materiales de alta calidad, sino también de la inversión en tecnología y procesos de fabricación eficientes. Para las PYMES, este costo total sirve como un punto de referencia crucial para evaluar la rentabilidad de la producción interna de

moldes frente a opciones como la subcontratación o la consideración de materiales alternativos como la resina. Además, proporciona una base sólida para la fijación de precios de productos y la planificación financiera a largo plazo en el contexto de la producción de moldes para inyección de plástico.

La calidad de las piezas producidas es otro factor crítico en la evaluación. Los moldes de acero, especialmente aquellos fabricados con acero SISA P20, han demostrado una capacidad superior para mantener tolerancias estrictas y producir piezas de alta precisión dimensional a lo largo de ciclos de producción extensos [6]. Por otro lado, los moldes de resina, aunque pueden no alcanzar el mismo nivel de precisión en producciones masivas, ofrecen una calidad adecuada para muchas aplicaciones, especialmente en series cortas o prototipos [16].

En términos de mantenimiento, los moldes de acero generalmente requieren menos intervenciones frecuentes, pero cuando son necesarias, estas pueden ser más costosas y consumir más tiempo. Los moldes de resina, aunque pueden necesitar mantenimiento más frecuente, suelen ser más fáciles y económicos de reparar o modificar [17].

2.4 Resinas

Las resinas termoestables son un material versátil y popular en diversas industrias debido a sus propiedades únicas. Con un rápido tiempo de curado y la capacidad de aceptar cargas de color, esta resina es ideal para aplicaciones que requieren eficiencia y personalización. Su uso abarca desde la creación de prototipos hasta proyectos creativos y modelado, destacándose por no desprender olor una vez curada, lo que la hace adecuada para entornos sensibles

2.4.1 Tipos de resina a evaluar

En el marco de este estudio, es crucial examinar los diferentes tipos de resinas termoestables que podrían ser adecuados para la fabricación de moldes. Estas resinas ofrecen una variedad de propiedades que las hacen potencialmente útiles como alternativas al acero tradicional. A continuación, se presenta un esquema que ilustra los principales tipos de resinas consideradas en esta investigación:

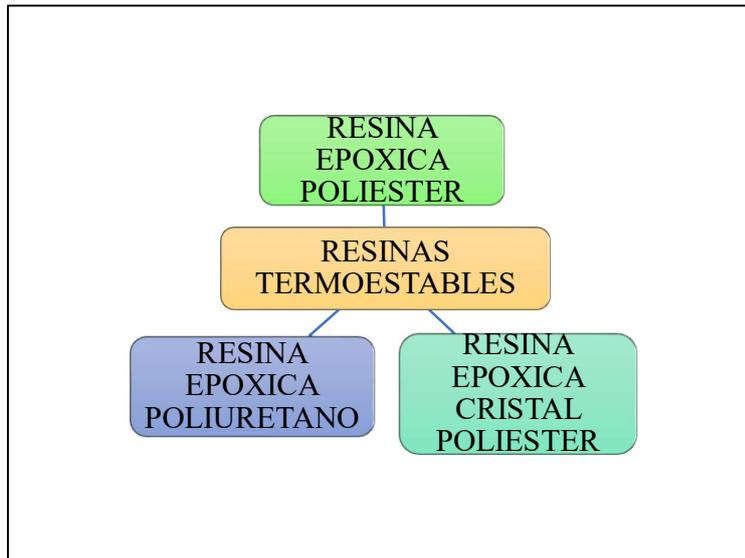


Figura 7. Esquema de las resinas termoestables

Como se puede observar en la Figura 7, las resinas termoestables se dividen en tres categorías principales: resina epóxica poliéster, resina epóxica poliuretano y resina epóxica cristal poliéster. Cada una de estas resinas posee características únicas que pueden influir en su idoneidad para la fabricación de moldes. En las siguientes secciones, analizaremos en detalle las propiedades, ventajas y limitaciones de cada tipo de resina, evaluando su potencial como material alternativo al acero en la producción de moldes para la industria de inyección de plástico.

Es fundamental analizar las propiedades de las resinas de poliuretano como alternativa para la fabricación de moldes. Una de las resinas de alto rendimiento consideradas es el sistema de resina de poliuretano alifático bicomponente, un poliuretano alifático bicomponente que, si bien está diseñado principalmente para revestimientos, presenta características que podrían ser adaptables a la fabricación de moldes [18].

2.5 Resina epoxica de Poliuretano

Para comprender mejor las propiedades de la resina de poliuretano utilizada en este estudio, es crucial examinar sus características físico-químicas. Estas propiedades no solo influyen en el proceso de fabricación del molde, sino que también determinan en gran medida el rendimiento y la calidad del producto final. La Tabla 11 resume las principales características físico-químicas de la resina de poliuretano seleccionada para este proyecto:

Tabla 11. Características físico químias de la resina de poliuretano.

Características	Valor
Densidad	$\pm 1,20 \text{ g/cm}^3$
Viscosidad	2.000 - 2.300 cps
Tiempo de secado al tacto	± 2 horas
Tiempo de repintado	2~48 horas
Método de aplicación	Brocha, rodillo de pelo corto de lana acrílica o equipo tipo “airless”

Las características físico-químicas presentadas en la Tabla 11 son fundamentales para el éxito en la fabricación de moldes de resina. La densidad de $\pm 1,20 \text{ g/cm}^3$ proporciona una buena relación entre peso y resistencia. La viscosidad entre 2.000 y 2.300 cps permite una aplicación controlada y una cobertura uniforme. El tiempo de secado al tacto de aproximadamente 2 horas y el amplio rango de tiempo de repintado de 2 a 48 horas ofrecen flexibilidad en el proceso de fabricación. Además, la variedad de métodos de aplicación permite adaptarse a diferentes necesidades y escalas de producción. Estas propiedades, en conjunto, hacen que esta resina de poliuretano sea una opción versátil y eficiente para la fabricación de moldes en el contexto de las PYMES.

Para proporcionar una comprensión más detallada y técnica de la resina de poliuretano utilizada en este estudio, es esencial examinar sus propiedades específicas según las normas internacionales. Estas propiedades no solo definen las características del material, sino que también determinan su comportamiento durante el proceso de fabricación y en el uso final del molde. La siguiente tabla presenta un conjunto completo de propiedades de la resina, incluyendo datos sobre densidad, resistencia al impacto, tiempos de curado y rangos de temperatura de aplicación y servicio. Estos datos, obtenidos mediante métodos estandarizados como ISO y UNE-EN, ofrecen una base sólida para evaluar la idoneidad de esta resina en la fabricación de moldes para PYMES.

Tabla 12. Propiedades de la resina de Poliuretano

PROPIEDADES	VALOR
Densidad ISO 1675	$\pm 1,20 \text{ g/cm}^3$
Resistencia al impacto UNE-EN ISO 6272-1	$>14,7 \text{ Nm}$ / A 1500 mm SIN defectos. Diámetro del cráter: 5,9 mm
Tiempo de vida de mezcla / secado inicial / curado / rango de repintado	$\pm 1 \text{ hora}$ / $\pm 2 \text{ horas}$ / 7 días / 2~48 horas
Rango de temperatura de aplicación	5 ~ 35 °C
Rango de temperatura ambiental (de servicio)	-20~80 °C

Basándonos en las características de la resina epoxica de poliuretano componente presentadas en la Tabla 12, podemos inferir algunas ventajas potenciales de los moldes de resina frente a los de acero. Estas incluyen un menor peso que facilitaría el manejo y reduciría los costos de transporte, la posibilidad de una fabricación más rápida y económica para series cortas o prototipos, y una mayor flexibilidad para adaptarse a cambios de diseño.

El proceso de curado se caracteriza por un tiempo de vida de mezcla de aproximadamente 1 hora, un secado inicial de alrededor de 2 horas, y un curado completo en 7 días. Este perfil de curado podría ser ventajoso para la fabricación de moldes, permitiendo un tiempo de trabajo adecuado para el vertido y la formación de detalles, seguido de un rápido secado inicial que facilitaría el desmoldeo.

Sin embargo, es importante notar que, aunque esta resina presenta propiedades prometedoras, no está específicamente diseñada para la fabricación de moldes. Se requeriría investigación adicional para evaluar su resistencia a los agentes desmoldantes comúnmente utilizados, determinar su capacidad para reproducir detalles finos y mantener la precisión dimensional a lo largo de múltiples ciclos de producción, y analizar su compatibilidad con los materiales típicamente moldeados en la industria de inyección de plástico. Estas ventajas potenciales deben ser cuidadosamente evaluadas contra la durabilidad y precisión a largo plazo de los moldes de acero, especialmente para producciones de alto volumen [19].

Dentro de las resinas termoestables, la resina epóxica de poliuretano destaca como una opción particularmente interesante para la fabricación de moldes. Este tipo de resina combina la durabilidad de los epóxicos con la flexibilidad característica de los poliuretanos, lo que podría resultar beneficioso en la producción de moldes. A continuación, en la Tabla 13, se presenta las principales características de la resina epóxica de poliuretano:

Tabla 13. Característica de la resina epoxica de poliuretano

Propiedades	Concepto
Resistencia	Alta resistencia a la intemperie y temperaturas extremas. Buena resistencia al impacto una vez curada.
Fuerza	Excelentes propiedades mecánicas y de adherencia, forma una película resistente y continua.
Flexibilidad	Compatible con moldes de silicona, lo que sugiere cierta flexibilidad para adaptarse a formas complejas.
Precio	Se encuentra al alcance de cualquier emprendedor.
Aplicaciones	Ideal para artesanos, modelistas, maquillistas y profesionales que necesiten un acabado brillante y resistente en superficies como pavimentos industriales.
Inversión	Alta inversión inicial debido a sus propiedades y aplicaciones industriales y comerciales.

Las características de la resina epoxica de poliuretano, mencionadas en la Tabla 13, sugieren un potencial significativo para su aplicación en la fabricación de moldes. Su resistencia al impacto y a condiciones ambientales adversas, combinada con su compatibilidad con moldes de silicona, la convierten en una alternativa prometedora a los moldes de acero tradicionales. Además, su versatilidad en aplicaciones industriales y comerciales indica que podría adaptarse bien a las demandas específicas de la industria de moldeo por inyección. Sin embargo, es necesario realizar pruebas adicionales para evaluar su rendimiento en comparación directa con los moldes de acero, especialmente en aspectos como la precisión dimensional y la durabilidad a largo plazo bajo las condiciones específicas de la producción de plásticos.

2.6 Resina epoxica de Poliéster.

Es esencial considerar otros tipos de resinas de poliéster para la fabricación de moldes, como las isoftálicas y ortoftálicas. Además, es importante considerar otros tipos de resinas de poliéster que podrían ser adaptables para la fabricación de moldes. En particular, las resinas isoftálicas y ortoftálicas presentan características distintas que podrían ser relevantes para diferentes aplicaciones en la industria de moldes [20].

Las resinas isoftálicas se destacan por su estructura molecular mejorada, que les confiere una resistencia química excepcional y una notable durabilidad. Estas resinas contienen una mayor concentración de estireno, aproximadamente entre 45% y 50%, lo que le proporciona una resistencia superior al agua y a diversos agentes químicos. Aunque su costo es más elevado, las resinas isoftálicas tienden a ofrecer un rendimiento superior en aplicaciones que requieren alta resistencia a la corrosión, temperaturas elevadas y exigencias mecánicas significativas [21].

Por otro lado, las resinas ortoftálicas, pioneras en la industria del plástico reforzado con fibra, contienen alrededor de un 40% de estireno. Esta composición las hace más adecuadas para aplicaciones donde no se requiere una resistencia excepcional. Su versatilidad y menor costo las convierten en una opción popular para proyectos que no demandan propiedades mecánicas extremas [21].

En términos de propiedades mecánicas, las resinas isoftálicas generalmente ofrecen una mejor combinación de fuerza y flexibilidad en comparación con las ortoftálicas. Esta característica podría ser particularmente relevante en la fabricación de moldes que requieren tanto durabilidad como cierta capacidad de adaptación a diferentes geometrías [22].

La elección entre resinas isoftálicas y ortoftálicas para la fabricación de moldes dependería de los requisitos específicos del proyecto. Para moldes que deben soportar condiciones más exigentes, como fuerzas significativas o agresiones corrosivas intensas, la resina Isoftálica sería la opción recomendada. En contraste, para aplicaciones donde las demandas de resistencia son menores y el factor económico es una consideración importante, la resina ortoftálica podría ser una alternativa viable [23].

Para comprender mejor las diferencias entre las resinas de poliéster ortoftálica e Isoftálica, es fundamental examinar sus propiedades específicas. La Tabla 14 presenta una comparación detallada de estas dos resinas, abarcando una amplia gama de características físicas, mecánicas y térmicas. La comparación directa de estos valores permite identificar las fortalezas y limitaciones de cada resina, facilitando la selección del material más apropiado para las necesidades específicas de fabricación de moldes en el contexto de las PYMES.

Tabla 14. Propiedades de la resina Poliéster Ortoftálica y Isoftálica

Propiedad	Resina de Poliéster Ortoftálica	Resina de Poliéster Isoftálica
Contenido en Polímero (ISO 3251)	57 - 61 %	54 - 56 %
Índice de Tixotropía a 25°C (ISO 2555)	≥ 2,5	≥ 2,5
Densidad a 20°C (ISO 2811-1)	1,10 Kg/L	1,10 +/- 0,03 Kg/L
Viscosidad a 25°C (ISO 2555)	350 - 450 mPa.s	450 - 550 mPa.s
Resistencia a la Tracción (ISO 527)	63 MPa	82 MPa
Alargamiento a la Rotura (ISO 527)	2,80%	4,50%
Resistencia a la Flexión (ISO 178)	115 MPa	132 MPa
Dureza Barcol (ASTM D 2583)	49	46
Contracción en el Endurecimiento (ISO 3521)	8,90%	9,60%
Absorción de Agua a 23°C (7 días) (ISO 62)	0,40%	0,50%

La resina de poliéster ortoftálica representa otra alternativa potencial en la fabricación de moldes. Aunque tradicionalmente se ha utilizado en aplicaciones menos exigentes que las resinas isoftálicas, sus características únicas podrían ofrecer ventajas en ciertos escenarios de moldeo. A continuación, se presenta un resumen en la Tabla 15 de las principales características de la resina de poliéster ortoftálica:

Tabla 15. Característica de la resina epoxica de Poliéster Isoftálica y Ortoftálica

Propiedad	Resina de Poliéster Isoftálica	Resina de Poliéster Ortoftálica
Resistencia	Alta (82 MPa de resistencia a la tracción)	Media (63 MPa de resistencia a la tracción)
Fuerza	Alta (132 MPa de resistencia a la flexión)	Media (115 MPa de resistencia a la flexión)
Flexibilidad	Moderada (4.5% de alargamiento a la rotura)	Baja (2.8% de alargamiento a la rotura)
Precio	Generalmente más alto debido a sus mejores propiedades mecánicas y resistencia	Generalmente más bajo, adecuado para usos generales
Aplicaciones	Laminados, estratificados, moldes, piezas, reparación de superficies en combinación con fibra de vidrio o carbono. Ideal para aplicaciones navales.	Laminados, estratificados, moldes, piezas, reparación de superficies en combinación con fibra de vidrio. Adecuado para aplicaciones navales y usos generales.
Inversión	Requiere una inversión mayor debido a su costo y propiedades superiores	Requiere una inversión menor, adecuado para aplicaciones menos exigentes

Las características de la resina de poliéster ortoftálica, como se muestra en la Tabla 15 se describe un material con un perfil de rendimiento moderado, pero económicamente atractivo. Su menor resistencia a condiciones extremas y flexibilidad reducida en comparación con otras resinas podrían limitar su uso en moldes para aplicaciones de alta exigencia. Sin embargo, su precio más accesible la convierte en una opción interesante para la producción de moldes destinados a series cortas o prototipos, donde las demandas de rendimiento son menos críticas.

Es importante señalar que se debe tener en cuenta la información presentada en la Tabla 15, sin embargo, las resinas isoftálicas como las ortoftálicas requieren un catalizador para iniciar el proceso de endurecimiento. Este factor es crucial en el proceso de fabricación de moldes y debe ser considerado en la evaluación de estas resinas como alternativas al acero [24].

2.7 Resina epoxica de Cristal Poliéster.

En el marco de nuestra investigación sobre alternativas a los moldes de acero, la resina epóxica cristal poliéster se presenta como una opción innovadora. Este material híbrido combina las propiedades estructurales de las resinas epóxicas con las características ópticas del poliéster cristal, ofreciendo un conjunto único de atributos que podrían revolucionar ciertas aplicaciones de moldeo. A continuación, se detallan sus principales características en la siguiente tabla:

Tabla 16. Característica de la resina epoxica de Cristal.

Características	Concepto
Resistencia	Alta resistencia al impacto y gran transparencia.
Fuerza	Buena resistencia mecánica con dureza Barcol de 35.
Flexibilidad	Moderada flexibilidad, adecuada para aplicaciones artesanales y de encapsulado.
Precio	Precio accesible, considerando que es una resina preacelerada lista para usar.
Aplicaciones	Ideal para la fabricación de piezas con alta transparencia y brillo, como llaveros, dijes y bisutería.
Inversión	Baja inversión inicial ya que solo requiere la adición de catalizador para su uso.

Estas características, como se muestra en la Tabla 16, posicionan a la resina epóxica cristal como una alternativa interesante para ciertas aplicaciones de moldeo. Su alta resistencia al impacto combinada con gran transparencia la hace ideal para piezas que requieren claridad visual. Su flexibilidad moderada la hace adecuada para aplicaciones artesanales y de encapsulado, ampliando su rango de uso.

El precio accesible y la naturaleza preacelerada de la resina, que está lista para usar, la hacen atractiva para PYMES y proyectos con presupuestos limitados. Sus aplicaciones ideales incluyen la fabricación de piezas con alta transparencia y brillo, como llaveros, dijes y bisutería, lo que sugiere su potencial en la producción de moldes para estos tipos de productos.

La baja inversión inicial, requiriendo solo la adición de catalizador para su uso, puede ser particularmente beneficiosa para empresas que buscan entrar en el mercado de moldeo con costos reducidos. Sin embargo, en comparación con los moldes de acero, su aplicabilidad en producción de alto volumen y entornos industriales exigentes requeriría una evaluación más profunda, considerando factores como durabilidad a largo plazo y resistencia a condiciones de moldeo intensivas.

Para comprender en profundidad las características de la resina epóxica cristal, es esencial examinar sus propiedades específicas. La Tabla 17 presenta un resumen detallado de las propiedades físicas, de curado y mecánicas de esta resina, junto con los métodos de prueba utilizados para su determinación. Esta información es crucial para evaluar la idoneidad de la resina en aplicaciones de moldeo y para compararla con otras alternativas.

Tabla 17. Propiedades de la resina epóxica cristal

Propiedad	Contexto	Valor	Método de Prueba
Propiedades Específicas a 25°C	Viscosidad	375 cPs	GET-07-023
	Densidad	1.10	GET-07-041
Propiedades de Curado	Tiempo de curado	22 min	GET-07-029
	Temp. Máxima de exotermia	175°C	GET-07-029
Propiedades Mecánicas	Dureza Barcol	35	GET-07-046
	Temp. De distorsión al calor	70°C	ASTM D-790

Como se observa en la Tabla 17, la resina epoxica cristal muestra propiedades interesantes para aplicaciones de moldeo. Estas propiedades, junto con los costos presentados anteriormente, proporcionan una base sólida para evaluar la viabilidad de la resina epóxica cristal como material alternativo para moldes en el contexto de las PYMES.

En el marco de la investigación sobre alternativas a los moldes de acero, es crucial considerar el aspecto económico de los materiales propuestos. La Tabla 18 presenta una comparación de costos por kilogramo de las tres principales resinas evaluadas en este estudio: la resina epóxica poliuretano, la resina poliéster ortoftálica y la resina epóxica cristal poliéster. Esta información es fundamental para realizar un análisis inicial de la viabilidad económica de cada opción, teniendo en

cuenta que el costo del material es un factor clave, aunque no el único, en la selección de un material para moldes.

Tabla 18. Costos de resinas evaluadas.

Item	Descripción	Cantidad	Precio
1	Resina epoxica Poliuretano	1 kg	\$ 35,48
2	Resina poliéster Ortoftálica	1 kg	\$ 27,40
3	Resina epoxica cristal poliéster	1kg	\$ 39,77

Como se puede observar en la Tabla 18, existe una variación significativa en los costos de las resinas evaluadas. La resina poliéster ortoftálica se presenta como la opción más económica con un precio de \$27.40 por kilogramo, mientras que la resina epóxica cristal poliéster tiene el costo más elevado, alcanzando los \$39.77 por kilogramo. La resina epóxica poliuretano se sitúa en un punto intermedio con un costo de \$35.48 por kilogramo. Estas diferencias de precio son cruciales para evaluar el balance entre costo y rendimiento en diferentes escenarios de producción de moldes. Es importante destacar que, si bien el costo es un factor significativo, la elección final del material debe considerar también otros aspectos como las propiedades mecánicas, la durabilidad y la adecuación a los requisitos específicos del proceso de moldeo.

Para evaluar de manera objetiva las diferentes alternativas de resinas epóxicas consideradas en este estudio, se ha desarrollado una matriz de comparación basada en criterios clave. La Tabla 19 presenta una evaluación cuantitativa de cuatro tipos de resinas: Resina Epoxi de Poliuretano, Resina de Poliéster Isoftálica, Resina de Poliéster Ortoftálica y Resina Cristal. Cada resina ha sido calificada en una escala de 1 a 5 en seis criterios fundamentales: resistencia, fuerza, flexibilidad, precio, aplicaciones e inversión. Esta comparación nos permite obtener una visión global de las fortalezas y debilidades de cada alternativa

Tabla 19. Criterios y ponderaciones para las alternativas de materiales en resinas epoxica

Criterios	Resina Epoxi de Poliuretano	Resina de Poliéster Isoftálica	Resina de Poliéster Ortoftálica	Resina Cristal
Resistencia	5	5	3	3
Fuerza	5	5	3	3
Flexibilidad	5	3	1	3
Precio	4	1	2	2
Aplicaciones	5	5	5	1
Inversión	5	5	5	5
TOTAL	29	24	19	17

Valores para la Ponderación: Buena = 5, Regular = 3, Mala = 1

1-may Donde

Como se observa en la Tabla 19, la Resina Epoxica de Poliuretano obtiene la puntuación total más alta con 29 puntos, destacándose en casi todos los criterios evaluados. Le sigue la Resina de Poliéster Isoftálica con 24 puntos, mostrando un buen desempeño general, pero con una desventaja significativa en el precio. La Resina de Poliéster Ortoftálica y la Resina Cristal obtienen puntuaciones más bajas, con 19 y 17 puntos respectivamente, principalmente debido a sus limitaciones en resistencia, fuerza y, en el caso de la Resina Cristal, en aplicaciones. Esta evaluación comparativa proporciona una base sólida para la selección de la resina más adecuada para la fabricación de moldes en el contexto de las PYMES. Sin embargo, es importante señalar que la elección final debe considerar también los requisitos específicos de cada proyecto y las capacidades técnicas de la empresa.

En base a las características y costos del producto, se eligió trabajar con la resina epóxica poliuretano para este estudio comparativo de moldes. Esta elección se fundamenta en un análisis equilibrado de sus propiedades técnicas y consideraciones económicas.

La resina epóxica poliuretano destaca por sus siguientes fortalezas:

- Resistencia: Demuestra una alta resistencia, comparable a la de la resina de poliéster Isoftálica, haciéndola adecuada para aplicaciones que requieren durabilidad.
- Fuerza: Exhibe excelentes propiedades mecánicas, cruciales para la integridad estructural de los moldes.
- Flexibilidad: Muestra una flexibilidad superior a las otras resinas evaluadas, beneficiosa para moldes que requieren cierta adaptabilidad.
- Precio: Ofrece una buena relación calidad-precio, situándose en un punto intermedio entre las alternativas consideradas.
- Aplicaciones: Demuestra versatilidad en sus aplicaciones, sugiriendo su idoneidad para una amplia gama de usos en la fabricación de moldes.
- Inversión: Requiere una inversión inicial comparable a las otras resinas evaluadas, haciéndola accesible para PYMES que buscan alternativas a los moldes de acero.

En cuanto al costo, la resina epóxica poliuretano se sitúa en un punto intermedio entre las opciones consideradas, con un precio de \$35,48 por kilogramo. Este costo, aunque superior al de la resina poliéster ortoftálica (\$27,40/kg), se justifica por sus mejores propiedades y versatilidad. Además, es más económica que la resina epóxica cristal poliéster (\$39,77/kg), ofreciendo un mejor balance entre costo y rendimiento para la fabricación de moldes.

Esta combinación de propiedades técnicas superiores y un costo razonable posiciona a la resina epóxica poliuretano como la opción más prometedora para nuestro estudio comparativo con moldes

de acero, ofreciendo un potencial significativo para desarrollar alternativas viables y económicamente competitivas en la industria de moldeo por inyección [26].

A continuación, se presenta la tabla 20 de costos de maquinaria y herramientas utilizadas en la construcción del molde de resina. Es importante destacar que estos costos se han estimado basándose en el conocimiento y experiencia de colegas en la industria, lo cual proporciona una perspectiva realista y práctica de los recursos necesarios para este proceso.

Tabla 20. Costos de la maquinaria de un molde de resina.

ITEM	Descripción	HORA DE USO	COSTO POR HORA	COSTO TOTAL
1	TORNO CNC	6	\$5,00	\$30,00
2	SIERRA ELECTRICA	2	\$5,00	\$10,00
3	FRESADORA CNC	10	\$20,00	\$200,00
4	PULIDORA	4	\$5,50	\$22,00
5	ESMERIL	2	\$3,00	\$6,00
TOTAL				\$268,00

Como se observa en la tabla 20, el costo total de maquinaria y herramientas para la construcción del molde de resina asciende a \$268,00. Este monto refleja no solo el uso de equipos avanzados como el torno CNC y la fresadora CNC, sino también herramientas más convencionales, pero igualmente importantes como la sierra eléctrica, la pulidora y el esmeril.

La distribución de horas y costos por hora de cada equipo ha sido cuidadosamente considerada para reflejar un proceso de fabricación eficiente y de alta calidad. Destaca el uso extensivo de la fresadora CNC, que representa la mayor parte del costo total, indicando la importancia de la precisión y el detalle en la fabricación del molde [27].

Esta información, respaldada por la experiencia colectiva de profesionales en el campo, proporciona una base sólida para comparar los costos de producción de moldes de resina frente a los tradicionales moldes de acero, contribuyendo significativamente a nuestro análisis comparativo [28]. La mano de obra es un componente crucial en la fabricación de moldes, tanto de resina como de acero, y puede influir significativamente en los costos totales y la calidad del producto final.

En este análisis, compararemos los requerimientos de mano de obra para ambos tipos de moldes, considerando el tiempo, la especialización y los costos asociados. La fabricación de moldes de resina generalmente requiere menos horas de mano de obra especializada. El proceso involucra aproximadamente 18-35 horas de trabajo activo, incluyendo la preparación del modelo, mezcla y vertido de la resina, tiempo de curado (sin intervención activa), y acabado y pulido.

La mano de obra para moldes de resina suele ser menos costosa, ya que no requiere habilidades altamente especializadas en mecanizado de metales. Sin embargo, se necesita experiencia en el manejo de resinas y técnicas de moldeo [29]. Por otro lado, la fabricación de moldes de acero es un proceso más intensivo en mano de obra y requiere personal altamente cualificado.

El proceso puede tomar entre 50-78 horas de trabajo activo, abarcando diseño y programación CNC, mecanizado CNC, tratamiento térmico, acabado y pulido, y ajuste y pruebas. La mano de obra para moldes de acero es generalmente más costosa debido a la necesidad de operarios especializados en programación CNC, mecanizado de precisión y tratamientos térmicos.

En términos de costos, asumiendo una tarifa promedio de \$25/hora para trabajadores de moldes de resina y \$40/hora para especialistas en moldes de acero, el costo de mano de obra para moldes de resina se estima entre \$450 y \$875, mientras que para moldes de acero puede oscilar entre \$2,000 y \$3,120. Esta diferencia en costos de mano de obra contribuye significativamente a la ventaja económica de los moldes de resina en términos de inversión inicial.

Sin embargo, es importante considerar que la mayor inversión en mano de obra especializada para moldes de acero puede resultar en una mayor durabilidad y precisión a largo plazo, potencialmente justificando el costo adicional en producciones de alto volumen [30]. La elección entre moldes de resina y acero debe tener en cuenta no solo los costos de mano de obra, sino también la

disponibilidad de personal cualificado, los plazos de producción y los requisitos específicos del producto final.

En la Tabla 21 se presenta un resumen comparativo de los costos totales de construcción para los dos tipos de moldes analizados en esta investigación: el molde de acero tradicional y el molde de resina propuesto como alternativa.

Tabla 21. Comparación de costos entre el molde de acero y de resina

Descripción	Molde de acero	% del Total (Acero)	Molde de resina	% del Total (Resina)
Costo de materiales empleados en construcción del molde	\$500.20	50.33%	\$35.48	11.69%
Costo de maquinaria y he- rramientas usados en la cons- trucción del molde	\$494.00	49.67%	\$268.00	88.31%
TOTAL \$	\$994.20	100%	\$303.48	100%

Esta comparación presentada en la Tabla 21 revela diferencias significativas entre ambos tipos de moldes. El molde de acero, con un costo total de \$994.20, representa una inversión considerablemente mayor en comparación con el molde de resina, cuyo costo total asciende a \$303,48. Esta diferencia de los costos totales se desglosa en dos componentes principales:

Costo de materiales: El molde de acero requiere una inversión sustancialmente mayor en materiales (\$500,30) comparado con el molde de resina (\$35,48). Esta diferencia refleja el alto costo del acero de grado industrial necesario para moldes duraderos y precisos.

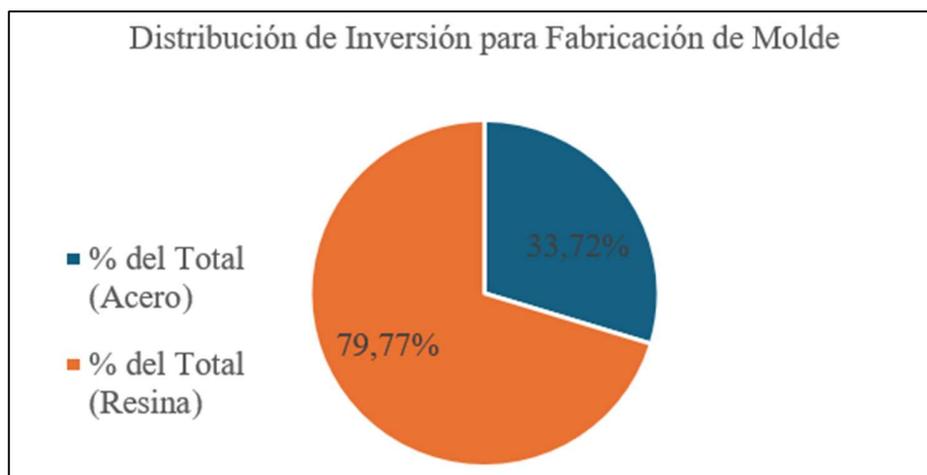
Costo de maquinaria y herramientas: Aunque la diferencia es menos pronunciada en este aspecto, el molde de acero sigue siendo más costoso (\$494,00) en comparación con el molde de resina (\$268,00). Esto se debe principalmente a los procesos más complejos y prolongados requeridos para el mecanizado del acero.

A continuación, se presenta en la Tabla 22 el porcentaje de ahorro de costos, en función de nuestra inversión, para el presente proyecto se estimó una inversión de \$ 1500:

Tabla 22. Porcentaje de ahorro de costos.

Inversión	\$	1.500,00
% del Total (Acero)	\$ 505,80	33,72 %
% del Total (Resina)	\$ 1.196,52	79,77%

Como se muestra en la Figura 8, se presenta mediante un diagrama de pastel, el cual nos refleja que el color naranja representa que 79.77% de utilización de nuestra inversión para la fabricación



de un molde de inyección en acero P20, mientras que el color azul nos indica que, para la fabricación de un molde de resina, se usara el 33.72% de muestra inversión estimada.

Esta comparación económica sugiere que los moldes de resina podrían ofrecer una ventaja significativa en términos de costos iniciales, especialmente para producciones de bajo volumen o prototipado rápido. Sin embargo, es crucial considerar otros factores como la durabilidad, la precisión a largo plazo y la capacidad de producción antes de tomar una decisión definitiva entre estos dos tipos de moldes.

La comparación cualitativa y cuantitativa entre moldes de resina y moldes de acero revela importantes diferencias que influyen en su aplicabilidad en diversos escenarios de producción. La Tabla 23 proporciona una visión integral de los aspectos clave a considerar al elegir entre estos dos tipos de moldes.

Tabla 23. Comparación cualitativa y cuantitativa del molde de resina vs un molde de acero.

Aspecto	Moldes de Resina	Moldes de Acero
Costo inicial	Menor inversión inicial: \$303,48 por molde de resina [1].	Mayor costo inicial: \$994,20 por molde de acero [1].
Flexibilidad en producción	Ideal para prototipos y series cortas, permite adaptarse rápidamente a cambios del mercado [2].	Más adecuados para producciones a gran escala.
Tiempo de fabricación	Fabricación más rápida que los moldes de acero [3].	Fabricación más lenta que los moldes de resina.
Durabilidad	Vida útil más corta, especialmente en producciones de alto volumen [4].	Alta resistencia al desgaste y vida útil prolongada [6].
Precisión	Menos adecuados para productos que requieren tolerancias muy estrictas [5].	Mantienen tolerancias más estrictas, ideal para productos de alta precisión [7].
Aplicaciones ideales	Series cortas, prototipos, productos con cambios frecuentes de diseño [8].	Producciones a gran escala, productos de alta precisión.
Factores críticos de decisión	Volumen de producción, complejidad del producto y presupuesto disponible [8].	Volumen de producción, precisión requerida y disponibilidad de capital inicial [1].

Esta comparación presentada en la Tabla 22, detallada destaca las fortalezas y limitaciones de cada tipo de molde. Los moldes de resina sobresalen en términos de costo inicial, flexibilidad y tiempo de fabricación, haciéndolos ideales para prototipos, series cortas y productos que requieren adaptaciones frecuentes. Su menor costo inicial (\$303,48 frente a \$994.20 de los moldes de acero) los hace particularmente atractivos para empresas con presupuestos limitados o que buscan reducir los costos de desarrollo de productos.

Por otro lado, los moldes de acero demuestran superioridad en durabilidad, precisión y capacidad para producciones a gran escala. Su vida útil prolongada y capacidad para mantener tolerancias estrictas los hacen indispensables en la fabricación de productos de alta precisión y en series de producción extensas [31].

La decisión entre moldes de resina y acero debe basarse en una evaluación cuidadosa de factores como el volumen de producción esperado, la complejidad del producto, los requisitos de precisión y el presupuesto disponible. Los moldes de resina ofrecen ventajas significativas en términos de tiempo de llegada al mercado y adaptabilidad, mientras que los moldes de acero son preferibles cuando se requiere una alta precisión y durabilidad a largo plazo.

Capítulo III

Diseño y construcción de un molde de inyección.

En el presente capítulo, se abordará el diseño del molde utilizando un programa CAD, detallando cada paso del proceso. Además, se llevará a cabo la construcción y fabricación del molde, explicando las técnicas y herramientas empleadas. Se realizará un análisis financiero, evaluando el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) para determinar la viabilidad del proyecto. Este enfoque integral permitirá comprender tanto los aspectos técnicos como económicos involucrados en la producción de moldes para PYMES.

3.1 Diseño del molde de inyección.

Para el diseño del molde de inyección, se emplea un programa CAD que permite visualizar una proyección detallada del molde final antes de iniciar la fabricación. Este software facilita la creación de un modelo preciso, asegurando que todas las especificaciones y tolerancias se cumplan. La utilización de un programa CAD no solo mejora la precisión del diseño, sino que también optimiza el proceso de desarrollo, reduciendo errores y retrabajos. Además, permite realizar modificaciones y ajustes de manera eficiente, garantizando que el molde cumpla con los requisitos del cliente y las normas industriales.

En el Anexo 1, se presentan el plano de vistas del diseño del molde de resina. A continuación, en la Figura 8, se muestra el diseño del molde en 3D, realizado con la ayuda de un programa CAD. Este diseño proporciona una representación detallada de cada componente del molde, incluyendo las vistas frontal, lateral y superior.

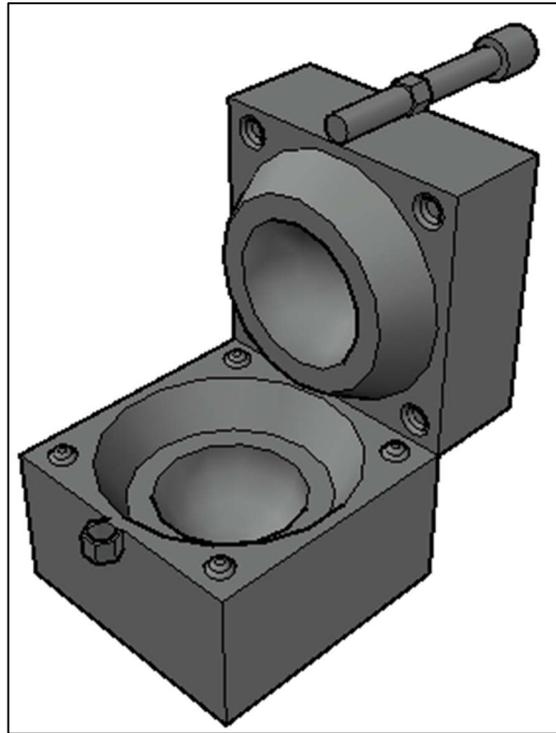


Figura 9. Diseño del molde de resina en 3D

3.1.1 *Dimensiones de los componentes para un molde de resina.*

Las dimensiones de cada componente aseguran un ensamblaje correcto y la funcionalidad del molde. La selección y especificación de medidas para el molde de inyección garantizan que el producto final cumpla con los estándares de calidad y precisión requeridos. En este contexto, las dimensiones de los componentes se detallan meticulosamente para incluir tanto el cuerpo superior como el cuerpo inferior del molde, así como la base de madera y las bisagras necesarias. Estas medidas son fundamentales para la fabricación eficiente del molde de resina y para la obtención de productos consistentes y de alta calidad. A continuación, se presenta en la Tabla 23, las medidas de nuestro molde a desarrollar:

Tabla 24. Dimensiones de los Componentes

Componente	Dimensión	Símbolo	Valor
Pelota	Diámetro	d=	6.19 cm
	Altura	h=	5 cm
Cuerpo Superior del Molde	Ancho	a=	12.84 cm
	Largo	l=	12.7 cm
	Altura	h=	7 cm
Cuerpo Inferior del Molde	Ancho	a=	12.84 cm
	Largo	l=	12.7 cm
Base de Madera	Diámetro	d=	10.5 cm
	Ancho	a=	7.5 cm
Bisagra	Largo	l=	7.5 cm

3.2 Proceso de fabricación de un molde de resina.

El proceso de fabricación de un molde de resina implica varios pasos meticulosos, combinando técnicas tradicionales con materiales modernos. A continuación, se detalla el proceso paso a paso:

3.2.1 *Selección del producto y creación del modelo:*

Como se indica en la Figura 10, se procede a seleccionar el producto, el cual reproduciremos, para este proyecto se eligió una pelota antiestrés como producto de muestra. Este objeto servirá como modelo para crear el molde.



Figura 11. Producto seleccionado

3.2.2 *Preparación de la base:*

Se coloca la pelota sobre una superficie de madera y se traza su contorno. Posteriormente, se corta cuidadosamente la madera siguiendo este contorno, creando una base que servirá como soporte durante el proceso de vaciado del molde. A continuación, se presenta la referencia en la Figura 11:



Figura 12. Diseño del contorno del producto

3.2.3 *Fabricación del cuerpo exterior del molde:*

Se construye la estructura exterior del molde utilizando acero P20, como se muestra en la Figura 12. Se cortan cuatro piezas de este acero y se unen mediante soldadura, formando una caja que contendrá la resina.



Figura 13. Base de soporte del producto.

3.2.4 *Creación de la parte superior del molde:*

Se fabrica la contraparte superior del molde, siguiendo un proceso similar al de la parte inferior, asegurando que ambas partes encajen perfectamente. Según se muestra en la Figura 13 siguiente:



Figura 14. Caja de acero P20 y base de madera del producto

Una vez fabricada, la parte inferior del molde se procede a construir la parte superior del molde de resina, como de presenta en la Figura 14:



Figura 15. Cuerpo superior e inferior del molde en acero P20

3.2.5 Preparación y vertido de la resina:

Se utiliza resina epoxica de poliuretano, mezclándola según las especificaciones técnicas del fabricante. Una vez preparada, se vierte cuidadosamente la mezcla en las partes inferior y superior del cuerpo del molde. Como se evidencia en la Figura 15:



Figura 16 Vaciado de la mezcla de resina de poliuretano.

3.2.6 *Proceso de curado:*

Se deja reposar la mezcla durante un período de tres a cinco días. Durante este tiempo, el molde pasa por varias etapas de curado:

- a) Estado líquido a gelatinoso: La resina aún es manipulable, pero comienza a endurecerse.
- b) Solidificación inicial: La resina alcanza un estado sólido, pero aún no su dureza máxima.
- c) Endurecimiento final: La resina desarrolla completamente sus propiedades mecánicas y térmicas.

Una vez que haya transcurrido el tiempo necesario, tal como se muestra en la Figura 16, el proceso de curado habrá terminado.



Figura 17. Molde resina curado.

3.2.7 *Acabado y ensamblaje final:*

Una vez completado el proceso de curado, se procede a añadir los detalles finales, tal como se presenta en la Figura 17:



Figura 18. Molde de resina con acoples finales.

- a) Se instala una bisagra para unir las dos partes del molde.
- b) Se coloca un sistema de cierre compuesto por una tuerca en la parte inferior y un perno en la superior, permitiendo un cierre seguro del molde, como se aprecia en la Figura 18:



Figura 19. Vista superior de la fabricación de un molde de resina.

La vista final de la fabricación de un molde de resina se presenta en la Figura 19, combinando la durabilidad del acero en su estructura exterior con las propiedades versátiles de la resina epoxica en su interior.



Figura 20. Vista lateral de la fabricación de un molde de resina.

3.3 Análisis VAN y TIR.

El análisis financiero es una herramienta esencial en la evaluación de proyectos de inversión, permitiendo determinar su viabilidad económica y rentabilidad. Utilizando indicadores clave como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), se puede obtener una visión clara del potencial financiero de un proyecto.

3.3.1 Análisis VAN y TIR para un molde en Acero P20.

El análisis financiero de un proyecto de inversión en la fabricación de moldes de inyección, específicamente utilizando acero P20, se centra en evaluar la viabilidad económica a través de herramientas como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). El acero P20 es conocido por su robustez y longevidad, lo que lo convierte en una opción preferida para moldes de alta precisión y durabilidad. El VAN mide la diferencia entre el valor presente de los flujos de caja futuros esperados y la inversión inicial, permitiendo determinar si el proyecto generará un valor neto positivo. Por otro lado, la TIR estima la rentabilidad del proyecto al calcular la tasa de descuento que iguala el valor presente de los flujos de caja futuros con la inversión inicial

La Tabla 24 proporciona un análisis financiero detallado para la fabricación de un molde de acero P20. Este análisis desglosa los costos en varias categorías clave. Primero, se consideran los materiales directos, incluyendo la materia prima como la resina de poliuretano. A continuación, se calcula el costo de la mano de obra directa involucrada en la producción del molde. Los gastos indirectos incluyen el uso de maquinaria y herramientas específicas, tales como el torno, esmeril, sierra eléctrica, fresadora CNC y pulidora. Finalmente, se suma todo para obtener el costo total de bienes manufacturados, proporcionando una visión completa del gasto total en la fabricación del molde.

Este modelo proyecta ventas anuales de \$120,088, con un margen de beneficio que alcanza el 58% hacia el final del año. El Valor Actual Neto (VAN) para este proyecto se calcula en \$22,423.93, con una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 70%, indicando una alta rentabilidad a pesar de la mayor inversión inicial requerida.

Tabla 25. Costos de inversión en el molde de acero P20

2024					Total
Molde Acero vendidos	3	6	9	12	15
	mes 3	mes 6	mes 9	mes 12	
Materiales Directos	\$1.560,00	\$3.126	\$4.716	\$6.324	\$40.840
Materia Prima	\$1.560	\$3.126	\$4.716	\$6.324	\$40.840
Acero P20	\$520	\$521	\$524	\$527	\$6.268
Mano de Obra Directa	\$1.280	\$1.281	\$1.284	\$1.287	\$15.388
Gastos Indirectos	\$129	\$129	\$129	\$129	\$1.548
Torno	\$18	\$18	\$18	\$18	\$216
Esmeril	\$6	\$6	\$6	\$6	\$72
Sierra Eléctrica	\$60	\$60	\$60	\$60	\$720
Fresadora CNC	\$40	\$40	\$40	\$40	\$480
Pulidora	\$5	\$5	\$5	\$5	\$60
Costo Total de Bienes Manu- facturados	\$2.969	\$4.536	\$6.129	\$7.740	\$57.776

Las proyecciones de ventas para el molde fabricado con acero P20 se detallan en la Tabla 25. Este análisis exhaustivo presenta las estimaciones de ingresos esperados a lo largo de un período específico, considerando la demanda proyectada y el precio de venta del molde. La información contenida en la Tabla 25 es esencial para evaluar el potencial económico del proyecto, proporcionando una visión clara sobre los ingresos esperados y su impacto en la viabilidad financiera del molde de acero P20.

Tabla 26. Ventas estimadas en el molde de acero P20.

Ventas	\$4.608	\$9.222	\$13.860	\$18.516	\$120.088
Volumen	3	6	9	12	Total
Dólares	\$1.536	\$1.537	\$1.540	\$1.543	
Costo de Ventas	\$2.969	\$4.536	\$6.129	\$7.740	\$57.776
Margen	\$1.639	\$4.686	\$7.731	\$10.776	\$62.312
% Margen	36%	51%	56%	58%	52%

El análisis detallado de la utilidad operacional del molde fabricado con acero P20 se encuentra en la tabla que se presenta a continuación. Esta Tabla 26 muestra la diferencia entre los ingresos generados y los costos operativos asociados con la producción y venta del molde. La utilidad operacional es un indicador clave para evaluar la eficiencia y rentabilidad del proyecto, proporcionando una visión clara de la capacidad del molde para generar beneficios a partir de las operaciones normales. La información contenida en esta tabla es fundamental para entender el rendimiento financiero del molde de acero P20, como se muestra en la Tabla 26.

Tabla 27. Utilidad operacional en el molde de acero P20.

Trimestre	Inver- sión	mes 3	mes 6	mes 9	mes 12	Total
Ventas		\$4.608	\$9.222	\$13.860	\$18.516	\$120.088
Costos y Gastos		\$2.969	\$4.536	\$6.129	\$7.740	\$57.776
Materia Prima		\$1.560	\$3.126	\$4.716	\$6.324	
Mano de Obra Directa		\$1.280	\$1.281	\$1.284	\$1.287	
Gastos Indirectos		\$129	\$129	\$129	\$129	
Utilidad Operacional		\$1.639	\$4.686	\$7.731	\$10.776	\$62.312
	-1500	\$1.639	\$4.686	\$7.731	\$10.776	
Margen		36%	51%	56%	58%	52%

El molde de acero P20 muestra resultados financieros en la Tabla 27. La inversión inicial, combinada con una tasa de descuento aplicada, da lugar a un Valor Actual Neto positivo, lo cual indica una recuperación eficiente del capital invertido y una generación de beneficios adicionales. La Tasa Interna de Retorno también revela una alta rentabilidad, confirmando la viabilidad y atractivo económico del proyecto. En conjunto, estos resultados sugieren que el molde representa una opción económicamente sólida y beneficiosa.

Tabla 28. VAN y TIR en el molde de acero P20.

TASA DE DESCUENTO	12%
INVERSIÓN	-1500
VAN	\$22.423,93
TIR	70%

Con una tasa de descuento del 12%. La inversión inicial requerida para este molde es de \$1,500. A pesar del costo inicial, el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto es considerablemente positivo, alcanzando \$22,423.93. Este resultado sugiere que, después de descontar el costo de la inversión, el proyecto generará un beneficio neto significativo. La Tasa Interna de Retorno (TIR) del 70% confirma la alta rentabilidad esperada, ya que supera ampliamente el costo del capital y los objetivos de rentabilidad del inversor.

El molde de acero P20 demuestra ser una opción muy atractiva desde el punto de vista financiero. Con una inversión inicial relativamente modesta y un VAN positivo que refleja un alto retorno sobre la inversión, los resultados financieros apoyan la viabilidad y la eficiencia económica del proyecto. La TIR alta refuerza la conclusión de que este molde no solo recuperará la inversión, sino que también proporcionará beneficios significativos en el largo plazo.

3.3.2 *Análisis VAN y TIR para un molde en resina de Poliuretano.*

El análisis financiero de un proyecto de inversión en la fabricación de moldes de inyección, utilizando resina epóxica de poliuretano, se enfoca en determinar la viabilidad económica mediante herramientas como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). La resina epóxica de poliuretano, conocida por su alta durabilidad y precisión, es una opción preferida para la producción de moldes de alta calidad. El VAN mide la diferencia entre el valor presente de los flujos de caja futuros esperados y la inversión inicial, proporcionando una indicación clara de si el proyecto generará un valor neto positivo.

En la Tabla 28, se presenta un análisis financiero detallado para la fabricación del molde con resina epóxica de poliuretano. Este análisis desglosa los costos en categorías clave, incluyendo materiales directos como la resina, el costo de la mano de obra directa y los gastos indirectos asociados con el uso de maquinaria y herramientas específicas. Al sumar estos costos, se obtiene el costo total de bienes manufacturados, ofreciendo una visión completa del gasto necesario para la fabricación del molde.

Tabla 29. Costos de inversión en el molde de resina de poliuretano.

Molde Resina de poliuretano vendidos	5 mes 3	8 mes 6	11 mes 9	14 mes 12	23 Total
Materiales Directos	\$177,40	\$283,84	\$390,28	\$496,72	\$3.548
Materia Prima	\$177,40	\$283,84	\$390,28	\$496,72	\$3.548
Resina Poliuretano	\$35,48	\$35,48	\$35,48	\$35,48	\$426
Mano de Obra Directa	\$600	\$600	\$600	\$600	\$7.200
Gastos Indirectos	\$268	\$268	\$268	\$268	\$3.216
Torno	\$30	\$30	\$30	\$30	\$360
Esmeril	\$10	\$10	\$10	\$10	\$120
Sierra Eléctrica	\$200	\$200	\$200	\$200	\$2.400
Fresadora CNC	\$22	\$22	\$22	\$22	\$264
Pulidora	\$6	\$6	\$6	\$6	\$72
Costo Total de Bienes Manufacturados	\$1.045	\$1.152	\$1.258	\$1.365	\$13.964

La Tabla 29 proporciona una estimación detallada de las ventas proyectadas para el molde fabricado con resina epóxica de poliuretano. Este análisis permite evaluar el potencial de ingresos del proyecto al mostrar las cifras esperadas de ventas a lo largo de un período determinado. Los datos incluidos en la tabla son fundamentales para determinar la viabilidad financiera y la rentabilidad del molde, proporcionando una visión clara de las expectativas de mercado y el retorno económico esperado.

Tabla 30. Ventas estimadas en el molde de resina de poliuretano.

Ventas	\$3.600	\$5.760	\$7.920	\$10.080	\$72.000
Volumen	5	8	11	14	23
Dólares	\$720	\$720	\$720	\$720	
Costo de Ventas	\$1.045	\$1.152	\$1.258	\$1.365	\$13.964
Margen	\$2.555	\$4.608	\$6.662	\$8.715	\$58.036
% Margen	71%	80%	84%	86%	81%

En la Tabla 30 presenta un desglose detallado de la utilidad operacional generada por el molde fabricado con resina epóxica de poliuretano. Este análisis muestra los ingresos menos los costos operativos directos asociados con la producción y venta del molde. Al detallar estos elementos, la tabla proporciona una visión clara de la rentabilidad operativa del proyecto, permitiendo evaluar la eficiencia en la generación de beneficios a partir de las operaciones normales del negocio. Este desglose es esencial para comprender la capacidad del molde para contribuir positivamente a los resultados financieros generales.

Tabla 31. Utilidad operacional en el molde de resina de poliuretano

Trimestres	Inversión	mes 3	mes 6	mes 9	mes 12	Total
Ventas		\$3.600	\$5.760	\$7.920	\$10.080	\$72.000
Costos y Gastos		\$1.045	\$1.152	\$1.258	\$1.365	\$13.964
Materia Prima		\$177	\$284	\$390	\$497	
Mano de Obra Directa		\$600	\$600	\$600	\$600	
Gastos Indirectos		\$268	\$268	\$268	\$268	
Utilidad Operacional		\$2.555	\$4.608	\$6.662	\$8.715	\$58.036
Margen	-1500	\$2.555	\$4.608	\$6.662	\$8.715	
		71%	80%	84%	86%	81%

El análisis financiero presentado en la Tabla 31 del molde fabricado resina epóxica de poliuretano muestra una inversión inicial de \$1,500 y una tasa de descuento del 12%. Con estos parámetros, el Valor Actual Neto (VAN) alcanza \$22,386.30, indicando que el proyecto es rentable y generará un valor neto positivo significativo.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) del 88% refuerza la viabilidad económica del molde, mostrando un retorno excepcionalmente alto sobre la inversión inicial. Este porcentaje sugiere que el proyecto no solo recuperará la inversión, sino que también generará beneficios destacados.

En conjunto, los resultados del VAN y la TIR destacan el atractivo financiero del proyecto, confirmando que el molde de resina epóxica de poliuretano es una inversión sólida y beneficiosa. Estos datos demuestran que el proyecto es una opción financieramente favorable.

Tabla 32. VAN y TIR en el molde de resina de poliuretano

TASA DE DESCUENTO	12%
INVERSIÓN	-1500
VAN	\$ 22.386,30
TIR	88%

Estos análisis financieros proporcionan una base sólida para la toma de decisiones, permitiendo a las PYMES evaluar cuidadosamente las implicaciones económicas de optar por moldes de resina frente a los tradicionales moldes de acero. Mientras que el molde de acero muestra una mayor capacidad de generación de ingresos a largo plazo, el molde de resina ofrece una rentabilidad más rápida y un margen de beneficio superior, lo que podría ser particularmente atractivo para empresas con limitaciones de capital inicial o que buscan una mayor flexibilidad en su producción.

Conclusiones

La investigación reveló diferencias notables en los procesos de fabricación entre moldes de resina y acero. Los moldes de resina se destacan por requerir menos tiempo y equipamiento especializado, lo que se traduce en costos operativos más bajos. Esta accesibilidad tecnológica podría actuar como un factor democratizador en el sector, permitiendo que más PYMES participen en la producción de moldes y productos plásticos. Sin embargo, es importante considerar que la menor durabilidad de los moldes de resina podría necesitar reemplazos más frecuentes en comparación con los de acero, un factor crucial en la planificación a largo plazo.

En cuanto al diseño y construcción, se logró desarrollar un modelo 3D detallado del molde de resina utilizando software CAD, optimizando materiales y procesos de fabricación. Este enfoque permitió crear un diseño preciso y adaptable, demostrando la ventaja de los moldes de resina en términos de flexibilidad de diseño y rapidez de producción. La capacidad de realizar modificaciones rápidas en el diseño digital antes de la fabricación representa un valor añadido significativo para las PYMES que requieren adaptabilidad en sus procesos productivos. Además, el uso de tecnologías CAD en el diseño de moldes de resina facilita la integración con sistemas de fabricación avanzados, como la impresión 3D, abriendo nuevas posibilidades para la producción de moldes personalizados y de geometrías complejas.

La investigación y selección del tipo óptimo de resina para moldes de poliuretano llevó a identificar la resina epóxica poliuretano como la opción más adecuada. Esta selección se basó en un análisis comparativo de diferentes tipos de resinas, considerando factores como propiedades mecánicas, costo, facilidad de procesamiento y durabilidad. La resina epóxica poliuretano demostró un equilibrio óptimo entre estas características, ofreciendo una solución viable para la fabricación de moldes en el contexto de las PYMES. Su resistencia al impacto ($>14,7$ Nm según la norma UNE-EN ISO 6272-1) y su rango de temperatura de servicio ($-20\sim 80$ °C) la hacen adecuada para una amplia gama de aplicaciones en la industria del moldeo por inyección.

Este estudio comparativo entre moldes de resina y acero para la industria de inyección de plástico en PYMES ha revelado diferencias significativas en términos de costos, viabilidad económica

y características técnicas. Los moldes de resina epóxica poliuretano, con un costo total de fabricación de \$303,48, representan una alternativa económicamente atractiva frente a los \$994,20 de los moldes de acero, lo que supone una reducción del 69,5% en costos iniciales. Esta diferencia es crucial para las PYMES con limitaciones de capital, facilitando su entrada al mercado y optimizando sus recursos financieros.

El análisis financiero detallado demuestra la viabilidad económica de ambos tipos de moldes, con ventajas específicas para cada uno. Para el molde de acero P20, se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) de \$22,423.93 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 70%, indicando una alta rentabilidad a largo plazo. Estos resultados sugieren que, a pesar de la inversión inicial más elevada, los moldes de acero pueden ofrecer beneficios sustanciales en proyectos de larga duración o de alto volumen de producción.

Por otro lado, el molde de resina epóxica de poliuretano mostró un VAN de \$22,386.30 y una TIR del 88%, lo que sugiere una recuperación de inversión más rápida y un mayor margen de beneficio a corto plazo. Esta ventaja financiera es particularmente relevante para las PYMES que buscan flexibilidad financiera y un retorno de inversión acelerado. La diferencia en la TIR (88% para resina vs 70% para acero) subraya la capacidad de los moldes de resina para generar un retorno más rápido sobre la inversión, lo cual puede ser crucial para empresas con limitaciones de capital o que operan en mercados con ciclos de producto más cortos.

Recomendaciones

Se recomienda a las PYMES realizar una evaluación detallada de sus necesidades específicas antes de decidir entre moldes de resina o acero. Esta evaluación debe considerar factores como el volumen de producción proyectado, la complejidad del producto, los requisitos de precisión, el presupuesto disponible y las proyecciones de crecimiento a largo plazo. Para maximizar los beneficios de ambas tecnologías, se sugiere considerar una estrategia híbrida que utilice moldes de resina para prototipos, series cortas y productos en fase de prueba, mientras se reservan los moldes de acero para producciones de alto volumen y productos establecidos en el mercado. Se recomienda a las PYMES invertir en software y capacitación en diseño asistido por computadora (CAD) y fabricación asistida por computadora (CAM), herramientas cruciales para optimizar el diseño de moldes de resina y mejorar la eficiencia en la producción. Dado el potencial de los moldes de resina, se aconseja a las empresas desarrollar competencias internas en el manejo y procesamiento de resinas epóxicas, lo que puede incluir programas de capacitación para el personal técnico.

Implementar un sistema de monitoreo continuo para evaluar el rendimiento de los moldes de resina en términos de durabilidad, precisión y costo-efectividad a lo largo del tiempo permitirá ajustes oportunos en la estrategia de producción. Se recomienda explorar las posibilidades que ofrecen las tecnologías de fabricación aditiva (impresión 3D) en la producción de moldes de resina, especialmente para geometrías complejas o personalizadas. Realizar un análisis completo del ciclo de vida de los moldes de resina y acero, considerando aspectos ambientales y de sostenibilidad, ayudará a tomar decisiones más informadas y alineadas con las crecientes demandas de prácticas empresariales sostenibles. Establecer relaciones estrechas con proveedores de resinas permitirá mantenerse actualizado sobre las últimas innovaciones en materiales y técnicas de procesamiento, lo que puede llevar a mejoras continuas en la calidad y eficiencia de los moldes de resina.

Aprovechar la flexibilidad que ofrecen los moldes de resina para implementar estrategias de producción más ágiles y responder rápidamente a cambios en la demanda del mercado es fundamental. Invertir en investigación y desarrollo para mejorar constantemente las técnicas de fabricación de moldes de resina podría incluir experimentación con nuevas formulaciones de

resinas o métodos de curado avanzados. Dado que los moldes de resina tienen una vida útil más corta que los de acero, es necesario implementar un sistema eficiente de gestión de inventario para asegurar la disponibilidad de moldes de reemplazo sin interrumpir la producción. Realizar evaluaciones financieras periódicas para comparar los costos reales y los beneficios de los moldes de resina frente a los de acero ayudará a ajustar las estrategias de inversión y producción según sea necesario.

Explorar nichos de mercado que se beneficien específicamente de las ventajas de los moldes de resina, como la producción de series limitadas o productos altamente personalizados, puede ser una oportunidad valiosa. Desarrollar programas de capacitación en mantenimiento preventivo específicos para moldes de resina podría extender su vida útil y mejorar su rendimiento a largo plazo. Finalmente, mantenerse informado y adaptarse a las normativas y estándares de la industria relacionados con el uso de resinas en la fabricación de moldes, especialmente en lo que respecta a seguridad y calidad del producto final, es esencial para garantizar el éxito y la competitividad en el mercado. Estas recomendaciones buscan proporcionar una guía práctica para que las PYMES puedan aprovechar al máximo las ventajas de los moldes de resina, al tiempo que gestionan efectivamente sus limitaciones en comparación con los moldes de acero tradicionales.

Referencias

[1] A. Guarín y B. Páramo, «Estudio del estado del arte de moldes de inyección en Colombia.,» Revista Universidad EAFIT, vol. 38, n° 128, 2012.

[2] M. López, «Mejora y parametrización de la formulación química utilizada en la fabricación de platos de ducha de poliuretano mediante aligeramiento químico (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya),» 2023. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/394818>.

[3] M. Echeverri, «¿Cómo una microempresa logra transformarse en una macroem-presa a través de mentes innovadoras?,» 2018. [En línea].

[4] J. Fadul, A. Bernal, J. Batista y N. Marín, «Propuesta de proceso para la fabricación de probetas a base de caucho reciclado granulado Process proposal for the manufacture of test tubes based on granulated recycled rubber.,» 2021. [En línea]. Available: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/72323110/3725-libre.pdf?1634104926=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPropuesta_de_proceso_para_la_fabricacion.pdf&Expires=1718206655&Signature=Gy5y1V3x0XNeIw15yIREVqzm6JgKc7Fbi-I~Geyja4f-fbqxELgx5Q~I7.

[5] Junior, P. (2015). EL ACERO. www.academia.edu. https://www.academia.edu/10744546/EL_ACERO

[6] Características termoestables (2024). <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/6686/06Txrj6de14.pdf?sequence>

E. Aguilar y A. Rigail, «Propiedades Anticorrosivas de un recubrimiento nano-compuesto de epóxica/amina/nanoarcillas,» Revista Tecnológica ESPOL, vol. 19, n° 1, pp. 125- 132, 2006.

Asociación de la Industria del Poliuretano Rígido. (2019). Aplicaciones del poliuretano en nuestra vida diaria <https://25075501.fs1.hubspotusercontent-eu1.net/hubfs/25075501/Aplicaciones%20del%20poliuretano%20en%20nuestra%20vida%20diaria/Aplicaciones%20del%20poliuretano%20en%20el%20sector%20industrial.pdf>

- [7] A. Baquero, E. Gil, D. Fernández y D. Olivar, «Resina epoxi reforzada.,» *Ingenia Materiales*, vol. 5, pp. 23-26, 2023.
- [8] C. T. Horngren, S. M. Datar, and M. V. Rajan, "Cost Accounting: A Managerial Emphasis," 15th ed. Pearson, 2015.
- [9] R. S. Kaplan and R. Cooper, "Cost & Effect: Using Integrated Cost Systems to Drive Profitability and Performance," Harvard Business School Press, 1998.
- [10] M. A. Zimmerman, "Accounting for Decision Making and Control," 9th ed. McGraw-Hill Education, 2016.
- [11] P. Atrill and E. McLaney, "Management Accounting for Decision Makers," 9th ed. Pearson, 2018.
- [12] S. A. Ross, R. W. Westerfield, and J. Jaffe, "Corporate Finance," 11th ed. McGraw-Hill Education, 2015.
- [13] J. Berk and P. DeMarzo, "Corporate Finance," 4th ed. Pearson, 2016.
- [14] R. A. Brealey, S. C. Myers, and F. Allen, "Principles of Corporate Finance," 12th ed. McGraw-Hill Education, 2016.
- [15] A. Damodaran, "Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset," 3rd ed. Wiley, 2012.
- [16] D. Ávila y J. Peña, «Plan de negocios para el desarrollo sostenible de una empresa de elaboración de productos de resina y vinil sublimable: un enfoque administrativo ESPOL FCSH,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/58259>.
- [17] M. Boscán y V. Molina, «Estrategias de financiamiento interno para las pymes del sector productivo de plásticos.,» 2020. [En línea]. Available: <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/1070>.
- [18] A. Flores y M. Morales, «DISMINUCIÓN DE PÉRDIDA DE RESINA EN PROCESO DE MOLDEO.,» *Revista IPSUMTEC*, vol. 5, n° 1, pp. 98-104, 2022.

[19] M. Hazeu, «La fabricación aditiva como habilitador de la customización en masa en PYMES (Master's thesis).», 2020. [En línea]. Available: <https://reunir.unir.net/handle/123456789/9959>.

[20] J. Loaiza, «Máquinas y resinas de bajo costo aplicados al desarrollo de piezas plásticas en la fase de validación por manufactura aditiva en moldes de inyección (Doctoral dissertation, Universidad EAFIT).», 2022. [En línea]. Available: <https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/32073/Articulo.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

[21] J. Fonseca y O. Ahumada, «Análisis y selección de dispositivos de sujeción utilizados para la fabricación de piezas en procesos de mecanizado: tornos y máquinas fresadoras CNC», 2020. [En línea]. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/27756>.

[22] V. Erazo, «El diseño, la manufactura y análisis asistido por computadora (CAD/CAM/CAE) y otras técnicas de fabricación digital en el desarrollo de productos en América Latina.», Información Tecnológica, vol. 33, n° 2, pp. 297-308, 2022.

[23] Tecnopol Sistemas S.L., "TECNOTOP2C - RESINA DE POLIURETANO, ALIFÁTICA APTA PARA PAVIMENTOS Y PROTECCIÓN FRENTE A LOS RAYOS UV", Ficha Técnica TECNOTOP 2C v.13-04-2024, 2024.

[24] Nazza, "Diferencias entre Resina Isoftálica y Ortoftálica", 2024. [Online]. Available: https://www.nazza.es/blog/48_diferencias-resina-isoftalica-ortoftalica.html

[25] de la Rosa-Melian, J. E., Pérez-Rodríguez, R., Trinchet-Varela, C. A., Curra-Sosa, D. A., & Hernández-González, L. W. (2021). Estudio bibliométrico sobre el fresado de alta velocidad de aceros para moldes y matrices: e306. Revista Cubana de Ingeniería, 12(4). <https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/806>

[26] González-Rondón, Y., & Rengel-Hernández, J. E. (2021). Comportamiento termo fluidodinámico del acero en un molde de colada continua: una revisión. TecnoLógicas, 24(51), 230-262. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-77992021000200230&script=sci_arttext

[27] González-Rondón, Y., & Rengel-Hernández, J. E. (2021). Comportamiento termo fluidodinámico del acero en un molde de colada continua: una revisión. *TecnoLógicas*, 24(51), 230-262. <https://www.ensenada.tecnm.mx/wp-content/uploads/2024/06/LEGORRETA-CALIXTO.pdf>

[28] López Martínez, A. (2022). Cálculo, desarrollo y fabricación de mecanismo de cierre para moldes de inyección de resina (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València). <https://riunet.upv.es/handle/10251/186734>

[29] Pico González, D. R. (2023). Validación de una máquina para fabricación de materiales compuestos mediante la técnica de moldeo por transferencia de resina con vacío asistido. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/ucordoba/7258/1/picogonzalezdiegoraul.pdf>

[30] M. R. Mete, "Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión", *Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, vol. 7, no. 7, pp. 67-85, 2014.

[31] E. A. Trelles Bustamante, "Determinación de la viabilidad de un proyecto de inversión mediante las herramientas TIR, VAN y PRI de una empresa textil", Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, 2017.

Anexo 1

