



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN MOLDE DE INYECCIÓN PLÁSTICA PARA
PRODUCTO DE TOMACORRIENTE NEMA 5-15R**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingenieros Mecánicos

AUTORES: WILSON JOSUE TROYA CASTAÑEDA

BYRON JAVIER VASCONEZ TOSCANO

TUTOR: LUIS CHRISTIAN JUIÑA QUILACHAMÍN

Quito-Ecuador

2022

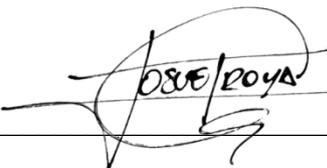
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Wilson Josue Troya Castañeda con documento de identificación N° 1724082563 y Byron Javier Vasconez Toscano con documentos de identificación N° 1720471802; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos 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, 3 de marzo del 2022

Atentamente,



Wilson Josue Troya Castañeda

1724082563



Byron Javier Vasconez Toscano

1720471802

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

Nosotros, Wilson Josue Troya Castañeda con documento de identificación N° 1724082563 y Byron Javier Vasconez Toscano con documento de identificación N° 1720471802, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño y simulación de un molde de inyección plástica para producto de tomacorriente NEMA 5-15R”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Mecánicos en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 3 de marzo del 2022

Atentamente,



Wilson Josue Troya Castañeda

1724082563



Byron Javier Vasconez Toscano

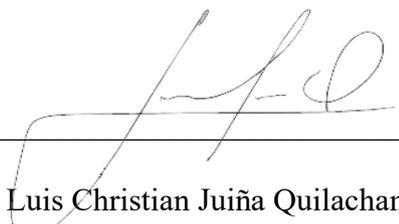
1720471802

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Luis Christian Juiña Quilachamín con documento de identificación N° 1713704508, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN MOLDE DE INYECCIÓN PLÁSTICA PARA PRODUCTO DE TOMACORRIENTE NEMA 5-15R, realizado por Wilson Josue Troya Castañeda con documento de identificación N° 1724082563 y por Byron Javier Vasquez Toscano con documento de identificación N° 1720471802, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 3 de marzo del 2022

Atentamente,



Ing. Luis Christian Juiña Quilachamín, M.Sc.

1713704508

DEDICATORIA

Agradezco principalmente a Dios, por ser el eje inspirador brindándome la fuerza y con su bendición continuar en este proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados. A mis padres, Wilson y Narcisa, mi motor que, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que hoy soy, siendo el reflejo en un pequeño fragmento de todo lo que significan para mí. Gracias a la vida tengo el orgullo y el privilegio de ser su hijo. A Marco Paúl mi hermano incondicional por siempre estar presente, acompañándome en todo momento, por el apoyo moral, por las risas y las lágrimas. A la memoria de mi hermanita Paula Anahí, el ángel que siempre me acompaña. A toda mi familia porque con sus consejos y palabras de aliento me acompañan en este camino para festejar mis sueños y metas.

Josue Troya

Este proyecto va dedicado de manera especial y afectuosa a mis padres Fabián y Sonia, por todo su amor, comprensión y apoyo, pero sobre todo gracias infinitas por la paciencia que me han tenido. No tengo palabras para agradecerles las incontables veces que me brindaron su apoyo en todas las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida, unas buenas, otras malas, otras locas. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Byron Vasquez

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a nuestra querida Universidad Politécnica Salesiana, a todas nuestras autoridades que conforman el cuerpo docente, guía fundamental para formar los nuevos profesionales de nuestra querida patria. Es indispensable recalcar la labor que tienen nuestros docentes para inculcarnos responsabilidades a la hora de ejercer diferentes actividades. Además, que muchos de nuestros docentes han llegado a formar parte de nuestra familia, ya que han existido recomendaciones y así mismo felicitaciones, valorando el esfuerzo de cada uno de nuestros trabajos.

Es grato mencionar a nuestro docente tutor Ing. Luis Christian Juiña Quilachamín M.Sc. encargado de nuestro proyecto de titulación, por el honor de trabajar con usted, ya que sus conocimientos han sido enriquecedores a lo largo de nuestra vida estudiantil, ya que sus conocimientos en ingeniería y experiencia profesional ha aportado exitosamente resultados satisfactorios.

Josue Troya y Byron Vasconez

Índice General

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	i
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	ii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
Índice de Tablas.....	x
Índice de Figuras.....	xii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
ESTUDIO DE MERCADO.....	3
1.1. Población Objetivo.....	3
1.2. Muestra.....	3
1.3. Metodología de Estudio.....	5
1.4. Análisis de Datos.....	10
1.5. Resultados de estudio de mercado.....	12
CAPÍTULO II.....	14
DISEÑO DE PRODUCTO.....	14
2.1. Normas de Tomacorriente.....	14
2.1.1. IEC 60884-1.....	15
2.1.2. NEMA 5-15R.....	17
2.2. Diseño de tomacorriente NEMA 5-15R.....	17
2.3. Polímeros Plásticos.....	21

2.3.1.	Polímeros Termoestables	22
2.3.2.	Polímeros Termoplásticos.....	22
2.3.3.	Plásticos de gran volumen	24
2.3.4.	Plásticos de ingeniería.....	27
2.4.	Selección de polímero plástico.....	30
CAPÍTULO III		31
MOLDE DE INYECCIÓN PLÁSTICA		31
3.1.	Tipos de Procesamiento de Plástico	31
3.1.1.	Inyección Plástica	31
3.2.	Tipos de Moldes	35
3.2.1.	Molde estándar.....	35
3.2.2.	Molde de mordazas	35
3.2.3.	Molde de extracción por segmentos.....	36
3.2.4.	Molde de tres placas.....	36
3.2.5.	Molde de canal caliente.....	37
3.3.	Materiales para la construcción de moldes.....	38
3.3.1.	Aceros	38
3.3.2.	Materiales para elementos de accionamiento y montaje.....	42
3.4.	Contracción Térmica.	43
3.5.	Sistema de Colada Caliente / Sistema de Colada Fría.....	45
3.5.1.	Colada Caliente	45
3.5.2.	Colada Fría.....	46
3.6.	Tipos de sistemas de expulsión en moldes de inyección plástica.	48
3.7.	Equipos y accesorios para moldes de inyección plástica.	49
3.7.1.	Equipos de secado.....	49
3.7.2.	Boquillas de inyección.....	50

3.7.3.	Tornillos de máquina inyectora.....	52
3.7.4.	Válvulas de bloqueo de flujo antirretorno.....	55
3.8.	Selección de materiales para moldes de inyección plástica	56
CAPÍTULO IV		57
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE MOLDE DE INYECCIÓN		57
4.1.	Aspectos principales del diseño del molde.....	57
4.1.1.	Cavidades.....	57
4.1.2.	Tiempos de ciclo	59
4.1.3.	Fuerza de cierre del molde.....	64
4.1.4.	Enfriamiento del molde.....	64
4.2.	Simulación de moldes de inyección	66
4.2.1.	Esfuerzo mecánico	66
4.2.2.	Moldeado por inyección de plástico	68
4.3.	Simulación estática de moldes de producto tomacorriente NEMA 5-15R.....	70
4.3.1.	Molde de inyección productos internos (Anexo B).....	70
4.3.2.	Molde de inyección productos externos (Anexo C).....	74
4.3.3.	Resultados de la simulación estática de molde de producto tomacorriente NEMA 5-15R	78
4.4.	Simulación dinámica de producto tomacorriente NEMA 5-15R.....	79
4.4.1.	Productos internos.....	81
4.4.2.	Productos externos	82
4.4.3.	Resultados de la simulación dinámica del proceso de inyección de productos internos y externos (molde 1 y molde 2).	83
4.5.	Simulación de flujo de producto tomacorriente NEMA 5-15R.....	83
4.5.1.	Productos internos.....	83
4.5.2.	Productos externos	85

4.5.3. Resultados obtenidos en la simulación de flujo del proceso de inyección de productos internos y externos (molde 1 y molde 2).....	86
CAPÍTULO V	87
ANÁLISIS FINANCIERO	87
5.1. Análisis financiero fundamental.....	87
5.1.1. Costos directos	87
5.1.2. Costos indirectos.....	89
5.2. Costo proyecto.....	89
5.3. Análisis de inversión	90
5.3.1. VAN	90
5.3.2. TIR	90
5.3.3. PRI	91
CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES	94
REFERENCIAS	95
ANEXOS.....	98

Índice de Tablas

Tabla 1. Valor estadístico (Z_{∞}).....	4
Tabla 2. Precios referencial tomacorrientes - Anexo A.	12
Tabla 3. Propiedades de plásticos cristalinos y amorfos.	24
Tabla 4. Condiciones de moldeo Plásticos de gran volumen.	25
Tabla 5. Ficha técnica PP.	26
Tabla 6. Características de molde para plásticos de ingeniería.	27
Tabla 7. Ficha Técnica ABS.....	28
Tabla 8. Ficha Técnica PC.	29
Tabla 9. Materiales para tomacorrientes NEMA 5-15R.....	30
Tabla 10. Proceso de inyección plástica ventajas vs. desventajas.....	32
Tabla 11. Variables que afectan a la contracción.	44
Tabla 12. Sistema de colada caliente ventajas y desventajas.	46
Tabla 13. Ventajas vs. desventajas del sistema de colada fría.	47
Tabla 14. Condiciones de secado para algunos materiales.....	54
Tabla 15. Materiales seleccionados para el diseño de moldes	56
Tabla 16. Condiciones de borde para análisis estático tanto para placa cavidad inyección lado fijo como para placa cavidad botación lado móvil.....	70
Tabla 17. Condiciones de borde para análisis estático tanto para placa cavidad inyección lado fijo como para placa cavidad botación lado móvil – malla.....	70
Tabla 18. Condiciones de borde para análisis estático tanto para placa cavidad inyección lado fijo como para placa cavidad botación lado móvil.....	74
Tabla 19. Condiciones de borde para análisis estático tanto para placa cavidad inyección lado fijo como para placa cavidad botación lado móvil – malla.....	74
Tabla 20. Resultados obtenidos de la simulación estática para molde de productos internos.	78
Tabla 21. Resultados obtenidos de la simulación estática para molde de productos externos.	79
Tabla 22. Condiciones de borde para análisis dinámico de moldes productos internos y externos.	79
Tabla 23. Resultados obtenidos de la simulación dinámica para molde de productos internos y externos.	83

Tabla 24. Resultados obtenidos de la simulación de flujo de los productos internos y externos.	86
Tabla 25. Costo de fabricación molde de inyección.	87
Tabla 26. Costos de producción de tomacorriente	88
Tabla 27. Costos directos	88
Tabla 28. Costos indirectos.	89
Tabla 29. Costo proyecto.....	89

Índice de Figuras

Figura 1. Población del cantón Quito según censo de población INEC.	4
Figura 2. Formulario Autoadministrado.	5
Figura 3. Información general estadística de la encuesta de producto NEMA 5-15R mediante software LimeSurvey.	6
Figura 4. Encuesta a través del <i>software</i> Lime Survey pregunta 1, 2, 3.	7
Figura 5. Encuesta a través del <i>software</i> Lime Survey pregunta 4, 5, 6.	8
Figura 6. Encuesta a través del <i>software</i> Lime Survey pregunta 7, 8, 9.	9
Figura 7. Aceptación del producto.	10
Figura 8. Diseño tapa tomacorriente "N1".	10
Figura 9. Diseño tapa tomacorriente "W1".	11
Figura 10. Diseño tapa tomacorriente "Z1".	11
Figura 11. Diseños preferidos por el público.	11
Figura 12. Características principales, preferencias para el producto tomacorriente NEMA 5-15R.	12
Figura 13. Tipos de enchufe.	14
Figura 14. Tomacorriente NEMA 5-15R.	14
Figura 15. Tomacorriente NEMA 5-15R – vista isométrica.	18
Figura 16. Tomacorriente NEMA 5-15R – vista frontal.	18
Figura 17. Tomacorriente NEMA 5-15R – vista posterior.	18
Figura 18. Tomacorriente NEMA 5-15R – vista lateral.	19
Figura 19. Tomacorriente NEMA 5-15R – producto tapa.	19
Figura 20. Tomacorriente NEMA 5-15R – producto enchufes.	19
Figura 21. Tomacorriente NEMA 5-15R – producto soporte.	20
Figura 22. Tomacorriente NEMA 5-15R – producto base cuerpo.	20
Figura 23. Tomacorriente NEMA 5-15R – Producto Separador.	20
Figura 24. Plásticos en la industria.	21
Figura 25. Resina epoxi motores.	22
Figura 26. <i>Pellets</i> termoplásticos.	23
Figura 27. Estructura termoplástico amorfo.	23
Figura 28. Estructura termoplástico cristalino.	23
Figura 29. Tubos de precipitación en PP.	26

Figura 30. Monómeros ABS.	27
Figura 31. Piezas de juguetes en ABS.	28
Figura 32. Síntesis PC.	29
Figura 33. Casco, visor y lentes fabricados en PC.	30
Figura 34. Procesamiento de plástico.	31
Figura 35. Etapas de la inyección plástica.	32
Figura 36. Unidades o apartados de la inyección plástica.	33
Figura 37. Ciclo inyección.	34
Figura 38. Presión y enfriamiento.	34
Figura 39. Presión y enfriamiento.	35
Figura 40. Molde estándar.	35
Figura 41. Molde de mordazas.	36
Figura 42. Molde de extracción por segmentos	36
Figura 43. Molde de tres placas.	37
Figura 44. Molde de canal caliente.	37
Figura 45. Acero M201 bonificado para empleo en el estado de suministro.	40
Figura 46. Acero M 238 bonificado para empleo en el estado de suministro.	41
Figura 47. Acero M 303 resistente a la corrosión.	42
Figura 48. Columna y casquillo normalizado.	43
Figura 49. Efecto de las variables sobre la contracción.	44
Figura 50. Canales de colada en el molde.	45
Figura 51. Sistema de colada caliente y sus principales componentes.	46
Figura 52. Pieza inyectada por sistema de colada fría.	47
Figura 53. Expulsión mediante aguja o varilla expulsora.	48
Figura 54. Equipo de secado.	49
Figura 55. Mecanismo de descompresión del tornillo.	50
Figura 56. Boquilla cónica.	50
Figura 57. Boquilla de flujo libre.	51
Figura 58. Boquilla de conicidad invertida.	51
Figura 59. Boquilla con válvula de aguja.	51
Figura 60. Boquilla con válvula cónica y muelle.	52
Figura 61. Boquilla accionada externamente.	52

Figura 62. Tornillo máquina inyectora.....	52
Figura 63. Esquema de zonas de un tornillo con desgasificación.....	53
Figura 64. Diseño de un tornillo con zona de mezclado prolongada	54
Figura 65. Válvula antirretorno de anillo.	55
Figura 66. Válvula antirretorno de bola.	56
Figura 67. Proceso de introducción de parámetros de análisis estático según tabla 16 y 17 mediante <i>software</i> Autodesk Inventor Professional 2021.....	71
Figura 68. Análisis por tensión de Von Mises – Placa principal lado inyección.....	71
Figura 69. Análisis de desplazamiento – Placa principal lado inyección.	72
Figura 70. Análisis de coeficiente de seguridad – Placa principal lado inyección.	72
Figura 71. Análisis de tensión de Von Mises – Placa principal lado botación.	73
Figura 72. Análisis de desplazamiento – Placa principal lado botación.	73
Figura 73. Análisis del coeficiente de seguridad – Placa principal lado botación.....	74
Figura 74. Proceso de introducción de parámetros de análisis estático según tabla 18 y 19 mediante <i>software</i> Autodesk Inventor Professional 2021.....	75
Figura 75. Análisis de tensión de Von Mises – Placa principal lado inyección.	75
Figura 76. Análisis de desplazamiento – Placa principal lado inyección.	76
Figura 77. Análisis del coeficiente de seguridad – Placa principal lado inyección.	76
Figura 78. Análisis de tensión de Von Mises – Placa principal lado botación.	77
Figura 79. Análisis de desplazamiento – Placa principal lado botación.	77
Figura 80. Análisis del coeficiente de seguridad – Placa principal lado botación.....	78
Figura 81. Proceso de introducción de parámetros de análisis dinámico y de flujo según tabla 22 mediante <i>software</i> Autodesk MoldFlow Adviser 2021.....	80
Figura 82. Proceso de introducción de parámetros de análisis dinámico y de flujo según tabla 22 mediante <i>software</i> Autodesk MoldFlow Adviser 2021.....	80
Figura 83. Análisis de tiempo de llenado de productos internos.	81
Figura 84. Análisis de flujo de plástico de productos internos.	81
Figura 85. Análisis de tiempo de llenado de productos externos.....	82
Figura 86. Análisis de flujo de plástico de productos externos.....	82
Figura 87. Análisis de confianza de llenado de productos internos.	83
Figura 88. Análisis de predicción de calidad de productos internos.....	84
Figura 89. Análisis de líneas de soldadura de productos internos.	84

Figura 90. Análisis de confianza de llenado de productos externos.	85
Figura 91. Análisis de predicción de calidad de productos externos.	85
Figura 92. Análisis de líneas de soldadura de productos externos.	86

RESUMEN

Hoy en día, la ingeniería se ve diversificada en infinitas áreas de la industria como: diseño, materiales, manufactura, etc. Es así, que los tomacorrientes NEMA 5-15R son uno de aquellos productos que se realizan partiendo de la ingeniería, actualmente, en nuestro país han elevado su demanda, ya que la industria inmobiliaria a nivel nacional se ha incrementado en un 10 % frente al año anterior, también se debe al aumento del 25 % de préstamos hipotecarios del Banco del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (BIESS) anunciado para el año pasado, y con gran frecuencia las renovaciones de las viviendas han adquirido mayor acogida por muchas familias ecuatorianas dada por la problemática actual del COVID-19. Razón por la que se determina una oportunidad de negocio, es así que se diseña un nuevo producto de tomacorriente NEMA 5-15R diferente en apariencia y calidad, brindando a este producto un plus adicional diferente a los demás, existen diferentes tipos de procesamiento de plástico, siendo la inyección, la que adopta perfectas condiciones para la elaboración de este producto en tiempos cortos. Existen varios polímeros que pueden procesarse por inyección de plástico, es así, que se estudia las propiedades de cada uno de ellos para seleccionar un polímero, donde una característica principal de los tomacorrientes es la resistencia a la flama basados en la norma IEC.

En el diseño y la simulación tanto del producto como el molde se logró establecer que se necesitan 2 matrices para obtener todas las piezas plásticas que conforma un tomacorriente NEMA 5-15R, dado que la capacidad de la máquina inyectora, juega un papel muy importante a la hora del dimensionamiento del molde, tanto por el tamaño físico como por la presión de inyección, volviéndose esta una limitante. Por lo que obtuvo a manera general un resultado total del ciclo de inyección que bordea los 21 [s], para cada molde.

Finalizado el estudio, se concluyó, que se debe contar con una inversión de al menos \$ 20 450 USD para fabricar los 2 moldes y producir al menos un volumen inicial de 10 000 tomacorrientes que corresponden únicamente a las piezas plásticas.

Palabras clave: diseño de producto, moldes, procesamiento de plástico, inyección de plástico, NEMA 5-15R, polímeros.

ABSTRACT

Nowadays, engineering is diversified in infinite areas of the industry such as: design, materials, manufacturing, others. Thus, the NEMA 5-15R outlets are one of those products that are made based on engineering, actually, in our country they have increased their demand, because the real estate industry at the national level has increased by 10 % compared to previous year, also is due to the 25 % increase in mortgage loans from the Bank of the Ecuadorian Social Security Institute (BIESS) announced for last year, and with high frequency the renovations of the houses have acquired greater acceptance by many Ecuadorian families given the current problem of COVID-19. The reason why a business opportunity is determined, so a new NEMA 5-15R outlet product is designed, different in appearance and quality, giving this product an additional plus different from the others, there are different types of plastic processing, being the injection, the one that adopts perfect conditions for the elaboration of this product in short times. There are several polymers that can be processed by plastic injection, so, the properties of each of them were studied to selecting a polymer, a main characteristic of the outlets is to have flame resistance based on the standard IEC.

In the design and simulation of the product and the mold, it was possible to establish that 2 matrixes are needed to obtain all the plastic parts that make up a NEMA 5-15R outlet, the capacity of the injection machine plays a very important role. at the time of sizing the mold, such as the physical size and the injection pressure, this becoming a limitation. For this reason, a total result of the injection cycle was obtained in a general way that borders on 21 [s], each of the molds.

Once the study was completed, it was concluded that an investment of at least \$ 20 450 USD must be made to manufacture the 2 molds and produce at least an initial volume of 10 000 outlets that correspond only to the plastic parts.

Keywords: Product Design, Molds, Plastic Processing, Plastic Injection, NEMA 5-15R, Polymers.

INTRODUCCIÓN

IMPI [1] manifiesta que, en el siglo XIX los plásticos sintéticos surgieron por primera vez en la humanidad, al ser sintetizados a partir de un gas, específicamente del etileno, con el desarrollo de la investigación los plásticos han ido tomando un lugar importante en la industria, la cual hallaba formas de transformar a estos en piezas útiles o indispensables para ciertas innovaciones, hasta llegar hoy en día a que los productos plásticos sean fundamentales en la vida cotidiana.

Varias son las técnicas de procesamiento del plástico en la producción, como lo es la extrusión, inyección, soplado, etc. Centrándose principalmente en la inyección plástica, Reynoso Sara [2], define la inyección plástica como el proceso en el que interviene una cámara cerrada denominada molde, que alberga en el la forma deseada de la pieza o piezas, donde se inyecta el plástico fundido a una elevada presión. El polímero o plástico es previamente fundido y plastificado por medio de calor en la máquina inyectora la cual es parte fundamental de este proceso.

Con la idea de diseñar un nuevo producto de tomacorrientes tipo NEMA 5-15R a través de una apariencia original y llamativa, el nuevo diseño que adopta el tomacorriente se caracteriza en su aspecto visual, la cual lo hace atractivo para el público en general.

En el presente trabajo se segmenta en seis secciones, en los cuales se plasma información relevante necesaria para el desarrollo del trabajo, para el capítulo I se compila un estudio de mercado, analizando las preferencias de los consumidores encaminando una propuesta de diseño.

Respecto al capítulo II, se detalla la normativa que debe regir este tipo de producto, la materia prima a utilizar (polímero plástico), el diseño CAD del producto y sus componentes externos e internos.

En el capítulo III, se detalla el proceso de moldeo por inyección plástica desde sus tipos de moldes, tipos de colada, métodos de expulsión y accesorios usados en el proceso.

Capítulo IV, se plasman aspectos importantes que deben tomarse en consideración para el diseño y simulación de partes plásticas, garantizando el funcionamiento correcto del mismo.

Capítulo V, refleja un análisis económico en el cual se analiza costos estimados de fabricación del molde y posible producción del producto, a la hora de ejecutar la inversión.

Finalmente, en el capítulo VI, se expresan las conclusiones obtenidas a lo largo del trabajo y sus recomendaciones en el diseño de moldes.

CAPÍTULO I

ESTUDIO DE MERCADO

El presente capítulo desarrolla un estudio de mercadeo para lograr recolectar información que permite verificar y asegurar que el producto cuente con una demanda por parte de la población objetivo y esta posea una acogida significativa en el mercado.

Mediante este estudio, se logra obtener gustos y/o preferencias que facilitan responder expectativas de los usuarios, introduciéndose en el diseño del producto tomacorriente NEMA 5-15R antes de su fabricación y producción en masa (gran volumen).

1.1. Población Objetivo

Los tomacorrientes NEMA 5-15R son productos que se los encuentra en domicilios, empresas, instituciones educativas, centros comerciales, aeropuertos y cualquier otro tipo de edificaciones, debido que su uso brinda la seguridad de alimentar a todo equipo eléctrico o electrónico que funcione en un rango de corriente alterna (AC) de 110 – 125 voltios (V), para ello se procura ofrecer un aspecto diferente a lo tradicional, duradero y a un precio de acuerdo a las necesidades del cliente y a su economía (P.V.P).

Con esto se pretende llegar al posible cliente como son las constructoras, dueños de viviendas o personas particulares del Cantón Quito que cuentan con un arrendamiento o casa propia que deseen brindar una apariencia más elegante a sus instalaciones, obteniendo así, que la población objetivo aplica a un público en general.

1.2. Muestra

Dentro de este punto se determina la muestra, la cual se define como un subconjunto de habitantes. El tamaño de la muestra se logra obtener a partir de la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N \cdot Z_{\infty}^2 \cdot p \cdot q}{d^2 \cdot (N - 1) + Z_{\infty}^2 \cdot p \cdot q} \quad (1)$$

Donde:

n : Tamaño de la muestra.

N : Tamaño de los habitantes.

Z_{∞} : Parámetro estadístico.

p : Probabilidad efectiva del evento.

q : Probabilidad nula del evento.

d : Margen de error esperado.

Comenzando por la decisión de un nivel de confianza del 95 % el cual es un valor recomendado y un margen de error esperado del 3 % (0.03), se procede a encontrar el valor del parámetro estadístico (Z_{∞}) en la tabla 1.

Tabla 1. Valor estadístico (Z_{∞}) [3].

Confianza (%)	Z_{∞}
90	2.58
95	1.96
99	1.645

Estableciendo que la probabilidad que el evento ocurra es de un 95 % (0.95), la diferencia que el evento no ocurra es de un 5 % (0.05) y el valor de Z_{∞} 1.96 según la tabla 1. Y estableciendo un tamaño de población de 500 mil personas el cual corresponde al 22.33 % de la población total del cantón Quito, obtenidos en el último censo de población que se logra observar en la figura 1.

Resultados Censo de Población



Figura 1. Población del cantón Quito según censo de población INEC [4].

Es posible determinar el tamaño de la muestra cómo se define en la ecuación (1).

$$n = \frac{N \cdot Z_{\infty}^2 \cdot p \cdot q}{d^2 \cdot (N - 1) + Z_{\infty}^2 \cdot p \cdot q}$$

$$n = \frac{500000 \cdot 1.96^2 \cdot 0.95 \cdot 0.05}{0.03^2 \cdot (500000 - 1) + 1.96^2 \cdot 0.095 \cdot 0.05}$$

$$n = 202$$

El valor del tamaño de muestra redondeado es de 200 personas, las cuales son seleccionadas para realizar el estudio de mercado con el fin de obtener resultados reales y globales, sin importar clase social o género. A partir de este número de sujetos es posible conseguir resultados viables que garanticen una futura inversión.

1.3. Metodología de Estudio

La metodología de estudio que se implementa es un modelo de investigación, el cual se denomina “Aceptación de Producto Mediante Difusión Masiva de Cuestionario Autoadministrado”[5], que consta de enviar la encuesta a través de aplicativos de mensajería instantánea como WhatsApp, utilizando herramientas de difusión de grupos para expandirse al mayor número de personas, las cuales comparten información relevante desde la comodidad de su hogar, como se aprecia en la figura 2, sin sentir presión por parte de un encuestador el cual puede generar algún estímulo negativo que impida visualizar resultados 100 % fiables.

De esta manera se planea conseguir información útil y necesaria, que reflejan lo que los consumidores buscan al adquirir este tipo de productos.

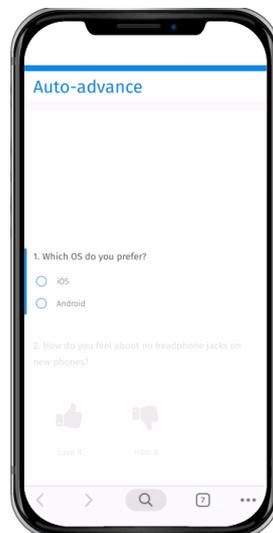


Figura 2. Formulario Autoadministrado [5].

Este tipo de metodología es muy accesible debido a que la encuesta es *online* o también conocida como una accesibilidad en línea, logrando un gran alcance de posibles clientes, como también adquirir datos reales en poco tiempo. A partir, de la plataforma LimeSurvey que es un software libre en el que consta de diferentes herramientas que son capaces de adaptarse a las necesidades del encuestador, logrando generar estadísticas instantáneas, como se observa en la figura 3, almacenando los datos en una base con todas sus respuestas capaces de verificar si el producto tiene una buena acogida.

Titulo	Grupo	Creado	Dueño	Respuestas			
				anónimas	Parcial	Completo	Total
Nema 5-15R	Default	05.06.2021	admin	No	36	164	200

Figura 3. Información general estadística de la encuesta de producto NEMA 5-15R mediante software LimeSurvey.

Se precisa el formato del formulario, en las figuras 4, 5 y 6, en ellas se detallan 3 diseños que han sido presentados a los encuestados considerando diferentes tipos de preguntas como: preguntas de filtro para lograr llegar solo a las personas que consumen el producto ofertado, además, de escalas de jerarquización, escalas ordinales para conocer el grado de aceptación, escalas comparativas y también preguntas abiertas para determinar cual es el valor máximo que el consumidor esté dispuesto a cancelar.

Nema 5-15R

Esta encuesta nos permitirá saber lo que opina sobre nuestro nuevo producto.

Muchas gracias por su opinion, nos ayudara a mejorar.

Hay 9 preguntas en la encuesta.

Producto

Adquiere productos como tomacorrientes, interruptores para tu hogar *

Por favor seleccione **sólo una** de las siguientes opciones:

- Sí
 No

Es importante para usted la apariencia de los tomacorrientes y interruptores cuando lo adquiere. *

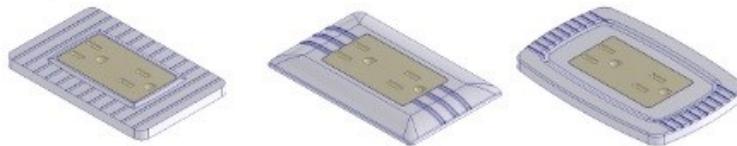
Sólo conteste esta pregunta si se cumplen las siguientes condiciones:

La respuesta fue 'Sí' en la pregunta '1 [A1]' (Adquiere productos como tomacorrientes, interruptores para tu hogar)

Por favor seleccione **sólo una** de las siguientes opciones:

- Sí
 No

Te presento estos tomacorrientes con diseños diferentes. Si este producto se encontrara en el mercado, ¿los comprarías?



*

Sólo conteste esta pregunta si se cumplen las siguientes condiciones:

La respuesta fue 'Sí' en la pregunta '2 [A2]' (Es importante para usted la apariencia de los tomacorrientes y interruptores cuando lo adquiere.)

Por favor seleccione **sólo una** de las siguientes opciones:

- Sí
 No

Figura 4. Encuesta a través del *software* Lime Survey pregunta 1, 2, 3.

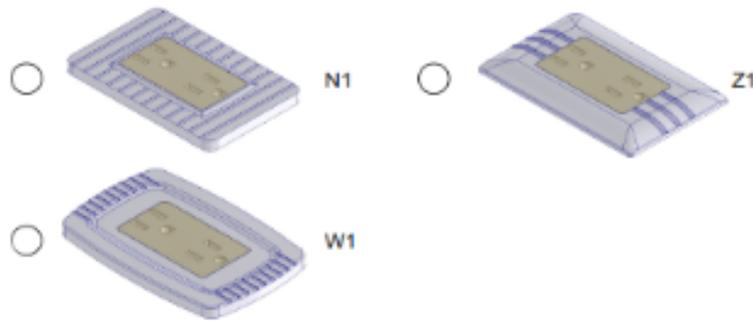
Cuál de estos diseños te gusta más *

Sólo conteste esta pregunta si se cumplen las siguientes condiciones:

La respuesta fue 'SI' en la pregunta '3 [A3]' (Te presento estos tomacorrientes con diseños diferentes. Si este producto se encontrara en el mercado, ¿los comprarías?)

● Seleccione una de las siguientes opciones

Por favor seleccione **sólo una** de las siguientes opciones:



¿Cuáles serían las características que te hicieran adquirir este producto antes que otros?

Sólo conteste esta pregunta si se cumplen las siguientes condiciones:

La respuesta fue 'N1' o 'Z1' o 'W1' en la pregunta '4 [A4]' (Cuál de estos diseños te gusta más)



● Marque las opciones que correspondan

Por favor, marque las opciones que correspondan:

- Precio
- Calidad
- Fácil instalación
- Diseño
- Producto nacional

¿Conoces algún otro tomacorriente que ofrezca diseños?

*

Sólo conteste esta pregunta si se cumplen las siguientes condiciones:

La respuesta fue 'Producto nacional' o 'Diseño' o 'Fácil instalación' o 'Calidad' o 'Precio' en la pregunta '5 [A5]' (¿Cuáles serían las características que te hicieran adquirir este producto antes que otros?)

Por favor seleccione **sólo una** de las siguientes opciones:

- Sí
- No

Figura 5. Encuesta a través del *software* Lime Survey pregunta 4, 5, 6.

¿Qué mejorarías en el *diseño* de nuestro producto?

Sólo conteste esta pregunta si se cumplen las siguientes condiciones:
La respuesta fue 'Sí' o 'No' en la pregunta '6 [A6]' (¿Conoces algún otro tomacorriente que ofrezca diseños?)

Por favor, escriba su respuesta aquí:

Que precio estarías dispuesto a pagar por uno de nuestros tomacorrientes *

Sólo conteste esta pregunta si se cumplen las siguientes condiciones:
La respuesta fue 'Sí' o 'No' en la pregunta '6 [A6]' (¿Conoces algún otro tomacorriente que ofrezca diseños?)

❗ Sólo se pueden introducir números en este campo.
❗ Su repuesta debe estar entre 0 y 10

Por favor, escriba su respuesta aquí:

¿Recomendarías el producto a tus amigos?

*

Sólo conteste esta pregunta si se cumplen las siguientes condiciones:
La respuesta fue mayor que '0' en la pregunta '8 [A8]' (Que precio estarías dispuesto a pagar por uno de nuestros tomacorrientes)

Por favor seleccione **sólo una** de las siguientes opciones:

Sí

No

Enviar su encuesta.
Gracias por completar esta encuesta.

Figura 6. Encuesta a través del *software* Lime Survey pregunta 7, 8, 9.

Con dicha encuesta se ha logrado recolectar la información necesaria del producto, con posibles sugerencias de características a implementar a plena satisfacción del posible cliente.

1.4. Análisis de Datos

Una vez recolectada toda la información obtenida mediante la encuesta se conoce un precio referencial, además de un diseño llamativo diferente a productos tradicionales y sugerencias que se considera en el producto de mayor aceptación.

Por lo tanto, al conseguir un total de 158 formularios completos que equivalen a un 79 % de los formularios que aprobaron los filtros y permiten conocer los resultados reales en el caso de estudio de mercado. Como se observar a continuación en la figura 7.

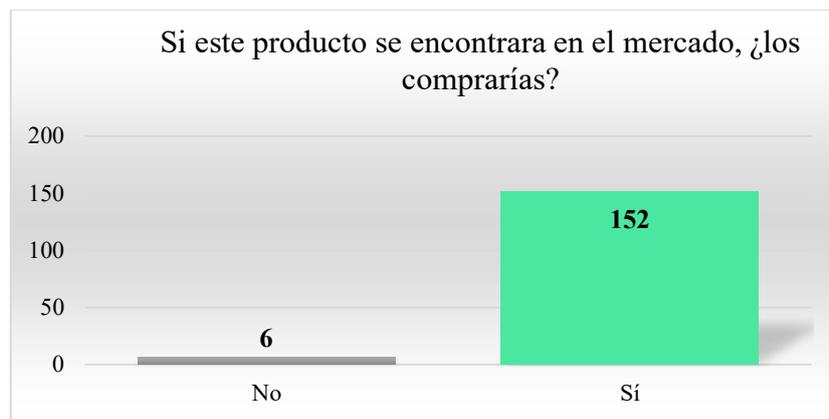


Figura 7. Aceptación del producto.

Con estos resultados se garantiza un gran porcentaje de confiabilidad a la hora del emprendimiento del presente producto.

Los diseños de tomacorrientes propuestos son los siguientes:

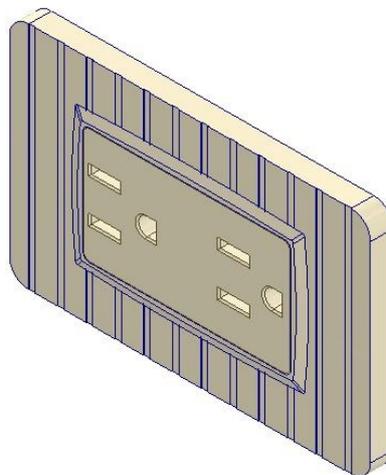


Figura 8. Diseño tapa tomacorriente "N1".

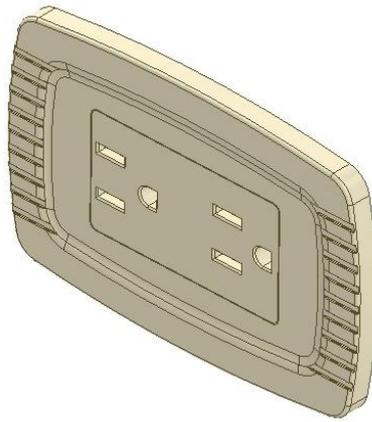


Figura 9. Diseño tapa tomacorriente "W1".

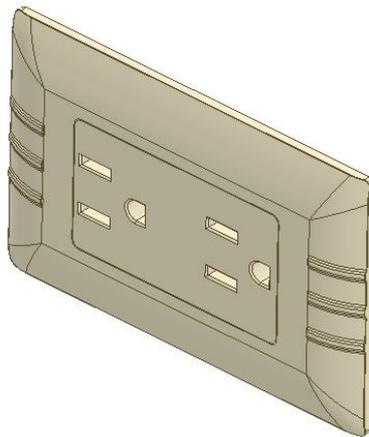


Figura 10. Diseño tapa tomacorriente "Z1".

Las figuras 8, 9 y 10 muestran los 3 diseños que se ha ofrecido al público: El diseño “Z1” es el que ha captado la mayor atención de los consumidores siendo este el de mayor acogida por la audiencia como se aprecia en la figura 11.

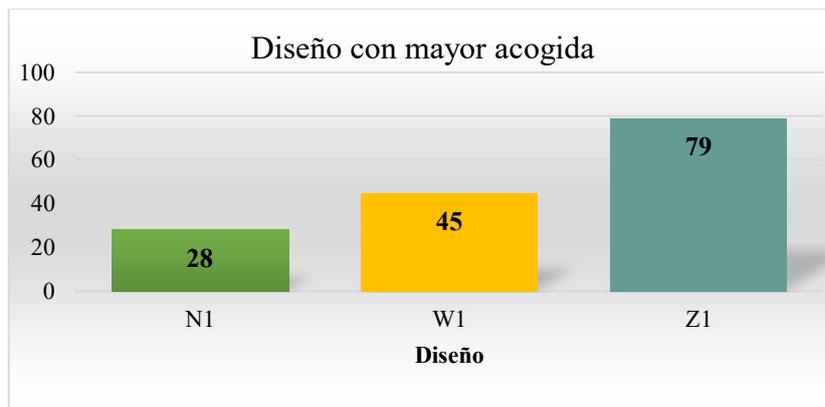


Figura 11. Diseños preferidos por el público.

Las encuestas que se realizan mediante el *software* descrito anteriormente generan información relevante como las preferencias o aspectos, figura 12, que los consumidores buscan en un producto como el precio, el diseño, la calidad, procedencia del producto, y la versatilidad a la hora de instalar el producto.

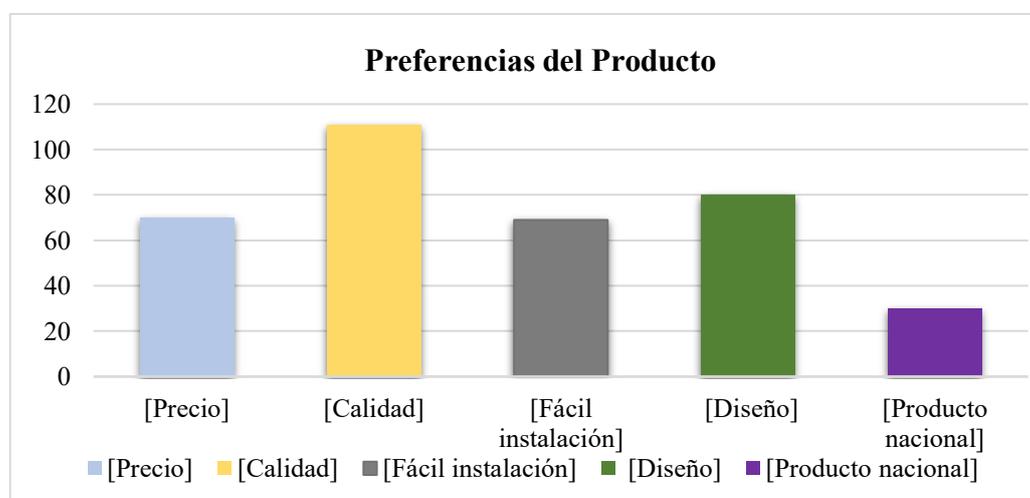


Figura 12. Características principales, preferencias para el producto tomacorriente NEMA 5-15R.

A partir de la fracción económica que goza este tipo de productos, se ha logrado determinar un valor promedio aproximado de \$ 4.11 USD, siendo este el valor máximo que los usuarios pagarían por el producto.

En la tabla 2, se puede observar una idea de los precios de distintos tomacorrientes, los cuales serían la competencia directa de un nuevo producto en el mercado.

Tabla 2. Precios referencial tomacorrientes - Anexo A.

Marca	Precio
Veto	\$ 2.12
Bticino	\$ 2.17
Blitz	\$ 1.37

1.5. Resultados de estudio de mercado

- El diseño propuesto como “Z1” es el que mayor acogida a obtenido en todo el estudio debido a su innovador modelo de tomacorriente la cual atrae la atención del consumidor.

- Se logra conocer que los aspectos principales que los consumidores generan en un producto son: la calidad, el diseño y el precio. Aspectos muy relevantes a la hora de su compra.
- El 76 % de las personas compran con baja frecuencia los tomacorrientes NEMA 5-15R ya sea para su hogar u oficina.
- La media aritmética de los valores que están dispuestos a cancelarse corresponde a un valor aproximado de \$ 4.11 USD, que, para esta oportunidad, al encontrarse en su mejor momento se prevé ofrecer un mejor P.V.P con el cual se va a comercializar el tomacorriente en el mercado.

CAPÍTULO II

DISEÑO DE PRODUCTO

2.1. Normas de Tomacorriente.

Tras muchos años en Ecuador se ha implementado el uso de distintos enchufes (planos y redondos) en equipos electrodomésticos. Por lo cual se ha tratado de normalizar los tomacorrientes con el fin de lograr utilizar distintos tipos de enchufes en un mismo tomacorriente, como lo es el caso de los enchufes Tipo A y Tipo B que se logra observar en la figura 13 estas letras se han sido designadas por el ITA (Administración de Comercio Internacional). NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) para normalizar un tomacorriente el cual admita estos dos tipos de enchufes los cuales son los más utilizados en Ecuador, América del norte, Japón y varios países latinoamericanos; Designa el tomacorriente NEMA 5-15R que se visualiza en la figura 14 el cual debe cumplir normas IEC 60884-1.



Figura 13. Tipos de enchufe [6].

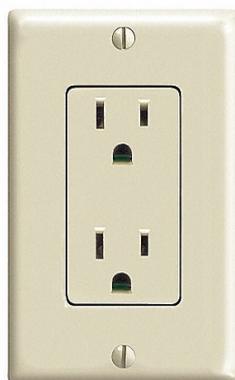


Figura 14. Tomacorriente NEMA 5-15R [6].

2.1.1. IEC 60884-1

La IEC “*International Electrotechnical Commission*” por sus siglas traducidas a nuestro idioma como la Comisión Electrotécnica Internacional que hace referencia a la organización mundial de normalización fundada en el año de 1906, con el objetivo de promover la normalización en los campos eléctrico y electrónico. Cabe mencionar que la IEC trabaja directamente la Organización Internacional de Normalización (Norma ISO) [7].

La norma IEC 60884-1 aplica para enchufes y tomas de corriente para fines domésticos y similares de corriente alterna con tensión que supere los 50 [V] (voltios) y de igual forma se encuentre menor a 440 [V], con una tensión que no supere los 32 [A] (amperios) [7].

Establece que las tomas de corriente se deben diseñar y construir teniendo los diferentes criterios para cumplir la normativa mencionada:

- Protección contra descargas eléctricas.

“Outlets shall be so designed and constructed that when they are assembled and positioned with electrical cables, live parts are not accessible, even after removal of parts which can be removed without the use of a tool”[7].

Los tomacorrientes deberán diseñarse y construirse de modo que cuando estén ensamblados y colocados con los cables eléctricos, las partes activas no sean accesibles, incluido luego de quitar las piezas que se pueden desmontar sin la utilización de herramientas.

- Diseño

“Outlets shall be so constructed to help:

– Convenient location and connection of the conductors at the end points;

– Comfortable adhesion of the wall to the foundation or in an assembly basket;

– Correct positioning of the conductive elements;

– Adequate space between the base and the lower part, where the upper part assembled on the foundation or between the walls and the enclosure (cover) so that, after installation of the base, the incompatibility of the guides is not necessarily pressed against live parts of different polarity” [7].

Los tomacorrientes estarán contruidos de modo que ayuden a:

- Cómoda ubicación y unión de los conductores en los puntos finales;
- Cómoda adherencia de la pared al cimient o en una cesta de ensamble;
- Correcto posicionamiento de los elementos conductores;
- Espacio adecuado entre la base y la parte baja, donde la parte superior se ensambla el cimient o entre las paredes del asiento y el envolvente (tapa) para que, después de la instalación de la base, la incompatibilidad de las guías no sea necesariamente presionado contra partes vivas de diferente polaridad.

“In surface outlets the inlet opening for conduit entries, or at least two of them if there are more than one, shall be capable of accepting conduit sizes of 16, 20, 25 or 32” [7].

En tomas de corriente de superficie, la abertura de entrada para entradas de conductos, o al menos dos de ellas si hay más de una, debe poder aceptar tamaños de conducto de 16, 20, 25 o 32 [7].

- Material

“Resistance to abnormal heat and to fire” [7].

“Dielectric parts may be exposed to thermal stresses incumbent on electrical consequences, whose wear may endanger the well-being of the element, but will not be affected by the heat that arises or by the burning” [7].

Partes dieléctricas pueden estar exhibidas en tensiones térmicas incumbidas a consecuencias eléctricas, y cuyo desgaste ocasione poner en peligro el bienestar del elemento, pero no será afectado por el calor que surja ni por el ardor [7].

Resistencia al calor anormal y al fuego, para ello se somete a pruebas como la siguiente:

Las probetas se guardan durante 1 hora en un armario calefactor a la temperatura de (100 ± 2) [° C].

En el proceso de prueba, deberá no ejercer ninguna alteración que lesione su posterior utilización y sellado del combinado, si hubiera, ejercerá una no circulación incluso a tal punto que las partes ocultas se visualicen [7].

“The specimens are subjected to a compression test, with the presence of temperature of the pressure plate, base and samples $(23 \pm 2) ^\circ C$, likewise the applied thrust is 300 N. The samples must be removed from the test apparatus and after 15 [°C]. At a minimum, they must not show damage in the sense of this standard [7].

Las probetas se someten a un ensayo de compresión, existiendo presencia de temperatura de la placa de presión, base y muestras $(23 \pm 2) ^\circ C$, así mismo el empuje aplicado es de 300 N. Las muestras deben ser retiradas del aparato de ensayo y después de 15 [°C]. Mínimo, no deben mostrar daños en el sentido de esta norma [7].

2.1.2. NEMA 5-15R

La asociación industrial estadounidense NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) creada en el año de 1926 posee un estándar el cual es el NEMA 5 que consiste de ciertas conexiones de tres cables (tierra-neutro-fase) para un voltaje nominal de hasta 125 V, con distintas variantes 5-15, 5-20 y 5-30 con el cual es definido mediante el amperaje que estos manejan siendo 15A, 20A y 30A respectivamente.

Internacionalmente esta norma NEMA 5 tiene dos variantes la R y P letras que se asignan al final de la configuración para conocer si se trata de tomacorriente (letra R) y enchufe (letra P); Con esta norma NEMA 5-15R ofrece un tomacorriente que acepta enchufes tipo A y tipo B siendo esta la base para la norma IEC 60884-1.

2.2. Diseño de tomacorriente NEMA 5-15R.

Dentro del presente punto se detalla el diseño de producto tomacorriente NEMA 5-15R, mismos que son representadas a continuación mediante:

- **Tomacorriente NEMA 5-15R (Ensamblado).**

En las figuras 15, 16, 17 y 18 se logra visualizar el tomacorriente “Z1” ensamblado desde diferentes vistas:

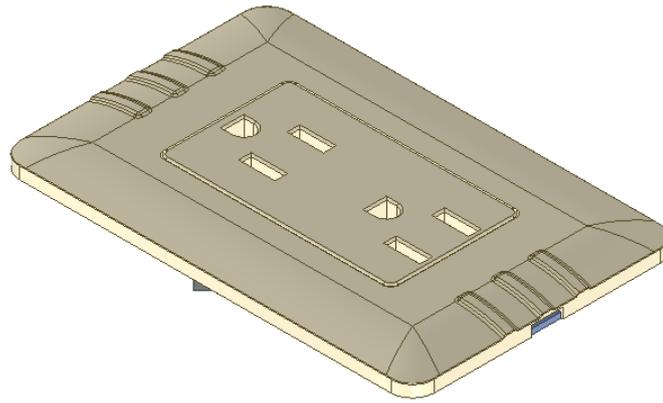


Figura 15. Tomacorriente NEMA 5-15R – vista isométrica.

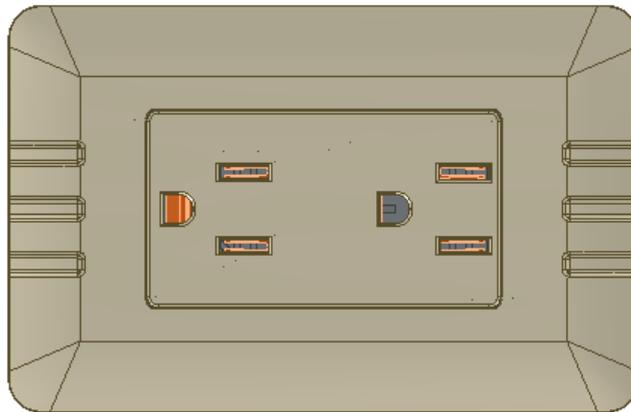


Figura 16. Tomacorriente NEMA 5-15R – vista frontal.

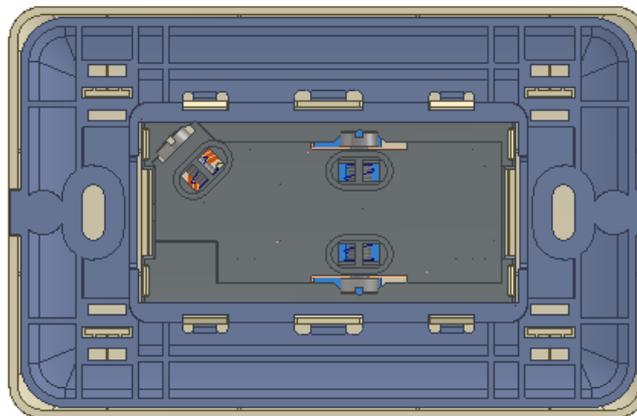


Figura 17. Tomacorriente NEMA 5-15R – vista posterior.

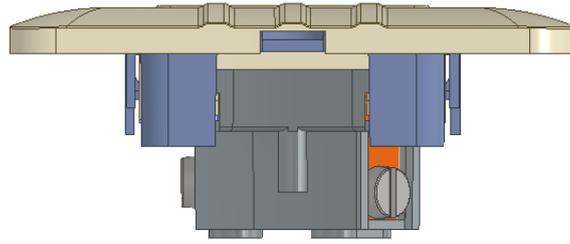


Figura 18. Tomacorriente NEMA 5-15R – vista lateral.

- **Tomacorriente NEMA 5-15R (piezas individuales).**

Las figuras 19 y 20 detallan con precisión las piezas externas, mientras que las figuras 21, 22 y 23 indican las piezas internas que conforman el tomacorriente “Z1”

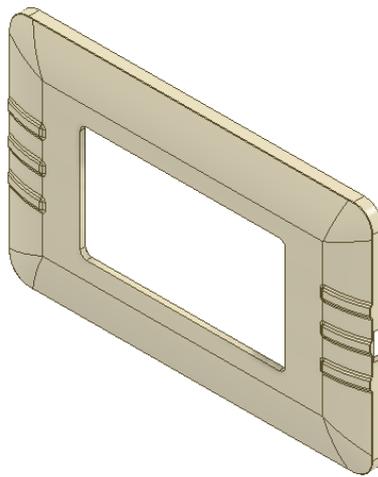


Figura 19. Tomacorriente NEMA 5-15R – producto tapa.

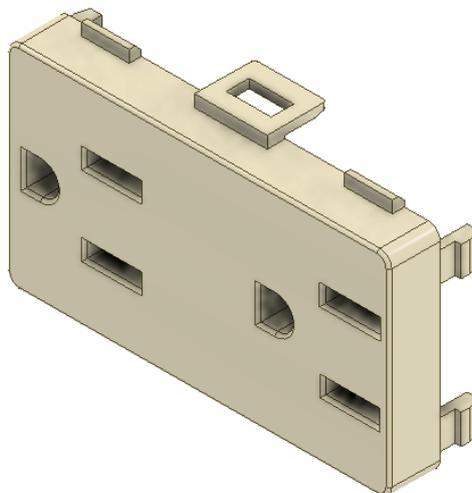


Figura 20. Tomacorriente NEMA 5-15R – producto enchufes.

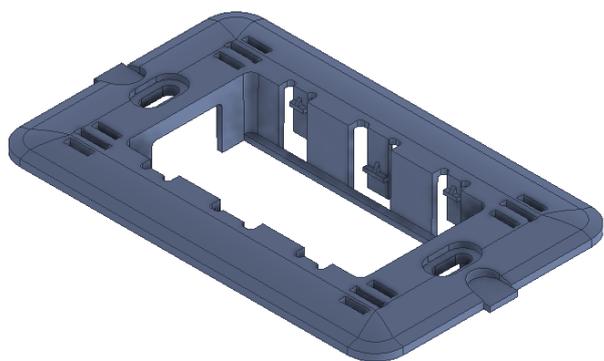


Figura 21. Tomacorriente NEMA 5-15R – producto soporte.

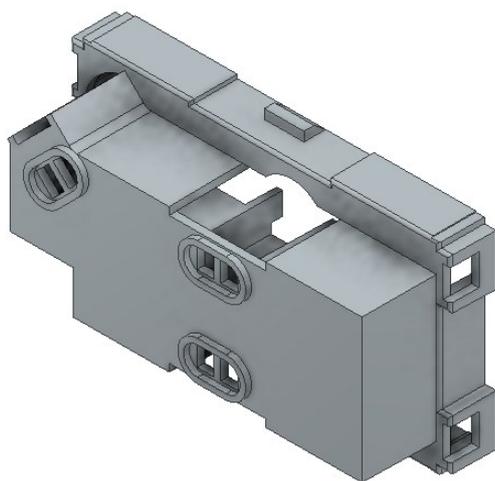


Figura 22. Tomacorriente NEMA 5-15R – producto base cuerpo.

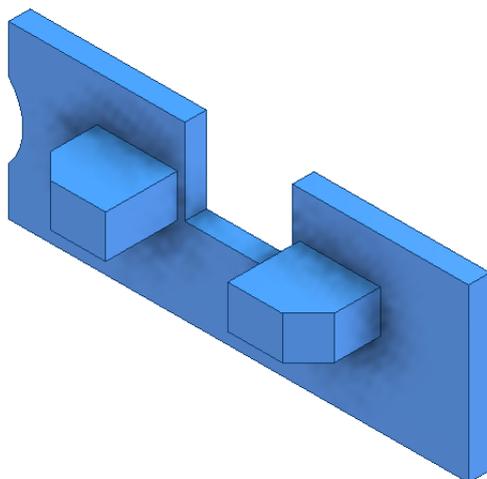


Figura 23. Tomacorriente NEMA 5-15R – Producto Separador.

2.3. Polímeros Plásticos

En la actualidad existe variedad de plásticos por lo cual la industria plástica, se ha expandido ofreciendo diversos colores, tonalidades, texturas y hasta polímeros transparentes o fluorescentes, debido a que la mayoría de mercados desde los más simples de uso doméstico, figura 24, hasta productos tecnológicos que se ofrecen en el mercado son plásticos o poseen algún componente plástico, por lo cual es necesario conocer a profundidad el concepto de plástico y los tipos de polímeros más utilizados en la industria, así poder identificar y seleccionar el polímero adecuado para nuestra aplicación en la elaboración de tomacorrientes [8].



Figura 24. Plásticos en la industria [8].

En varios libros, los plásticos se definen como sustancias de origen orgánico, las cuales se encuentran conformadas por uniones macromoleculares que poseen en su arreglo generalmente carbono e hidrógeno. Estos comúnmente se caracterizan por lograr ser moldeados con distintos procesos, pero generalmente con la aplicación de calor y presión, logrando obtener una forma específica. Partiendo de aquello se hace referencia al nombre de plástico, el cual se proviene del griego “*plastikos*” que se entiende por “capaz de ser moldeado” [1], [2].

Los polímeros se obtienen a partir de un proceso denominado “polimerización” el cual consta de la modificación de reactivos naturales o sintéticos. Siendo una reacción química en la cual, las moléculas pequeñas (monómeros) se agrupan por dicha reacción y así se logra obtener moléculas mucho más grandes (macromoléculas). Por este hecho los plásticos se encuentran inmersos en la familia de los polímeros [1].

Existen diversos polímeros dependiendo su aplicación siendo los más utilizados en la industria los termoestables y termoplásticos debido a su comportamiento a altas temperaturas.

2.3.1. Polímeros Termoestables

Conocidos como polímeros fijos son aquellos que se mantienen rígidos y solidos al exponerse a temperaturas altas, se los obtiene a partir de productos líquidos de bajo peso molecular. Estos no son moldeables plásticamente y no se los puede disolver. Estos son blandos al exponerlos a altas temperaturas por primera vez luego de enfriarse no se logran fundirlos por segunda vez por lo cual no son reciclables [2].

También son conocidas como resinas termoestables, las más conocidas y utilizadas son las resinas epoxi como se observa en la figura 25, baquelita, poliéster y poliuretano. Comúnmente se los utiliza como matriz o base de un material compuesto, por lo cual poseen un gran uso en la industria como: botones, interruptores, aletas [1].



Figura 25. Resina epoxi motores [9].

2.3.2. Polímeros Termoplásticos

Estos polímeros son macromoléculas unidas entre sí, por fuerzas intermoleculares las cuales forman cadenas lineales o ramificadas dependiendo del polímero. Su comportamiento a la temperatura se deriva de su composición, puesto que sus moléculas se agrupan en cadenas frágiles, estos también pueden perder su forma original al ser sometidos a altas fuerzas. Estos polímeros se subdividen de acuerdo a la oposición a la luz en amorfos y cristalinos [2]. Los polímeros termoplásticos comúnmente se los encuentra en forma de pellets como se logra observar en la figura 26.



Figura 26. Pellets termoplásticos [2].

2.3.2.1. Polímeros Amorfos

Estos polímeros poseen una baja resistencia química debido que sus moléculas se encuentran en completo desorden como se observa en la figura 27, siendo esta su característica principal, la cual otorga el paso de luz entre las moléculas y permitiendo que este polímero sea traslucido o transparente [1].

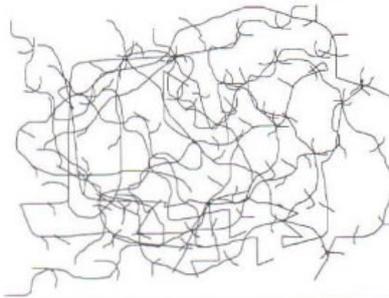


Figura 27. Estructura termoplástico amorfo [1].

2.3.2.2. Polímeros Cristalinos

Los polímeros cristalinos figura 28, poseen un buen orden molecular lo cual da una apreciación de cristales en su estructura, oponiéndose al paso de luz y dando un apariencia lechosa o translúcida [1].

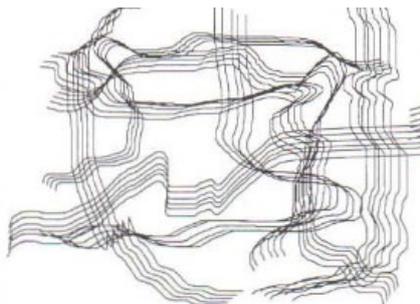


Figura 28. Estructura termoplástico cristalino [1].

Conociendo estos dos tipos de termoplásticos, se logra diferenciar sus propiedades entre amorfos y cristalinos como se aprecia en la tabla 3, los cuales son de relevancia durante el moldeo por inyección.

Tabla 3. Propiedades de plásticos cristalinos y amorfos [10].

Propiedades	Cristalinos	Amorfos
Densidad	Aumenta	Disminuye
Endurecimiento	Aumenta	Disminuye
Reblandecimiento	Definido	Intermedio de temperaturas
Inflexibilidad	Aumenta	Disminuye
Retracción	Aumenta	Disminuye
Absorción de gases y disolventes	Disminuye	Aumenta
Temperatura de desfiguración por peso	Aumenta	Disminuye
Firmeza al golpe	Aumenta	Aumenta

Por otra parte, los plásticos también se clasifican de acuerdo con su volumen de producción vs. costo.

2.3.3. Plásticos de gran volumen

De referencia se conoce que en Estados Unidos el 66.67 % de los plásticos en general comúnmente empleados son: el polipropileno, el poliestireno, el polietileno o policloruro de vinilo [10]. A continuación, se representan algunas características de moldeo y sus acrónimos respectivos en la tabla 4.

Tabla 4. Condiciones de moldeo Plásticos de gran volumen [10].

Plástico (Siglas)	Temp. Fundido (°C)	Temp. Molde (°C)	Presión (kg·cm ⁻²)	Secado
HDPE	190 - 288	10 - 38	3.5 - 7.03	No
LDPE	204 - 315	10 - 38	3.5 - 7.03	No
PP	218 - 288	10 - 65	3.5 - 7.03	No
PS	190 - 288	38 - 65	3.5 - 7.03	No
PVC Flexible	154 - 288	38 - 65	3.5 - 7.03	No
PVC Rígido	165 - 182	38 - 65	105 - 14.07	No

Para el caso de estudio se analizan 3 principales materiales que se ajustan a diferentes características físicas y químicas del proceso de los tomacorrientes como son:

2.3.3.1. Polipropileno

Su materia prima es el propileno o conocido como metil-etileno o propeno el cual es un gas a temperatura y presión atmosférica, y se lo obtiene del procesamiento primario del petróleo. El polipropileno se lo adquiere mediante reacciones químicas del monómero propeno y se logra obtener en forma de pellets o esferas [1].

A continuación, una ficha técnica del polímero polipropileno en la tabla 5:

Tabla 5. Ficha técnica PP [2].

Fórmula Química	Tipo	Densidad (g·cm ⁻³)	Punto de fusión (°C)	Propiedades	Usos
(C ₃ H ₆) _n	Termoplástico Cristalino	0.892	130-180	Resistencia al calor, química, al impacto	Contenedores, muebles, fibra textil, tubería
		-		Tenacidad	
		0.914		Brillo superficial	

A este polímero se le incorpora etileno en bajo porcentaje para potenciar sus propiedades dependiendo de la aplicación, como también se ha desarrollado nuevos polipropilenos con propiedades de ingeniería como:

- PP reforzado con vidrio.
- PP espumado.
- PP resistente al calor.

El PP posee un amplio uso en la industria textil, se logra obtener fibras, envases lavables de platos, embalaje para alimentos, equipo de laboratorio que se observa en la figura 29, películas transparentes, componentes automotrices, etc [2].



Figura 29. Tubos de precipitación en PP [2].

2.3.4. Plásticos de ingeniería

Materiales que poseen cualidades elevadas frente a los polímeros de mayor consumo, dado que poseen gran seguridad térmica, solidez al golpe, mayor fuerza y mayor oposición al estiramiento. Son usados mayormente donde los mercados necesitan un alto desempeño, en la tabla 6 se ilustra algunos de los materiales más comunes y sus características de moldeo [10].

Tabla 6. Características de molde para plásticos de ingeniería [10].

Plástico	Acrónimo	Temp. Fundido (°C)	Temp. Molde (°C)	Presión (kg·cm ⁻²)	Secado
ABS	ABS	246 - 274	38 - 93	5.3 - 8.8	Si
Polycarbonato	PC	274 - 329	79 - 107	3.5	Si
Nylon 6	-	222 - 274	38 - 93	3.5 - 7.03	Si
Nylon 6.6	-	260 - 288	38 - 93	3.5 - 7.03	Si
Polietileno-tereftalato	PET	232 - 260	65 - 107	3.5	Si

2.3.4.1. ABS

El ABS se basa en tres monómeros, figura 30, como su nombre lo indica, este polímero posee dos fases; una rígida termoplástica y otra flexible elastomérica. El cual procede por la unión de los componentes principales como son el estireno y el acrilonitrilo frente al butadieno [1].



Figura 30. Monómeros ABS [2].

El ABS es usado ampliamente como material de ingeniería, principalmente en la industria automotriz, electrodomésticos y telecomunicaciones, figura 31, debido a su relación precio-rendimiento el cual es muy favorable debido a sus propiedades como se expresan en la tabla 7.

Tabla 7. Ficha Técnica ABS [2].

Fórmula Química	Tipo	Densidad (g·cm ⁻³)	Temp. Transición vítreo (°C)	Propiedades	Usos
(C ₈ H ₈ .C ₄ H ₆ .C ₃ H ₃ N) _n	Termo- plástico Amorfo	1.00-1.05	105	Resistente al impacto Resistente a ácidos	Carcasas Computado- ras Videojuegos Celulares

El ABS se puede combinar con otros polímeros para mejorar y potenciar sus propiedades, como PC, PVC, etc.

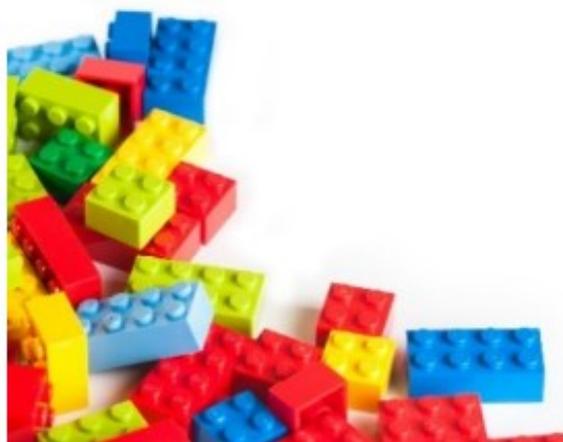


Figura 31. Piezas de juguetes en ABS [2].

2.3.4.2. Policarbonato

Este polímero se obtiene mediante proceso de síntesis, partiendo de la reacción de Bisfenol A con hidróxido de sodio (NaOH), obteniendo sal sódica de bisfenol A; para posteriormente hacer

reaccionar la sal sódica de bisfenol A con fosgeno, figura 32, siendo el compuesto químico que permite producir el policarbonato [1], ficha técnica tabla 8.

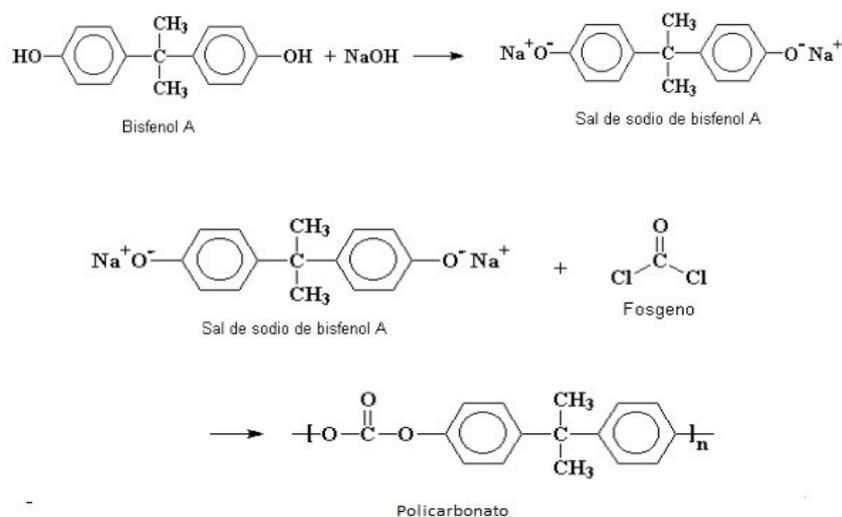


Figura 32. Síntesis PC[1].

Tabla 8. Ficha Técnica PC [2].

Fórmula Química	Tipo	Densidad (g·cm ⁻³)	Temp. Reblandecimiento (°C)	Propiedades	Usos
C ₁₅ H ₁₆ O ₂	Termoplástico Amorfo	1.20-1.22	147 - 155	Resistente al impacto Transparencia Buena ductilidad	Lentes Casco Carrocerías

El PC posee una resistencia al impacto entre 90-130 [J·m⁻¹], a pesar de esta alta resistencia el policarbonato es sensible a temperaturas por debajo de los - 20 [°C] se vuelve frágil. Es recomendable secar siempre el polímero antes de procesarse para evitar el descenso del peso molecular; para potenciar la resistencia y rigidez se mezcla el PC con otros plásticos [2]. Sus

usos son varios como micas de lentes de aumento, figura 33, cuerpos de electrodomésticos, herramientas eléctricas, cascos, toldos de aviones, tomacorrientes, etc.



Figura 33. Casco, visor y lentes fabricados en PC [2].

2.4. Selección de polímero plástico.

Para la selección del material plástico a inyectar en el producto tomacorriente NEMA 5-15R parte de las normas IEC 60884-1 el cual define el uso de un material resistente al fuego y al calor anormal, por lo que existen diferentes materiales plásticos para tomacorrientes corrientes como se observa en la tabla 9.

Tabla 9. Materiales para tomacorrientes NEMA 5-15R [11].

Calidad	Polímero	Norma IEC 60884-1
Baja	Polipropileno	Cumple
Media	ABS	Cumple
Alta	Policarbonato	Cumple

El material seleccionado es el policarbonato, dado que es el candidato perfecto para la aplicación del plástico en los tomacorrientes, es necesario indicar, que posee la mejor calidad a la hora de cumplir las normativas expuestas para este producto, ya que dicho polímero brinda un plus adicional de tener características de resistencia a la flama, evitando la propagación de la llama en un accidente por corto circuito.

Cabe mencionar que en Ecuador se comercializan tomacorrientes fabricados en todos los polímeros indicados en la tabla 9.

CAPÍTULO III

MOLDE DE INYECCIÓN PLÁSTICA

3.1. Tipos de Procesamiento de Plástico

El procesamiento del plástico ha surgido a partir de la necesidad de la fabricación masiva de productos de alto nivel de consumo con un bajo costo de producción.

Existen varios procesos de moldeo del plástico, alrededor de más de 20 en la industria, los métodos de producción más empleados son: inyección plástica y extrusión, aproximadamente el 34 % de los plásticos son procesados por inyección como se logra apreciar en la figura 34. Al usar polímeros termoplásticos el proceso más recomendado para este tipo de polímero es la inyección [1].

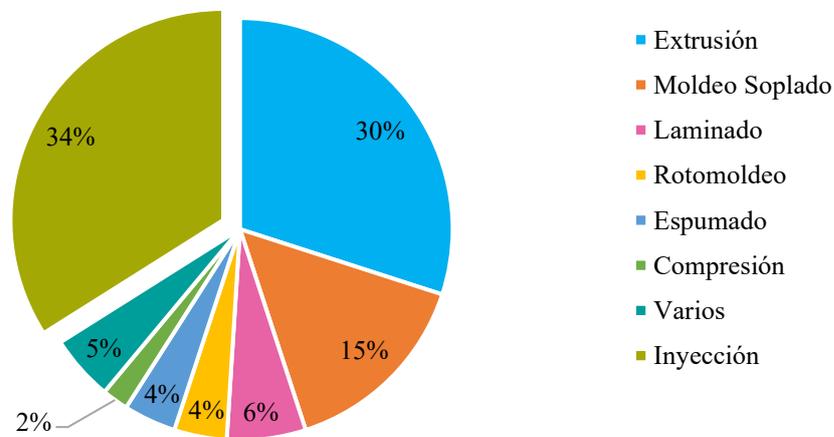


Figura 34. Procesamiento de plástico [12].

3.1.1. Inyección Plástica

Este proceso de manufactura del plástico consiste en la fabricación del producto en base a un molde en el cual se inyectará la mezcla del polímero con resina a alta presión, dando lugar a la formación del producto dentro de los noyos que conforman el producto del molde como se observa en la figura 35, lo que facilita el enfriamiento del producto ya que las máquinas de inyección plástica poseen un sistema de enfriamiento [2].

Los productos que se pueden obtener por medio de la inyección plástica es muy extensa, siendo uno de los procesos más utilizados en el mercado actual ofreciendo desde botones hasta pallets plásticos [1].

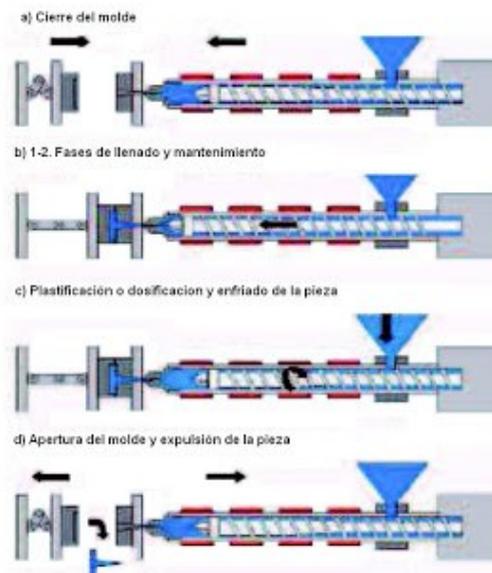


Figura 35. Etapas de la inyección plástica [13].

La inyección plástica es un proceso que ofrece tanto ventajas y desventajas en la fabricación de productos expuestos en la tabla 10.

Tabla 10. Proceso de inyección plástica ventajas vs. desventajas [1].

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Acabados superficiales lisos	Necesidad de varios moldes para distintos productos respectivamente.
Exactitud en la forma del producto	Alto coste de fabricación de molde.
Productos lisos para ensamble final o uso.	La interrupción del proceso puede agravar los productos finales.
Alta producción de un solo producto.	Alto consumo de energía.

3.1.1.1. Unidades y etapas de inyectora plástica

El proceso de inyección plástica se logra gracias a una máquina la cual trabaja en ciclos, esta máquina consta de varias partes como el apartado de control, el apartado de potencia, control de inyección y finalmente el apartado del molde [10].

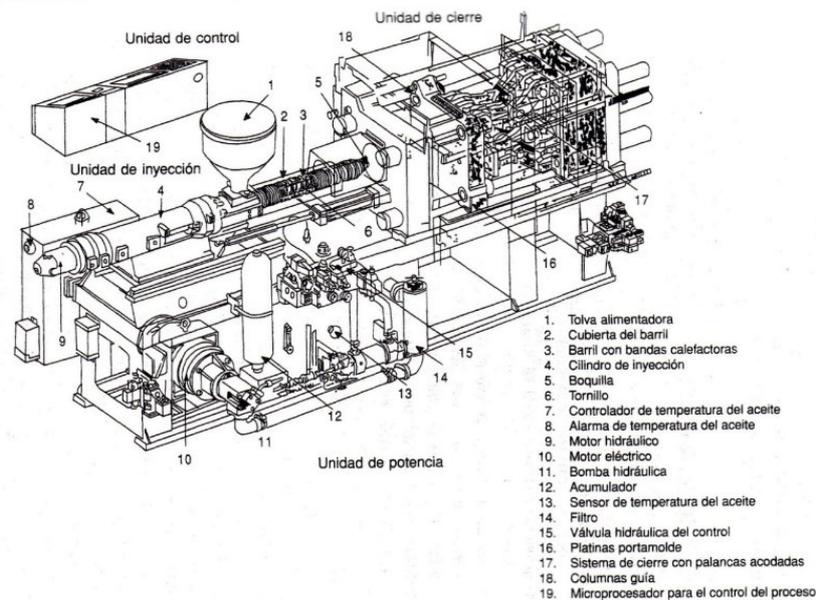


Figura 36. Unidades o apartados de la inyección plástica [10].

- **Apartado de control**

Contiene los interruptores correspondientes para puesta en marcha de la máquina, como también paros de emergencia y control manual o automático de los ciclos de inyección [10].

- **Apartado de potencia**

Los motores hidráulicos son por lo general la unidad de potencia los cuales generan los movimientos necesarios dentro de la máquina de inyección plástica, para dar movimiento al husillo, cerrar el molde a presión y sobre todo lubricar los componentes evitando desgastes [10].

- **Control de inyección**

Esta unidad posee todos los componentes necesarios para lograr fundir el polímero y dosificar el material a presión, como lo es generalmente el husillo, barril, boquilla de inyección y tolva de alimentación [10].

- **Unidad del molde**

En la unidad de molde consta de cilindros hidráulicos los cuales permiten una fuerza de cierre del molde, con una presión adecuada que facilita mantener el molde cerrado hasta que este sea inyectado y solidificado, finalmente este expulsa el molde por la apertura de esta unidad [10].

Los ciclos de moldeo poseen 3 etapas fundamentales que son:

- Inyección

En esta etapa el polímero en forma de pellets es insertado por la tolva hacia el cilindro inyector, en el que, por el movimiento del husillo o tornillo, el polímero se funde y se homogeniza siendo transportado hasta la punta de la unidad de inyección en el que se inyecta a los postizos del molde [10], ilustrado en la figura 37.

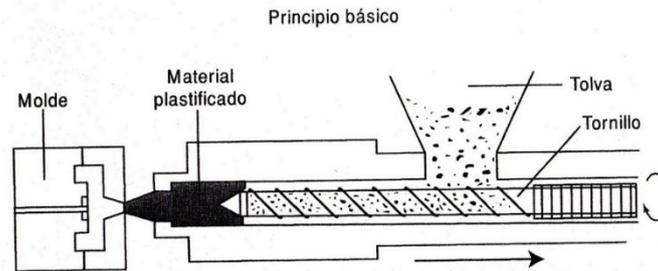


Figura 37. Ciclo inyección [10].

- Presión del molde y enfriamiento

El husillo o tornillo del inyector continúa en movimiento ejerciendo una presión adecuada para llenar por completo el molde como se observa en la figura 38, como también para evitar que el material fugue del mismo que se encuentra completamente cerrado, hasta que el material se solidifique y se obtenga el producto deseado en base al molde [10].

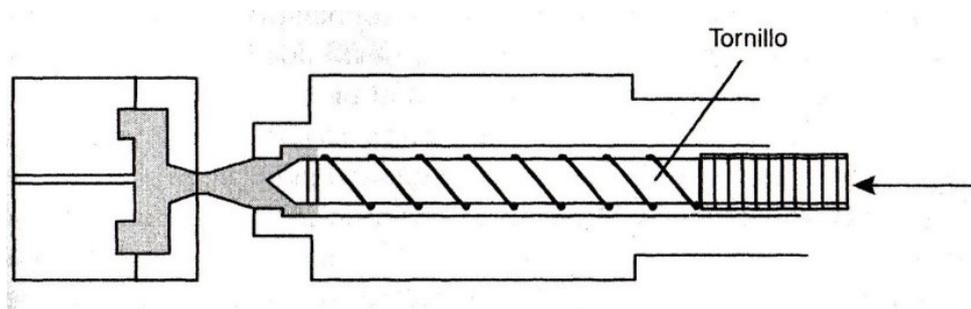


Figura 38. Presión y enfriamiento [10].

- Expulsión

Finalmente, en la etapa final el molde se abre dando paso a que el producto ya solidificado sea expulsado del interior del molde que se aprecia en la figura 39, permitiendo dar continuación a un nuevo ciclo de manufactura por inyección plástica [10].

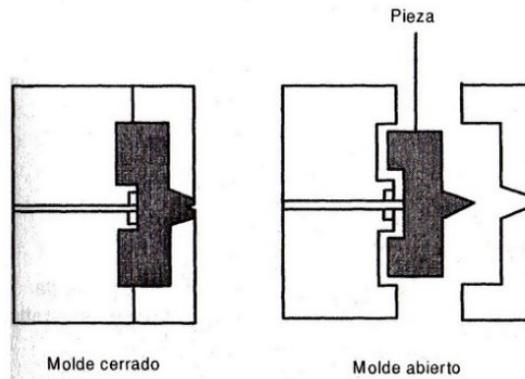


Figura 39. Presión y enfriamiento [10].

3.2. Tipos de Moldes

Se toma como referencia la clasificación según DIN E 16750 norma que divide los moldes de inyección para materiales plásticos de la siguiente forma [14]:

3.2.1. Molde estándar

Conocido también como molde de dos platos, radica en dos medios unidos, que en el interior se obtiene la pieza ya conformada y al abrirse el molde, la pieza queda libre entre las mitades y no necesita elementos añadidos para extraer la pieza. La característica más evidente son las cavidades que contiene el molde, el mismo que puede albergar más de una cavidad con el fin de fabricar muchos productos en un mismo tiro [15]. El molde estándar indica la figura 40.

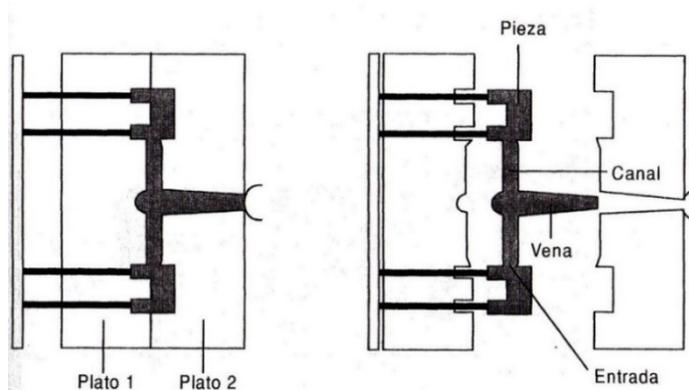


Figura 40. Molde estándar[10].

3.2.2. Molde de mordazas

Denominado también como molde de correderas debido que es indispensable el uso de elementos móviles, figura 41, pueden ser accionados por medios mecánicos o hidráulicos para lograr desmoldear la pieza en el interior [16].

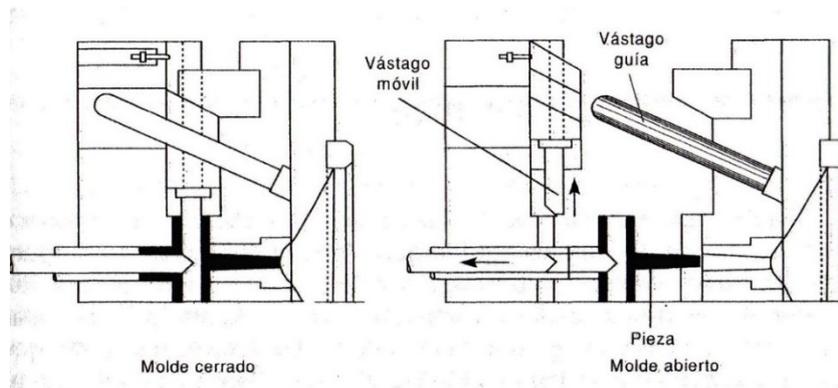


Figura 41. Molde de mordazas [10].

3.2.3. Molde de extracción por segmentos

Estos moldes necesitan varias fases para lograr extraer la pieza conformada sin ningún tipo de riesgo de rupturas en la pieza, en ocasiones es necesario el uso de aire a presión en la placa de las cavidades del molde para facilitar la extracción antes de ser abierto o a su vez el uso de extractores (insertos). En la figura 42 se logra distinguir las distintas fases de desmoldeo [14].

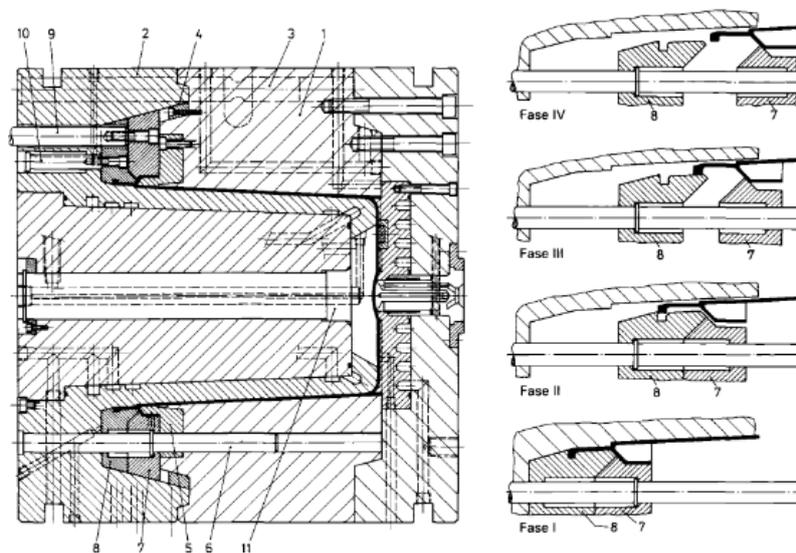


Figura 42. Molde de extracción por segmentos [14].

3.2.4. Molde de tres placas

Estos moldes son utilizados cuando por diversas circunstancias es necesario el uso de un segundo plato de separación y se compone de varias placas dependiendo de la pieza, la primera placa se encargaría del conformado de la parte superior de la pieza, la siguiente placa conformará el postizo de la pieza y formará un distanciamiento entre placas, donde la tercera

será la encargada de formar la base evitando que el plástico salga de la cavidad [14], figura 43.

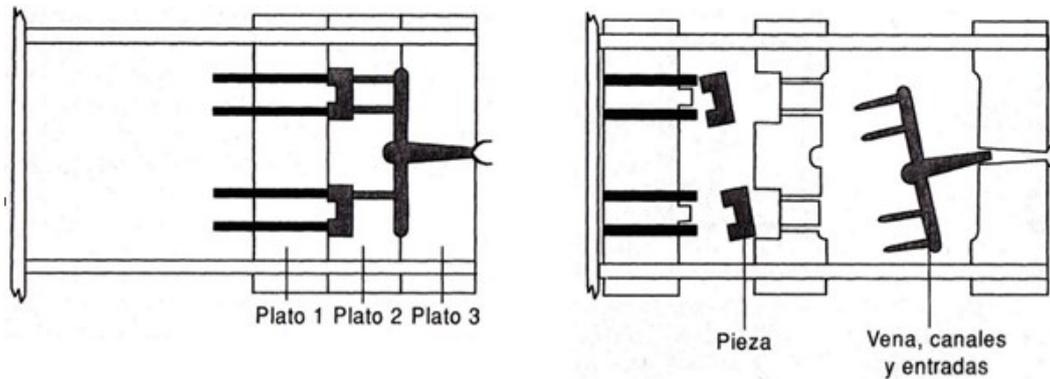


Figura 43. Molde de tres placas [10].

3.2.5. Molde de canal caliente

Como su nombre indica estos moldes poseen canales los cuales distribuyen el plástico, se observa en la figura 44, manteniendo la temperatura de inyección, hacia las diferentes cavidades del molde. Este tipo de moldes implican un mayor coste de manufactura del molde, pero a la vez otorgando un menor costo de producción de la pieza [10].

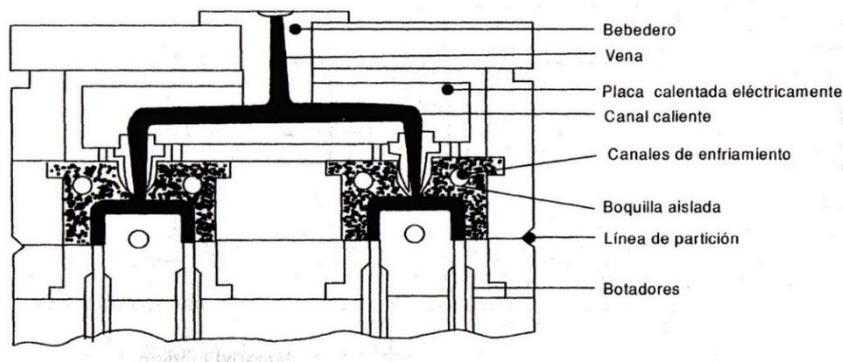


Figura 44. Molde de canal caliente [10].

Estos moldes se deben fabricar en acero dependiendo del material a inyectar en su interior como número de ciclos deseados y acabados del producto o pieza final. Se debe cumplir ciertas exigencias al elegir el acero para el molde [14]:

- Elevada firmeza al deterioro.
- Elevada firmeza a la erosión de agentes oxidantes.

3.3. Materiales para la construcción de moldes

Dentro del proceso de la elaboración de productos de origen polimérico se recalca que los moldes a utilizar deben tener distintas características que determinan su precisión y efectividad, dentro de ellos se encuentra la calidad, que, debe cumplir con las necesidades del cliente, otra de las características fundamentales es que debe tener una elaboración exacta y presentar una elevada duración. Este tipo de moldes son elaborados en distintos materiales, dentro de la elaboración de este proyecto se profundiza de manera detallada el material de acero, teniendo en cuenta que la pieza que se requiere construir, debe considerar su rentabilidad, la cual depende del tiempo de elaboración, el costo de fabricación y las exigencias que requiera la pieza realizada [17].

3.3.1. Aceros

El material más utilizado tradicionalmente para la manufactura de moldes de inyección son los aceros [18]. Sin embargo, este material debe poseer ciertas propiedades que determinen las condiciones a la pieza terminada, dentro de ellas se tiene las condiciones de elaboración, su firmeza al aplastamiento, pulibilidad, firmeza al estiramiento y tenacidad, imperfección mínima, óptima conductividad térmica, capacidad de recuperación y finalmente la solidez a agentes químicos [17].

Se conoce que, dentro de las propiedades mencionadas, el acero no puede presentar todo lo antedicho, por esta razón, previo a la construcción del molde es indispensable aclarar su aplicabilidad: en esto se puede encontrar el tipo de masa a elaborar, el tratamiento térmico necesario, el método de vaciado del bloque y el tipo de magnitud del esfuerzo mecánico.

De acuerdo a las propiedades expuestas se escoge el acero más apropiado para la elaboración del molde, dentro de los distintos aceros [17]; los cuales se detalla a continuación.

3.3.1.1. Aceros de temple total

Este tratamiento térmico tiene como finalidad el enfriamiento rápido de la pieza, su utilización endurece el acero por la incorporación de martensita. Uno de los factores importantes en el temple o también llamado endurecimiento de los aceros, es la velocidad de calentamiento, de enfriamiento y el agente refrigerante [19].

El tratamiento de temple total incluye: elevar su temperatura, controlar la temperatura, enfriar el cuerpo para no alterar la estructura del temple y revenido aumentando la fuerza. El bonificado

aumenta de forma ligera la dureza, mientras que en este caso con el revenido ocurre lo contrario, las temperaturas para estabilizar su estructura empiezan desde los 160 [°C] hasta los 200 [°C], lo que ayuda a suavizar las tensiones, este proceso es denominado como eliminación de tensiones o también como normalización. En conclusión, la elaboración de los moldes a base del tratamiento de temple total tiene una mejor resistencia a la abrasión, pero son más sensibles a la deformación por su menor tenacidad, por ello, son utilizados para la fabricación de moldes de tamaño pequeño [17].

3.3.1.2. Aceros bonificados.

Tiene alta firmeza al estiramiento y el giro a medianas áreas específicas, es insensible a la fragilidad por revenido [20]. Es ideal para la elaboración de moldes de tamaño grande, entre las ventajas que trae el uso de estos aceros es que se los realiza fácilmente mediante arranque de viruta, evita la dificultad que trae un tratamiento térmico. En la elaboración del molde sus desventajas también tienen que ver con su reducida firmeza al desgaste y una buena disposición de la superficie defectuosa. Es adecuado para evitar las deformaciones que se pueden producir en el acero de temple total.

Este tipo de acero tiene una importante reducción de dureza y resistencia, teniendo en cuenta que cuando se eleva la temperatura de la estabilización de la estructura, también aumenta la dilatación y la firmeza. Si se elige una apropiada temperatura y duración de revenido, estas pueden ajustarse dependiendo su resistencia. El borde superior de la firmeza es $125 \text{ kp} \cdot \text{mm}^{-2}$ [17].

3.3.1.3. Aceros resistentes a la corrosión

La corrosión tiene que ver con la capacidad que tiene un material, en este caso el acero, de resistir el deterioro causado por agentes químicos, la ventaja que ha adquirido este material a la corrosión es por sus características como son la estructura y su composición, también tiene que ver con el tipo de agente químico al que se somete el acero. Cuando reacciona con el oxígeno da como resultado una película de óxido de cromo la cual es delgada [21].

Dentro de los aceros resistentes a la corrosión se menciona los más importantes: el acero M 201, M 238 y M 303 extra; los cuales se detallan a continuación:

3.3.1.3.1. Acero M 201

Este tipo de acero es adecuado para la producción por inyección de termoplástico y extrusión, también es utilizada en la fabricación de partes de moldes resistentes y fabricaciones estructurales. Dentro de las especificaciones y composiciones químicas de este material se tiene un valor de hasta 2 % en cromo, siendo este elemento químico el más significativo, después con un valor de entre 0.6 y 1 % de manganeso, estos valores ayudan al acero a ser utilizado en la fabricación de ciertos electrodomésticos [22].

Otra ventaja de los aceros M 201 que se ilustra en la figura 45 es que, puede ser utilizado especialmente en el moldeo por insuflación de aire comprimido termoplástico. Dentro de su aplicación tiene una alta resistencia, tenacidad, sección y fabricación de grandes piezas [22].



Figura 45. Acero M201 bonificado para empleo en el estado de suministro [22].

3.3.1.3.2. Acero M 238

Este tipo de acero pre bonificado predomina en la fundición y en el uso para temple en profundidad, figura 46, lo cual le da la gran ventaja de crear moldes de plástico templado y revenido, sin embargo, este tipo de acero no es resistente a la corrosión, aunque tiene un alto porcentaje del 2 % de cromo, pero, con la presencia de níquel, con un valor de 1.10 % tiene una resistencia uniforme a lo largo de la sección y en grandes dimensiones (aproximadamente los 600 mm). Otra de las ventajas que tiene este material son sus óptimas propiedades mecánicas, su gran tenacidad, su eficiente economía en la fabricación y mayor calidad útil (buena maquinabilidad, electro erosionabilidad, pulibilidad, y aptitud para el fotograbado) y aumento de la productividad.

La aplicación de este material incluye los componentes estándar como moldes, placas, clavos; también en la industria de procesamiento de alimentos, al igual que el acero M 303 el moldeo por

inyección y soplado, y portaherramientas como el fresado, taladrado. Este componente tiene propiedades que se ajustan a los moldes de tamaño medio y grande para poder transformar las materias plásticas [23].



Figura 46. Acero M 238 bonificado para empleo en el estado de suministro [23].

3.3.1.3.3. Acero M 303

Tiene una alta composición química de cromo, lo cual lo hace resistente a la corrosión con un 14.5 % de este elemento químico; su aplicación puede utilizarse en cámaras calientes, componentes estándar y para procesamiento de alimentos y piensos, extrusión de plástico, moldeo por inyección y soplado, portaherramientas, finalmente en tornillos y cilindros. El acero mencionado anteriormente de la figura 47, es martensítico templado por precipitación y tiene la ventaja de ofrecer una buena tenacidad y resistencia al desgaste.

Otra de las propiedades importantes que tiene este material es su resistencia a la corrosión en la creación de moldes de plástico, brindando una excelente aptitud para el mecanizado y para el pulido, contribuyendo de mejor manera en la elaboración de dichos moldes [24].



Figura 47. Acero M 303 resistente a la corrosión [24].

3.3.1.4. Aceros de nitruración

Este tipo de acero no es recomendable para aditivos de aleación que no formen nitruros; debido que, en ciertos escenarios el procedimiento puede dar resultados nocivos, este es el caso del acero al carbón, donde la estructura, a causa de la introducción de nitrógeno provoca que la capa nitrurada se desprenda, sin embargo, este método también puede aplicarse en algunos aceros inoxidable, teniendo en cuenta temperaturas entre 500 y 580 [°C] para la ionitruración [17].

Es necesario, que después del tratamiento de nitruración se realice un pulido para alcanzar una dureza máxima en la superficie del molde.

La ventajas más importantes que tiene este tratamiento es la obtención de moldes sin tensiones, a partir de tratamientos térmicos; lo que muestra alta dureza y firmeza a la erosión mejorada [17].

3.3.2. Materiales para elementos de accionamiento y montaje.

Dentro de la fabricación de la matriz, también se usan piezas, que fácilmente pueden ser adquiridas en el mercado, estos elementos son normalizados [17]. Dentro de las piezas mencionadas se tiene:

- Bridas de centrado
- Placas distanciadoras
- Placas intermedias
- Guías y camisas (figura 48)
- Botadores
- Placas de inserción

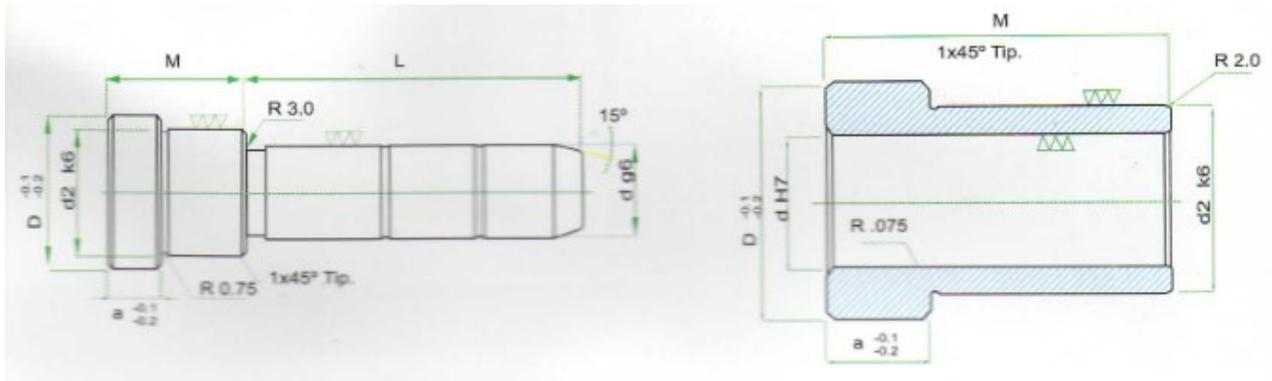


Figura 48. Columna y casquillo normalizado [25].

Como se mencionó anteriormente, estas piezas fundamentales se fabrican principalmente en aceros como:

- AISI O1 de temple al aceite
- AISI A2 de temple al aire
- AISI 8620 de triple aleación
- AISI 4310 bonificado

3.4. Contracción Térmica.

La contracción térmica se logra entender como la disminución dimensional de la pieza a medida que la temperatura disminuye, por lo general los polímeros cristalinos se contraen menos que los amorfos, debido que al aumentar la temperatura de fundición de los cristalinos aumentan su volumen específico al ser inyectado al molde [10].

Se conoce que la contracción térmica que sufre un material al enfriarse es muy grande cuanto más alta sea la temperatura de fundido y del molde, por lo cual se debe tener en cuenta que cierta contracción es ineludible, pero se puede disminuir o controlar mediante algunas variables de proceso en la inyección, tabla 11.

Tabla 11. Variables que afectan a la contracción [10].

Variables	Disminuir Contracción
Temperatura de fundido	Aumentar
Temperatura del molde	Disminuir
Presión de inyección	Aumentar
Tiempo de postpresión	Alargar
Espesor de paredes	Disminuir
Tamaño de entrada	Aumentar
Velocidad de inyección	Aumentar
Ciclo total	Alargar

La presión en el molde es la variable más importante que afecta considerablemente las dimensiones de la pieza moldeada, debido a que la presión de inyección comprime el material en el interior del molde, y durante el enfriamiento la pieza pierde volumen, pero la presión sigue empaquetando más material hasta que la entrada se cierre por completo compensando la contracción de la pieza [10].

El efecto de las variables de inyección en la contracción se puede observar en la figura 49.

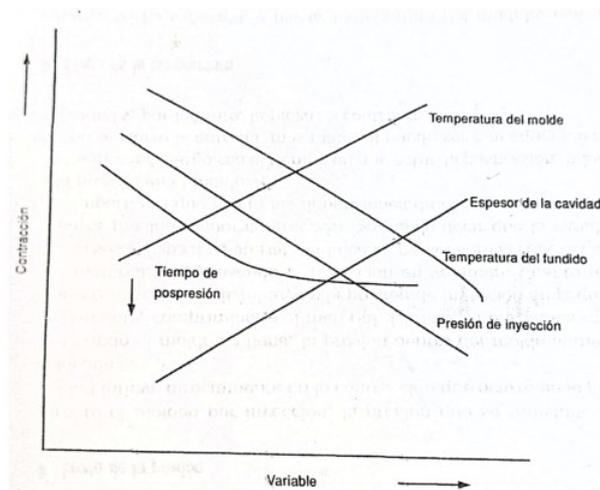


Figura 49. Efecto de las variables sobre la contracción [10].

3.5. Sistema de Colada Caliente / Sistema de Colada Fría

Actualmente la gran mayoría de productos elaborados en plástico son fabricados a base de un molde de inyección, para dicho molde existen dos métodos: de colada caliente y de colada fría. Se comprende por colada a los canales como se observa en la figura 50, que guían a los pellets de plástico fundidos y hechos resina, al interior del molde para lograr conformar el producto al enfriarse [26].

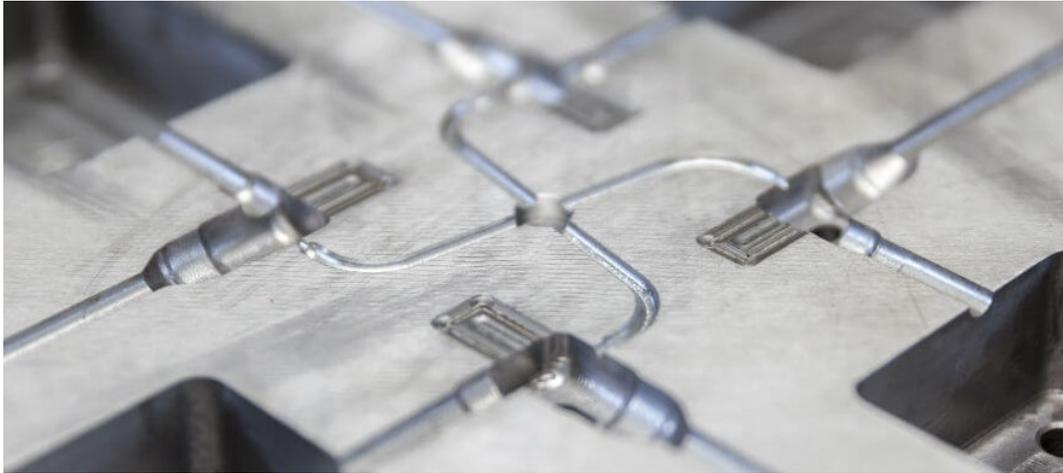


Figura 50. Canales de colada en el molde [27].

3.5.1. Colada Caliente

Se lo conoce también “*Hot Runner System*” (HRS), en este tipo de sistema de colada caliente se logra destacar tres componentes principales los cuales son:

- *Manifold*. - El colector también conocido como horno de colada es un sistema de resistencias eléctricas las cuales permiten que la colada se encuentre a cierta temperatura constante y uniforme, lo que hace que el material se mantenga fundido.
- Canal caliente. - Como su propio nombre lo indica son los conductos o canales por donde el material fundido fluye hasta llegar a la boquilla situada al ingreso de la cavidad.
- Boquilla. - Este es un inyector encargado de permitir el paso a alta presión de la resina al interior del molde para su llenado, una vez llenado esta boquilla se cierra obstruyendo el paso de la resina y dar paso a la expulsión del producto conformado [28].

En la figura 51, se observa los componentes principales del sistema de colada caliente.

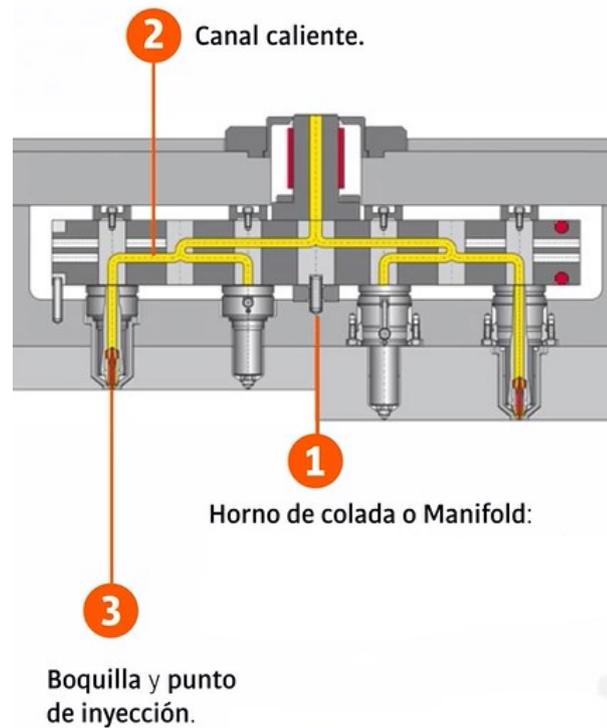


Figura 51. Sistema de colada caliente y sus principales componentes [28].

El sistema de colada caliente brinda ventajas y desventajas en la inyección plástica como en la tabla 12.

Tabla 12. Sistema de colada caliente ventajas y desventajas [19].

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Menor tiempo de ciclo.	Elevado costo de fabricación de molde.
Reducción de desperdicio de resina.	Facilidad de cambio de color.
Mayor vida útil del molde.	Alto coste de mantenimiento.
Mejor acabado final del producto.	Resinas sensibles al calor.
Bajo consumo de energía.	Fugas de material

3.5.2. Colada Fría

La colada fría se caracteriza por el desperdicio de material que este tipo de sistema produce, debido que al inyectar el material este debe ser a través del bebedero el cual da paso de la resina

a los corredores o ramas hasta llegar a la cavidad, por medio de los lugares de inyección, como indica la figura 52. Lo cual al enfriarse y conformar el producto este queda unido a la resina sobrante que se encuentra tanto en el bebedero como en los corredores y en los puntos de inyección. Dando como resultado una pieza que debe ser desagrupada del material en exceso, para ser triturado y volver a reusarse disminuyendo el desperdicio de material [29]. El desperdicio de material en la práctica por lo general indica del 20 al 50 % del peso del producto conformada [15].

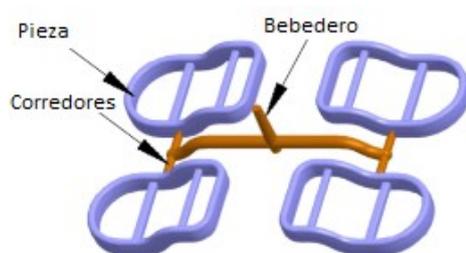


Figura 52. Pieza inyectada por sistema de colada fría [15].

Las ventajas y desventajas del sistema de colada fría en la inyección plástica indica la tabla 13.

Tabla 13. Ventajas vs. desventajas del sistema de colada fría [20].

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Bajo costo de fabricación del molde.	Mayor tiempo de ciclo.
Cambio de color de la resina con facilidad.	Desperdicio de resina.
Uso en plásticos termoestables y termofijos.	Acabado aceptable de la pieza.
Bajo mantenimiento.	Alto consumo de energía.
Diseño de molde sencillo	Baja posibilidad de fabricar piezas con paredes de poco espesor.

3.6. Tipos de sistemas de expulsión en moldes de inyección plástica.

Durante el proceso de inyección, figura 53, el producto se contrae en el macho o parte móvil, por lo cual es necesario desmoldear la pieza aplicando los diferentes tipos de expulsores evitando daños en el mismo.

Estos expulsores deben estar colocados cerca de puntos que opongan una gran resistencia de extracción. Se recomienda estar situados cerca del núcleo de la pieza, zonas que no tengan relevancia al acabado superficial o frente a paredes de un espesor considerable o zonas con nervios [16].

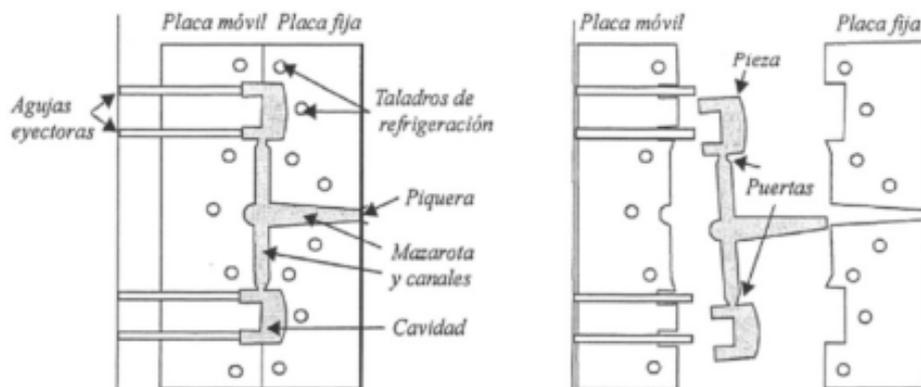


Figura 53. Expulsión mediante aguja o varilla expulsora [30].

El sistema de expulsión debe cumplir ciertas cualidades:

- Sencillos y económicos
- Resistentes al desgaste
- No dejar marcas en la pieza moldeada
- Buen rendimiento
- Evitar deformaciones

El tipo de expulsor se adecúa a la forma de la pieza a inyectar y por lo general el expulsor se sitúa en la parte móvil de la máquina, los expulsores más utilizados son:

- Casquillos de expulsión
- Mordazas correderas

- Placas de extracción
- Pasadores cilíndricos de expulsión

Cabe mencionar que los expulsores no solo funcionan para el desmoldeo de la pieza, además ayuda en la evacuación de los gases de las cavidades.

En caso de moldeo de piezas con superficie texturizada es necesario la implementación de ángulos de desmoldeo, estos ángulos se pueden calcular con un valor orientativo, por cada 0.01 [mm] de profundidad de texturizado se emplea 1 ° de ángulo de desmoldeo [16].

3.7. Equipos y accesorios para moldes de inyección plástica

3.7.1. Equipos de secado

Para obtener un producto de calidad sin tener problemas en su aspecto o en sus propiedades, es necesario aplicar un proceso llamado secado, el cual se realiza para lograr menorar el contenido de humedad y secar un material. Es necesario llevar el material final a un equipo de secado el cual se calienta y se somete a aire seco con humedad muy baja [10].

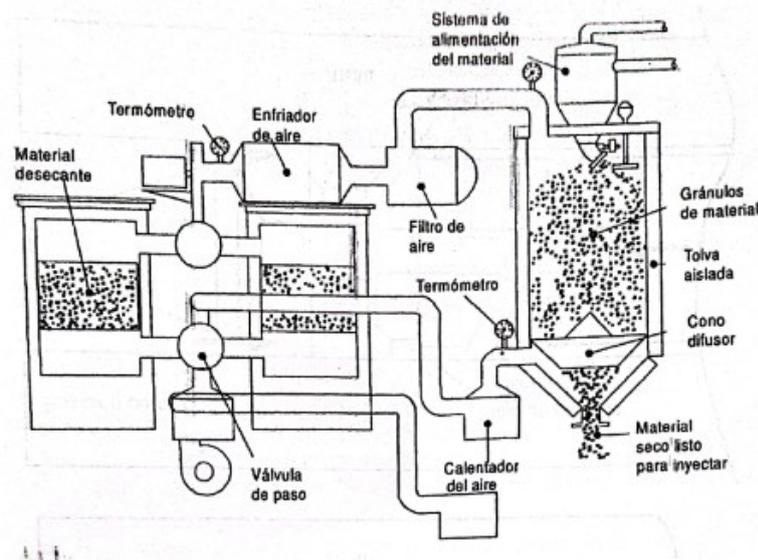


Figura 54. Equipo de secado [10].

La figura 54, muestra un diseño común de equipo de secado para plásticos, el cual tiene varios aspectos importantes en su diseño, como son: los filtros, intercambiadores de calor, material desecante con auto regeneración, calentadores de aire y las tolvas. Se debe tomar en cuenta que el proceso de secado debe alcanzar una temperatura requerida para poder obtener un material con características y apariencia de buen aspecto [10].

3.7.2. Boquillas de inyección

Las boquillas se encuentran ubicadas en la parte delantera del barril, las cuales permiten el paso del material al molde. El diseño de la boquilla de inyección depende del tipo de polímero y el diseño del molde. Además, la boquilla debe propiciar una temperatura adecuada para impedir que el polímero que se expulsa se solidifique y tapone la punta, por otro lado, se puede ocasionar un tipo de goteo que puede emitir la boquilla, para la solución de este problema se puede realizar descompresión del material o a su vez usar boquillas con cierre. Esta descompresión se efectúa a partir de una válvula de descompresión [16], como se indica en la figura 55.

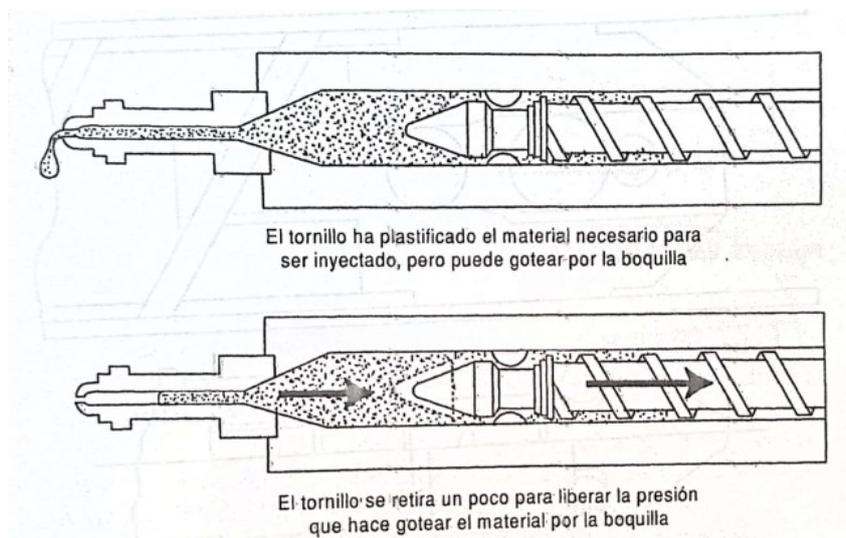


Figura 55. Mecanismo de descompresión del tornillo [10].

En este contexto, se pueden mencionar varios tipos de diseños de boquillas de cierre [10], como son:

- Boquilla cónica

Es sencilla al momento de adaptarse al molde y cuando se extrae la boquilla facilita separar el polímero, figura 56.

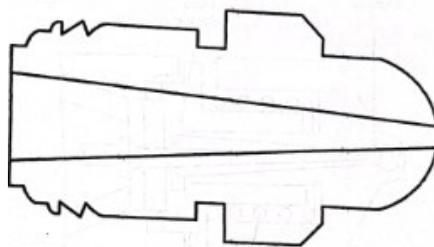


Figura 56. Boquilla cónica [4].

- **Boquilla de flujo libre**

Tiene una menor resistencia al paso del polímero, figura 57.

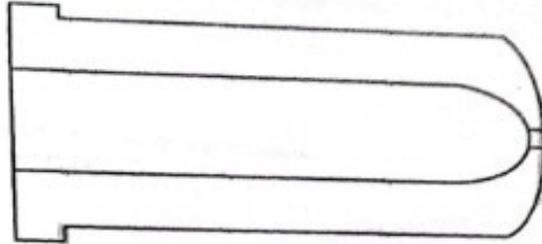


Figura 57. Boquilla de flujo libre [4].

- **Boquilla de conicidad invertida**

Debe presentar temperaturas bajas para trabajar de mejor manera, además este modelo se usa con polímeros fundidos de baja viscosidad, figura 58.

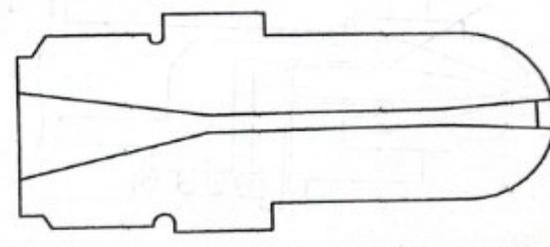


Figura 58. Boquilla de conicidad invertida [4].

- **Boquilla con aguja de válvula**

Usa muelle para ejecutar el cierre, figura 59.

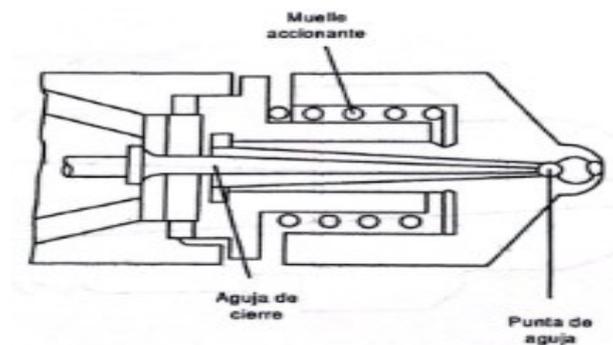


Figura 59. Boquilla con válvula de aguja [4].

- **Boquilla con válvula cónica y muelle**

Funciona de manera que cuando el tornillo progresa, la presión del material fundido actúa hacia la sobre el muelle provocando un cierre de la válvula por parte del mismo, figura 60.

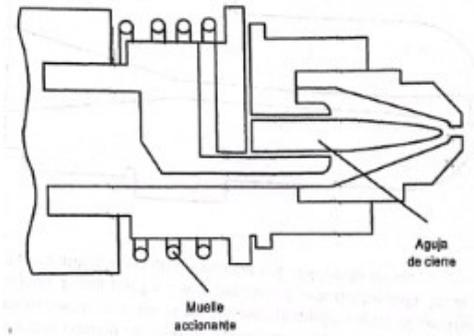


Figura 60. Boquilla con válvula cónica y muelle [4].

- **Boquilla accionada externamente.**

Este tipo de boquilla funciona con un sistema hidráulico externamente, figura 61.

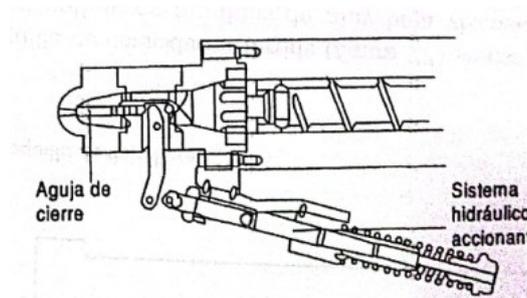


Figura 61. Boquilla accionada externamente [4].

3.7.3. Tornillos de máquina inyectora

Existen distintos diseños de tornillos, figura 62, que han sido modelados dependiendo del polímero a molde, de esta manera se convierten en piezas fundamentales para el procesamiento de termoplásticos como PC, PA, Nylon, PBT, PET [10].

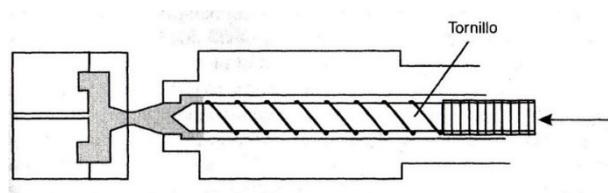


Figura 62. Tornillo máquina inyectora [10].

Entre los distintos tipos de tornillos se presenta a continuación los más relevantes:

- **Tornillos con cabezas mezcladoras**

Estos tipos de tornillos al momento de pasar por los canales del molde, tiene la ventaja de generar una gran recirculación de flujo, de esta manera es posible llegar a una fusión total y dispersión correcta del material. No obstante, algunas de las desventajas que presentan este tornillo son los puntos muertos o un desmesurado desgaste del barril [10].

- **Tornillos para PVC rígido**

Los tornillos ideales para el PVC rígido deben tener ciertas características, deben ser cortos y con canales profundos, esto es con la finalidad de evitar cambios de propiedades del material, comúnmente se recubre los tornillos para PVC con aleaciones para prevenir la corrosión [10].

- **Tornillos y barriles con desgasificación**

Los tornillos y barriles con desgasificación son utilizados exclusivamente para materiales que están contaminados con agua o con sustancias de bajo peso molecular, algunos de estos materiales se mencionan en la tabla 14. donde se explica de manera detallada sus condiciones de secado. Una de las cualidades de las máquinas con tornillos y barriles de desgasificación es la zona de venteo respiradero, figura 63, orificio por el cual se evacua los gases desprendidos de la fundición del material [10].

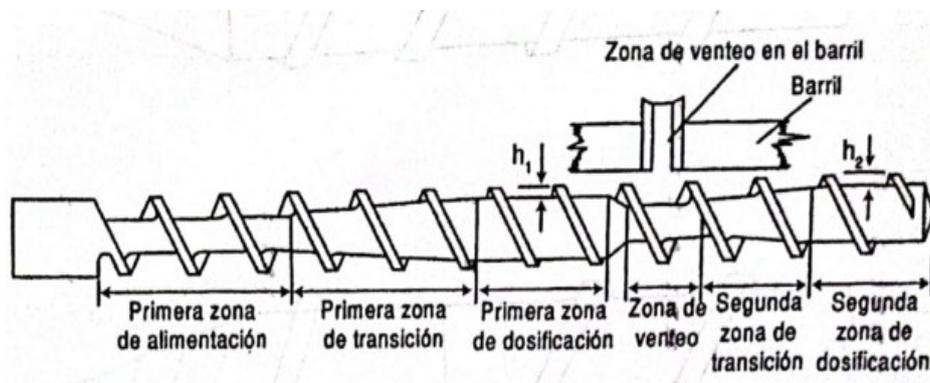


Figura 63. Esquema de zonas de un tornillo con desgasificación [10].

Tabla 14. Condiciones de secado para algunos materiales [10].

Material	Absorción de agua (%)	Tiempo de secado (h)	Temperatura de secado (°C)
ABS	0.2 a 0.35	2	75
CA	4.5 a 6.0	1 a 2	85
HIPS	0.08	1 a 2	70
Nylon 6	1.6	12	105
Nylon 6.6	1.5	12	105
PBT	0.08	2 a 3	135
PC	0.16	2	120
HDPE	0.01	1 a 1.5	85
LDPE	0.2	1 a 1.5	85
PET	0.03	2	135
PMMA	0.3	3 a 4	90
PS	0.08	1 a 2	70

- Tornillos con zona de mezclado prolongada

Este tipo de tornillo es utilizado mayormente para la inyección de materiales abrasivos o sensibles al calor, debido que la fusión del material y mezclado ocurre en una longitud más amplia, figura 64, brindando un intercambio de material entre canal y canal continuo[10].

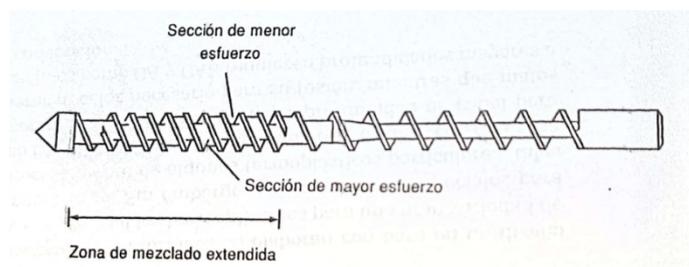


Figura 64. Diseño de un tornillo con zona de mezclado prolongada [10].

3.7.4. Válvulas de bloqueo de flujo antirretorno

Las máquinas inyectoras presentan dos tipos de válvulas, una de ellas es la válvula de anillo, figura 65, la cual como su nombre lo indica tiene un anillo que se desliza sobre el barril, cuando el tornillo empieza a girar el anillo se mueve hacia adelante debido a la fuerza del plástico, lo que permite el paso del material fundido. En cambio, cuando el tornillo inserta material en el molde, el anillo se mueve hacia atrás, lo efectuar el cierre de la válvula evitando el retorno del material [10].

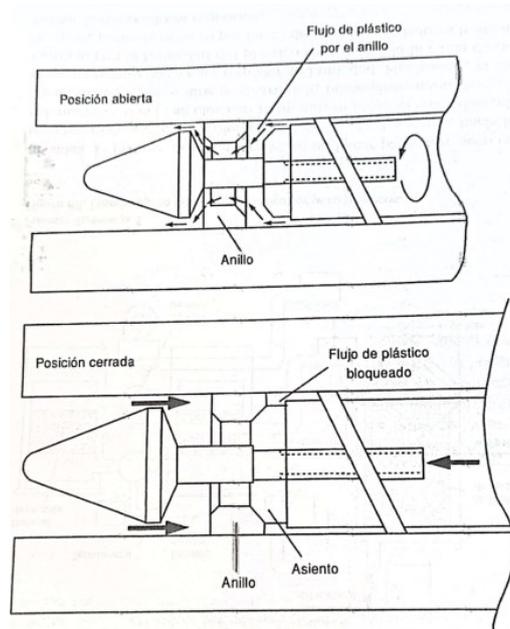


Figura 65. Válvula antirretorno de anillo [10].

Por otro lado, se tiene la válvula de bola, la cual, cuenta con una bola que funciona de cierre, figura 66. El material incorporado se puede mover libremente sin provocar calor excesivo, una de las ventajas es que estas máquinas son sencillas al momento de realizar su mantenimiento. A pesar de ello, su funcionamiento puede verse interrumpido por el atasco de materiales al no cerrarse la válvula correctamente, provocando defectos y mala calidad de la pieza moldeada [10].

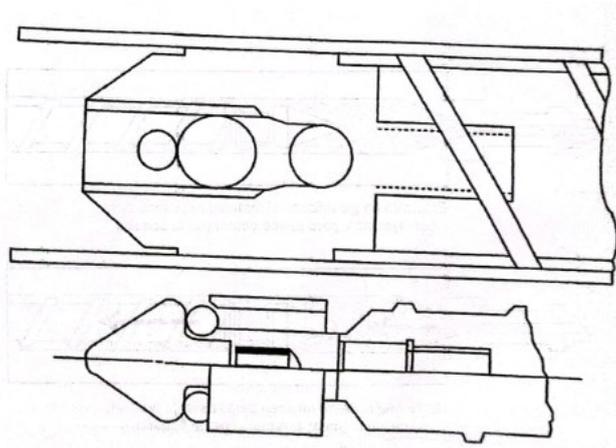


Figura 66. Válvula antirretorno de bola [10].

3.8. Selección de materiales para moldes de inyección plástica

En base al estudio realizado de los materiales para moldes es posible seleccionar varios aceros de larga duración sin encarecer su fabricación, por lo que se diseña con los materiales expuestos en la tabla 15.

Tabla 15. Materiales seleccionados para el diseño de moldes [17].

Parte	Material
Cavidades	Acero AISI – P20
Placas principales	Acero AISI - 1045
Estructura del molde	Acero AISI - 1018
Guías y bujes	Acero AISI - 4340

CAPÍTULO IV

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE MOLDE DE INYECCIÓN

4.1. Aspectos principales del diseño del molde.

4.1.1. Cavidades

Corresponde a la superficie exterior e interior del producto que se desea producir en serie, mediante procesos de inyección de plástico, es decir, aquella que está conformada por el espacio que queda al inyectar la pieza para tomar su forma adecuada. Las cavidades pueden estar formadas, en uno o varios bloques porta cavidades, los cuales quedan inmóviles en una placa de sujeción. Se debe considerar que el material a inyectar sufrirá contracciones al momento de enfriarse, para ello las dimensiones de la o las cavidades deben ser superiores a la pieza terminada, sin estas consideraciones no se obtendrá finalmente el producto con las dimensiones adecuadas [16].

Cabe mencionar que existen procesos para definir el número de cavidades como:

- Demanda y/o flujo de venta
- Capacidad de la máquina inyectora

Para nuestro caso de estudio se ha definido el número de cavidades, mediante la capacidad de la máquina inyectora, por lo que es posible definirse mediante la siguiente fórmula:

$$N = \frac{0.7 \cdot \text{Capacidad de inyección [g]} - \text{Peso mazarote y canales [g]}}{\text{Peso de la pieza [g]}} \quad (2)$$

Donde:

N : Número de cavidades [Adimensional].

Además, es necesario recalcar que la capacidad de inyección, se obtiene por el fabricante, generalmente de pruebas que parten de la inyección de poliestireno (PS), por lo que se necesita emplear la siguiente ecuación para su transformación a cualquier otro polímero:

$$\text{Cap. inyección material "x" en un tiro} = \frac{\text{Cap. inyección (PS) en un tiro} \cdot \text{Densidad de "x"}}{\text{Densidad de (Ps)}} \quad (3)$$

Por lo tanto:

➤ **Molde 1 – Productos Internos (Anexo B)**

Máquina inyectora: Información obtenida, a través, del catálogo del fabricante, ver anexo D.

- Fuerza de cierre: 220 [ton].
- Capacidad de inyección en un tiro (PS): 359 [g].

Productos Internos: Información obtenida, a través, del diseño de producto.

- Peso mazarota y canales: 22 [g].
- Peso piezas: 56 [g].

Resolución:

$$\text{Cap. inyección del material "x" en un tiro} = \frac{\text{Cap. inyección de (PS) en un tiro} \cdot \text{Densidad de "x"}}{\text{Densidad de (Ps)}}$$

$$\text{Cap. inyección del material [PC] en un tiro} = \frac{(359 \text{ g}) \cdot \left(1.20 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)}{\left(1.07 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)}$$

$$\text{Cap. inyección del material [PC] en un tiro} = 402.62 [\text{g}]$$

Mediante la aplicación de ecuación (2):

$$N = \frac{0.7 \cdot \text{Capacidad de inyección (g)} - \text{Peso mazarote y canales (g)}}{\text{Peso de la pieza (g)}}$$

$$N = \frac{(0.7) \cdot (402.62 \text{ g}) - (22 \text{ g})}{(56 \text{ g})}$$

$$N = 4.62 \approx 5$$

$$N = 5 \text{ cavidades}$$

∴ a través del cálculo teórico es posible obtener 5 cavidades en el molde considerando que se encuentra trabajando al 70 % de su capacidad y mediante el diseño de los productos internos se ha optado por temas de espacio y funcionalidad 6 cavidades, mismos que son posibles de justificar por la simulación de flujo, que garantiza contar con este número de cavidades (6), debido que las dos últimas piezas son de reducido tamaño y no perjudica sustancialmente al proceso de inyección plástico al que será sometido.

➤ **Molde 2 – Productos Externos (Anexo C)**

Máquina inyectora: Información obtenida, a través, del catálogo del fabricante.

- Fuerza de cierre: 220 [ton].
- Capacidad de inyección en un tiro (PS): 359 [g].

Productos Externos: Información obtenida, a través, del diseño de producto.

- Peso mazarota y canales: 28 [g].
- Peso piezas: 46 [g].

Así, se define el número de cavidades para el molde de productos externos, donde:

Resolución:

$$\text{Cap. inyección del material "x" en un tiro} = \frac{\text{Cap. inyección de (PS) en un tiro} \cdot \text{Densidad de "x"}}{\text{Densidad de (Ps)}}$$

$$\text{Cap. inyección del material [PC] en un tiro} = \frac{(359 \text{ g}) \cdot \left(1.20 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)}{\left(1.07 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)}$$

$$\text{Cap. inyección del material [PC] en un tiro} = 402.62 [\text{g}]$$

Mediante la aplicación de ecuación (2):

$$N = \frac{[0.7 \cdot \text{Capacidad de inyección (g)}] - \text{Peso mazarote y canales (g)}}{\text{Peso de la pieza (g)}}$$

$$N = \frac{(0.7) \cdot (402.62 \text{ g}) - (28 \text{ g})}{(46 \text{ g})}$$

$$N = 5.52 \approx 6$$

$$N = 6 \text{ cavidades}$$

∴ a través del cálculo teórico es posible obtener 6 cavidades en el molde, considerando que se encuentra trabajando al 70 % de su capacidad, pero mediante el diseño de los productos externos en el molde se obtiene una desventaja muy importante en el espacio entre columnas, debido a que el sistema de expulsión mecánico previsto, limita el espacio físico de la ubicación del molde en la máquina inyectora, además, que incrementaría la demanda de la presión de inyección la hora de adoptar la forma en las cavidades.

4.1.2. Tiempos de ciclo

Permite definir el promedio de trabajo que se demora en obtener el producto deseado, en el que considera rentabilidad y costos a la hora de satisfacer la demanda [10].

A continuación, se indican los tiempos que intervienen en el ciclo de inyección y como calcularlos teóricamente:

➤ **Tiempo de inyección (t_i)**

Conocido por tiempo de llenado del molde.

$$t_i = \frac{\text{Peso de las piezas con canales y mazarote [g]}}{\text{Capacidad de inyección } \left[\frac{\text{g}}{\text{s}} \right]} \quad (4)$$

➤ **Tiempo de presión de sostenimiento (t_p).**

Conocido en el procesamiento de plástico como tiempo de retención que se caracteriza por empujar y presionar al plástico para que adopte adecuadamente la forma de la cavidad, este tiempo puede variar por la experiencia del operador, además que depende mucho de las características físicas del producto a la hora de ser inyectado [10].

➤ **Tiempo de plastificación (t_f)**

Se especifica como el tiempo necesario para la fusión del material.

$$t_f = \frac{\text{Peso de las piezas con canales y mazarote [g]}}{\text{Capacidad de plastificación } \left[\frac{\text{g}}{\text{s}} \right]} \quad (5)$$

➤ **Tiempo de enfriamiento (t_s)**

$$t_s = \frac{-(s^2)}{2 \cdot \pi \cdot \infty} \cdot \ln \left[\frac{\pi \cdot (T_x - T_m)}{4 \cdot (T_c - T_m)} \right] \quad (6)$$

Donde:

s : Espesor de las paredes de la pieza [cm]

∞ : Difusividad térmica del material [$\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]

T_c : Temperatura del material fundido [°C]

T_m : Temperatura de molde [°C]

T_x : Temperatura del desmoldeo [°C]

➤ **Tiempo aproximado del recorrido del plato móvil (t_v)**

Se especifica como el tiempo necesario que tiene el plato móvil que sujeta el sistema de expulsión del molde. Este valor está sujeto tanto a las especificaciones de la máquina como a la experiencia del operador a la hora de ajustar los parámetros.

$$t_v = 5 [s] \rightarrow \text{Valor previsto por experiencia}$$

Partiendo de las propiedades del material “Policarbonato” y con las especificaciones de la máquina inyectora, anexo D, se logra definir los siguientes valores para hallar los tiempos de ciclo de inyección para los dos moldes diseñados, los mismos que poseen un espesor máximo de las paredes las piezas (s) de 0.24 [cm] para piezas internas y 0.30 [cm] para piezas externas.

Especificaciones PC:

$$\alpha = 1.47 \cdot 10^{-3} \left[\frac{\text{cm}^2}{s} \right]$$

$$T_c = 300 [^\circ C]$$

$$T_m = 90 [^\circ C]$$

$$T_x = 130 [^\circ C]$$

Especificaciones de máquina:

$$\text{Capacidad de inyección (Ps)} = 130 \left[\frac{g}{s} \right]$$

$$\text{Capacidad de plastificación (Ps)} = 22.17 \left[\frac{g}{s} \right]$$

$$\text{Tiempo de presión de sostenimiento} = 4 [s]$$

Cabe mencionar que el aforo de inyección y plastificación de la inyectora lo especifica el fabricante, siendo este un valor predeterminado a partir de pruebas de inyección con el poliestireno, es decir, se debe encontrar en función del polímero a utilizar, siendo el policarbonato (PC) con una densidad de $1.20 [g \cdot \text{cm}^{-3}]$ y del poliestireno es de $1.07 [g \cdot \text{cm}^{-3}]$. A partir, de la información proporcionada de la capacidad de inyección y plastificación de cualquier polímero que se desee conocer, se debe considerar la transformación con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Cap. de inyección del material "x"} = \text{Cap. de inyección del PS} \cdot \frac{\text{densidad de "x"}}{\text{densidad de PS}} \quad (7)$$

$$\text{Cap. plastificación del material "x"} = \text{Cap. plastificación del PS} \cdot \frac{\text{densidad de "x"}}{\text{densidad de PS}} \quad (8)$$

A continuación, se indica las capacidades reales de la máquina inyectora para el material policarbonato.

$$\text{Capacidad de inyección PC} = 145.8 \left[\frac{\text{g}}{\text{s}} \right]$$

$$\text{Capacidad de plastificación PC} = 24.86 \left[\frac{\text{g}}{\text{s}} \right]$$

Al utilizar las ecuaciones previstas se logra hallar los tiempos de ciclo para el primer molde (piezas internas) y para el segundo molde (piezas externas).

➤ **Tiempos de ciclo molde de piezas internas:**

$$t_i = 0.54 \text{ [s]}$$

$$t_p = 4 \text{ [s]}$$

$$t_f = 3.14 \text{ [s]}$$

$$t_s = 11.84 \text{ [s]}$$

$$t_v = 5 \text{ [s]}$$

Se logra determinar el tiempo total de ciclo de inyección para este molde a partir mediante la ecuación (9).

$$t_i = t_i + t_s + t_v \quad (9)$$

$$\text{Tiempo de ciclo} = 17.92 \text{ [s]} \approx 18 \text{ [s]}$$

➤ **Tiempos de ciclo molde de piezas externas:**

$$t_i = 0.51 \text{ [s]}$$

$$t_p = 4 \text{ [s]}$$

$$t_f = 2.98 \text{ [s]}$$

$$t_s = 18.51 \text{ [s]}$$

$$t_v = 5 \text{ [s]}$$

Se logra determinar el tiempo total de ciclo de inyección para este molde a partir de la ecuación (9).

$$\text{Tiempo de ciclo} = 23.92 \text{ [s]} \approx 24 \text{ [s]}$$

4.1.2.1. Capacidad de producción y volumen de producción

Al conocer el tiempo estimado de inyección del producto para cada molde, se logra determinar la capacidad de producción, al establecer que se dispone de una cantidad de horas de producción de la máquina inyectora de 24 horas diarias debido a que su funcionamiento es continuo sin ningún tipo de descanso, a excepción de:

- Tiempo aproximado de calentamiento de máquina= 1[h]
- Tiempo de montaje de molde= 1 [h]
- Ajuste de parámetros para el primer molde: 1 [h]
- Cambio de molde= 1[h]
- Ajuste de parámetros para el segundo molde: 1[h]

Teniendo en cuenta estos parámetros es posible deducir la capacidad de producción por la siguiente ecuación:

$$\text{Cap. producción} = \frac{\text{horas disponibles} - \text{horas de activación del proceso}}{\text{tiempo que tarda para 1 disparo}} \quad (10)$$

Plasmando que la capacidad de producción del producto se realiza en 5 días, se obtiene:

$$\text{Cap. producción} = \frac{120 \text{ [h]} - 5 \text{ [h]}}{\left(21 \text{ s} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right)}$$
$$\text{Cap. producción} = 19714.29 \text{ [disparos disponibles]}$$

De esta manera, se conoce que la capacidad de producción para obtener el producto tomacorriente es 19 714 tomacorrientes debido que los moldes para las diferentes piezas cuentan con 2 cavidades cada una. Definido de la siguiente forma:

$$2 \text{ disparos} (1 \text{ disparo de p. internos y } 1 \text{ disparo de p. externos}) = 2 \text{ tomacorrientes}$$

A partir de una inversión prevista de \$ 20 450 USD se puede establecer un volumen de producción inicial de 10 000 unidades.

Finalmente, cabe mencionar que el producto tomacorriente para que genere el retorno de inversión es posible vender en un valor mínimo de \$ 0.767 USD únicamente de los productos plásticos del tema de estudio.

4.1.3. Fuerza de cierre del molde.

Aspecto principal en la inyección plástica, se precisa como la fuerza opuesta a la presión de inyección para evitar la apertura del molde. Garantizando un cierre adecuado y evitando derrames del polímero fundido [10].

La ecuación de fuerza de cierre es:

$$FC = FC_m \cdot A_p \quad (11)$$

Donde:

FC_m : Fuerza de cierre del polímero o material [$\text{MN} \cdot \text{m}^{-2}$].

A_p : Área proyectada perpendicular a la unidad de cierre [m^2].

Al calcular la fuerza de cierre teórica con la ecuación (11) se define que FC_m para el policarbonato según Sánchez et al. [10] es aproximadamente $67.93 \text{ [MN} \cdot \text{m}^{-2}]$. Además, según el diseño de la superficie para el primer molde de piezas internas del tomacorriente el área proyectada es $0.022 \text{ [m}^2]$.

La fuerza de cierre teórica para el molde de piezas internas (Anexo B) es de:

$$FC = 1.4945 \text{ [MN]}$$

$$FC = 152.39 \text{ [ton]}$$

Con respecto al segundo molde de piezas externas (Anexo C) del tomacorriente se precisa que el área proyectada es de $0.02035 \text{ [m}^2]$ respectivamente, para calcular la fuerza de cierre del molde de productos externos.

$$F = 1.3824 \text{ [MN]}$$

$$F = 140.97 \text{ [ton]}$$

4.1.4. Enfriamiento del molde

Es un proceso mediante el cual la pieza consigue llegar a una temperatura adecuada que le permite refrigerar la pieza moldeada. Este proceso básico es muy importante debido que influye en el ciclo de moldeo. El control de temperatura es fundamental para el aspecto del molde, mientras más caliente se encuentre, mayor será el tiempo de enfriamiento para poderse

solidificar y desmoldear. La temperatura es directamente proporcional al tipo de polímero, el flujo que atraviesa la cavidad, el espesor de la pared del molde, entre otros factores [16].

Se recomienda que el flujo en los canales de refrigeración sea turbulento para garantizar el adecuado enfriamiento del molde [17]. Comúnmente se refrigera los moldes con agua, salmuera o aceite.

Al elegir agua como agente de refrigeración se procede a calcular si pertenece a flujo laminar o turbulento, a partir de Reynolds se asegura que el molde se enfríe correctamente:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot \rho \cdot D}{\eta} \quad (12)$$

Donde:

v : Velocidad del agua [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].

ρ : Densidad del agua [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

D : Diámetro del canal de refrigeración [m]

η : Viscosidad dinámica del agua [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$]

Partiendo que el fluido es agua a temperatura ambiente (20 °C), el cual es suministrado mediante una bomba de agua que entrega un caudal de $6.67 \cdot 10^{-4}$ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], por tuberías de 1/2'' (0.0127 m) se determina la velocidad del fluido con la ecuación presentada a continuación:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (13)$$

$$A = d^2 \cdot \frac{\pi}{4} \quad (14)$$

Donde:

Q : Caudal de alimentación del fluido [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

A : Área transversal del ducto [m^2]

d : Diámetro del ducto [m]

Al conocer los datos anteriormente mencionados se halla la velocidad del fluido:

$$A = 1.2667 \cdot 10^{-4} \left[\text{m}^2 \right]$$

$$v = 5.265 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Y se procede hallar el número de Reynolds teórico para el flujo de refrigeración del molde con agua a temperatura ambiente, misma que posee una densidad de 998.20 [$\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$] y una

viscosidad dinámica 0.001003 [Kg·m⁻¹·s⁻¹]. Con un diámetro de refrigeración de 8 [mm] (0.008 m), recomendado por Sánchez et al. [10] para piezas con espesor de pared < 4 [mm].

$$Re = 41918.42$$

Se conoce que el número de Reynolds cumple con la condición $Re > 4000$, por lo que el flujo es “turbulento”.

4.2. Simulación de moldes de inyección

Dentro del *software* de diseño permite modelar, a través, de una interfaz CAD (Diseño asistido por computador), que genera la posibilidad de crear diferentes cuerpos tridimensionales que facilitan un análisis del sistema cuya producción sea cíclica o en serie, el objetivo en este proceso es obtener un producto terminado que para nuestro caso de estudio es la obtención del producto tomacorriente NEMA 5-15R. Estos resultados son proporcionados mediante una configuración específica de ensamble que parten de relaciones que fomentan la ubicación de cada uno de los cuerpos sólidos para cumplir una función dentro del molde.

El *software* Autodesk Inventor Professional 2021 utiliza un método de análisis numérico conocido como método de elementos finitos por sus siglas “*FEM - Finite Element Method*”, que se introduce en la aplicación como FEA “Análisis de elementos finitos”, el que puede pronosticar resultados del comportamiento físico del producto como:

- Firmeza mecánica
- Oscilación mecánica
- Agotamiento
- Movimiento
- Transferencia de calórica
- Flujo de fluidos
- Electrostática
- Moldeo por inyección

4.2.1. Esfuerzo mecánico

Corresponde a la aplicación de magnitudes de fuerza sobre las áreas del cuerpo a la que se somete una carga específica. Dentro del análisis de simulación intervienen de manera estricta nodos que son puntos donde se conectan los elementos finitos, a este grupo de elementos y

nodos se conoce como malla de la estructura, permitiendo conocer análisis estructurales facilitando la obtención de estudios de tensiones, desplazamiento y deformaciones [31].

Las ecuaciones mandatorias en este tipo de análisis el *software* emplea las siguientes:

Análisis lineal

$$[K]\{U\} = \{F\} \quad (15)$$

Donde:

K : Matriz de rigidez tangente global.

U : Vector de desplazamiento global.

F : Vector de carga global.

Análisis no lineal

$$[K(U)]\{\Delta U\} = \{\Delta F\} \quad (16)$$

Donde:

ΔU : Vector de desplazamiento incremental global.

ΔF : Vector de carga incremental global.

A continuación, se detalla el estudio que necesita la parte estructural de un molde a la hora de ejecutar su diseño y posterior fabricación:

- Tensión Von Mises

La teoría de fluencia de Von Mises es también conocido como criterio de energía de distorsión máxima, la cual determina las condiciones de fluencia isotrópica en metales muy dúctiles y de tensión plana [32].

- Desplazamiento

Aplicando la tensión de Von Mises, las placas del molde experimentan un cambio de forma, haciendo que este llegue a deformarse al cruzar el límite elástico del material del molde [33].

- Coeficiente de seguridad y/o factor de seguridad

Número adimensional que predice el colapso del material, es decir, al superar el límite elástico se traslada al dominio plástico.

4.2.2. Moldeado por inyección de plástico

Aquí se definen análisis dinámicos y/o de fluidos basándose principalmente en las ecuaciones de Navier - Stokes, que hacen referencia a los movimientos de un fluido viscoso, donde se aplica ecuaciones de la conservación de masa, momentum y volumen [31].

Conservación de masa

$$\frac{\delta\rho}{\delta t} + \nabla \cdot (\rho V) = 0 \quad (17)$$

Donde:

ρ : Es la densidad del polímero

t : Tiempo

V : Es el vector de velocidad

Conservación de momentum

$$\rho \frac{DV}{Dt} = -\nabla P + \nabla \cdot \tau + \rho g \quad (18)$$

Donde:

P : Es la presión

τ : Es tensor de tensión viscoso

g : Vector de aceleración gravitacional

Conservación de la energía

$$\rho C_p \frac{DT}{Dt} = \nabla \cdot (k \nabla T) + \tau \cdot \nabla V + \beta T \frac{DP}{Dt} \quad (19)$$

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\delta p}{\delta T} \quad (20)$$

Donde:

k : Conductividad térmica del polímero

C_p : Capacidad calorífica específica de la masa fundida

β : Expansividad del polímero

Dicho método facilita obtener la simulación respecto a:

- **Tiempo de llenado**

Predicción del tiempo total de inyección y llenado del molde, desde su inicio en la boquilla hasta albergar todo el material en las cavidades.

- **Flujo de plástico**

Visualización del comportamiento y recorrido del material fundido al recorrer el molde, iniciando en el bebedero hasta el final de las cavidades que conforman el o los productos.

- **Confianza de llenado**

Facilidad de llenado del molde, bajo criterios de parámetros de inyección y propiedades del material.

- **Predicción de calidad**

Previsualización de los sectores o lugares de la cavidad donde pueden acoger acabados superficiales diferentes a lo largo del proceso de inyección.

- **Atrapamiento del aire**

Se refiere a la posibilidad de que los respiraderos no evacuen correctamente el aire del interior de la cavidad produciendo defectos de inyección, como: quemado, rechupes, entre otros, provocando zonas de poca rigidez y mala apariencia.

- **Líneas de soldadura**

Efecto provocado en el flujo del material, que al encontrarse con una pared opuesta u obstáculo al flujo no permita extenderse correctamente y da lugar a las líneas de soldadura (unión de diferentes capas plásticas) [16].

4.3. Simulación estática de moldes de producto tomacorriente NEMA 5-15R.

Una simulación estática se caracteriza por encontrarse en un sistema que no depende específicamente del tiempo por lo que es posible aplicar fuerzas, presiones, torques, que garantizan posibles fallas previo a una construcción y/o producción en serie.

Por esta razón se procede a analizar las partes o piezas críticas de mayor contacto a la hora de iniciar el procesamiento del plástico. Dichas partes o piezas críticas en los moldes de mayor contacto son:

- Placa cavidad inyección (Lado fijo).
- Placa cavidad botación (Lado móvil).

4.3.1. Molde de inyección productos internos (Anexo B)

Previo a la simulación del molde de productos internos es necesario indicar ciertas características o valores de entrada que se requirieren a la hora del preprocesamiento de la simulación como se detallan en las tablas 16 y 17.

Tabla 16. Condiciones de borde para análisis estático tanto para placa cavidad inyección lado fijo como para placa cavidad botación lado móvil.

Variable	Configuración
Material	Acero, carbono
Restricciones	1 (Fija)
Carga de fuerza	1478352.49 N

Tabla 17. Condiciones de borde para análisis estático tanto para placa cavidad inyección lado fijo como para placa cavidad botación lado móvil – malla.

Variable	Configuración
Tamaño intermedio de cuerpo	0.1
Tamaño pequeño de cuerpo	0.2
Factor de modificación	1.5
Inclinación de giro mayor	60 °

Además, se indica un pequeño proceso donde se introducen los datos expuestos en las tablas 16 y 17 en el *software* utilizado en la figura 67.

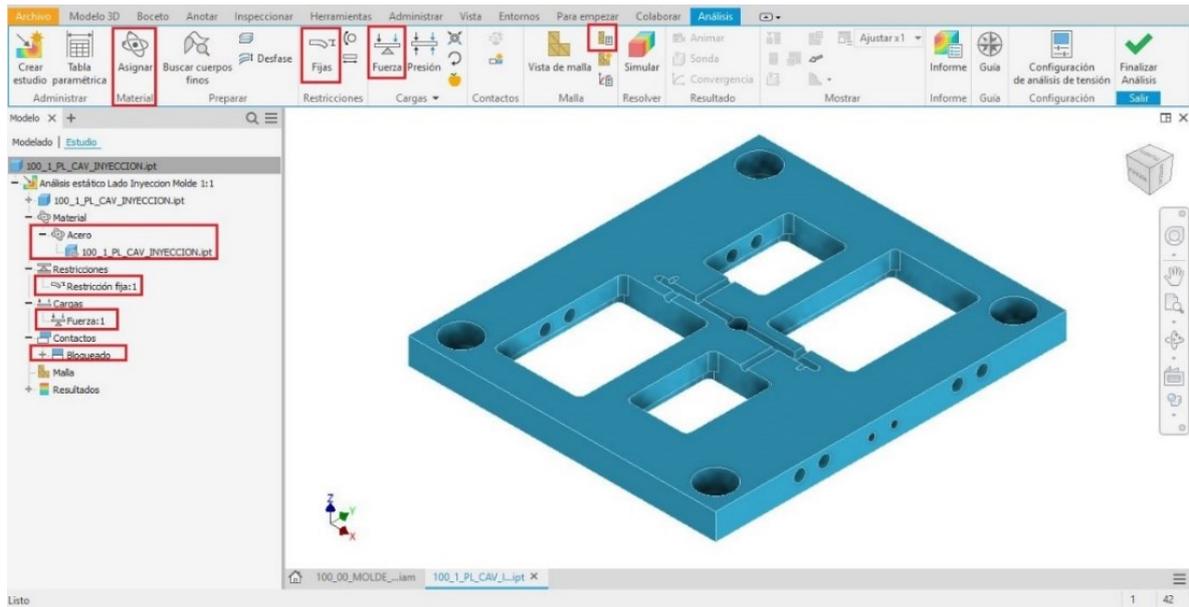


Figura 67. Proceso de introducción de parámetros de análisis estático según tabla 16 y 17 mediante *software* Autodesk Inventor Professional 2021.

4.3.1.1. Placa cavidad inyección (Lado fijo)

- Tensión de Von Mises

Nodos:41725
 Elementos:25219
 Tipo: Tensión de Von Mises
 Unidad: MPa
 24/2/2022, 17:37:09
 65,85 Máx.
 52,74
 39,63
 26,51
 13,4
 0,29 Mín.

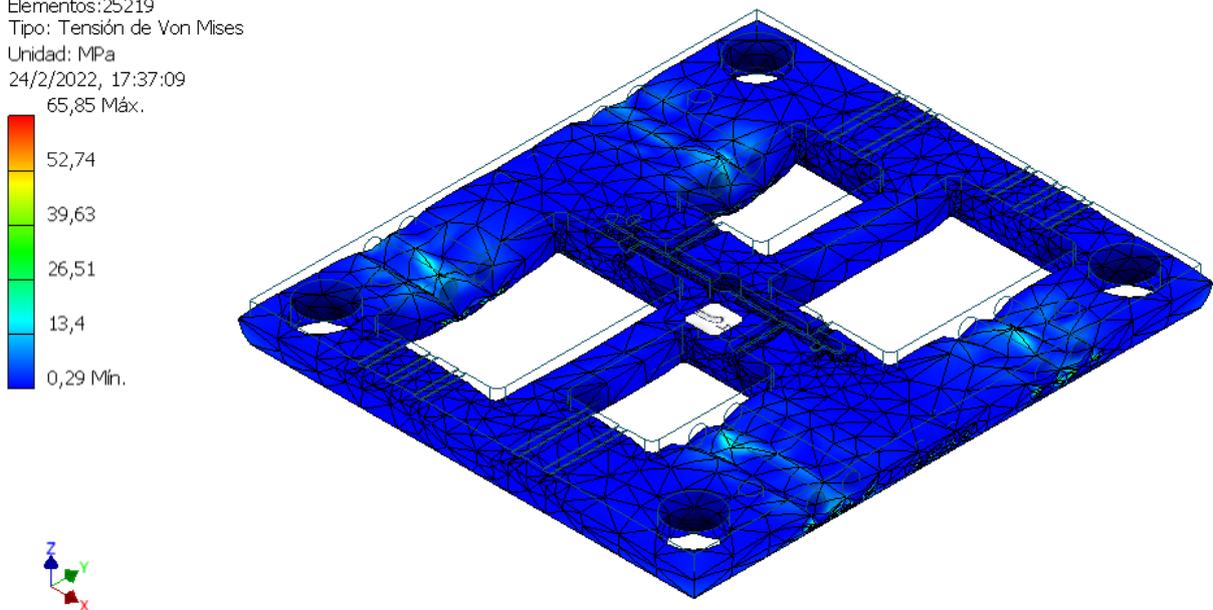


Figura 68. Análisis por tensión de Von Mises – Placa principal lado inyección.

- Desplazamiento

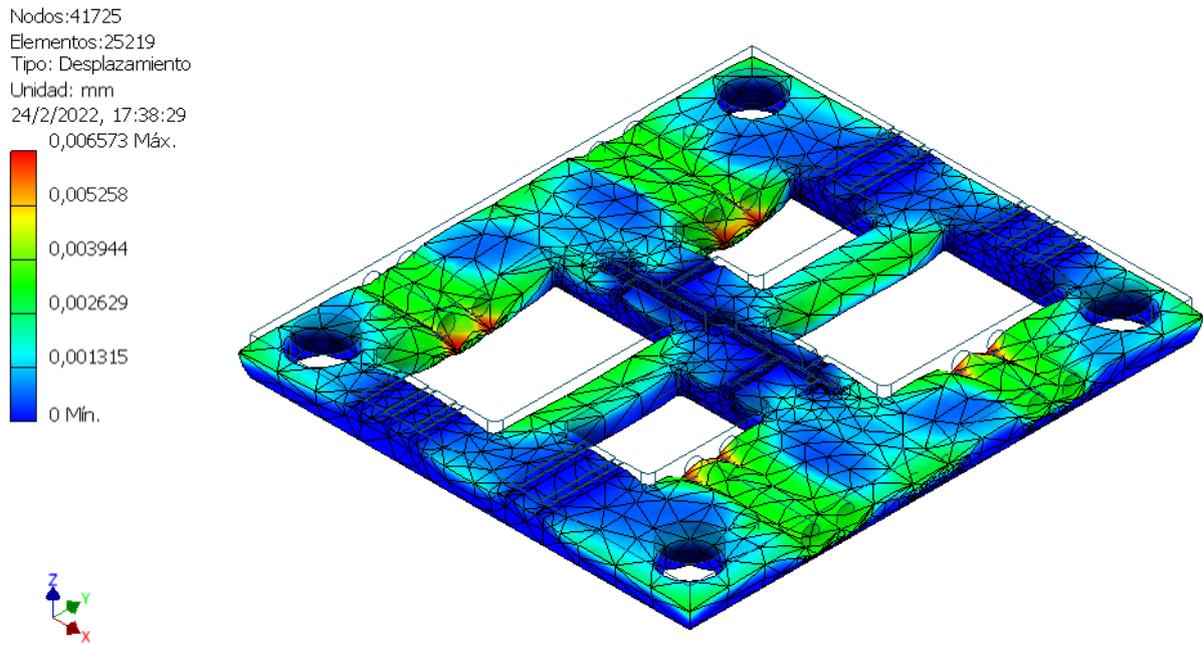


Figura 69. Análisis de desplazamiento – Placa principal lado inyección.

- Coeficiente de seguridad

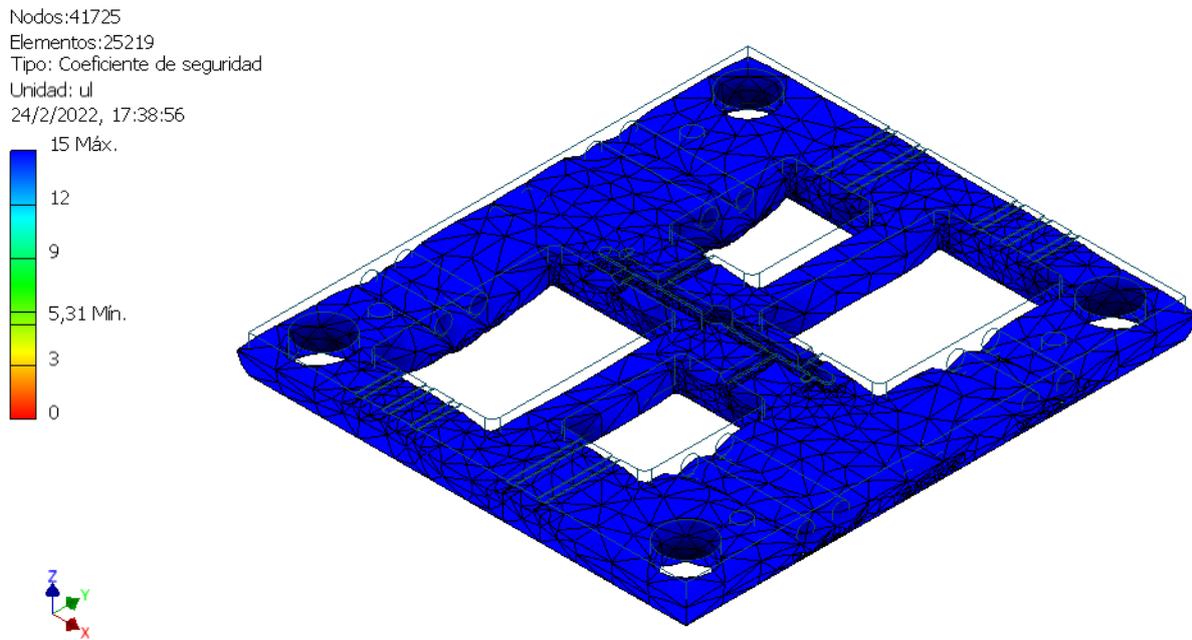


Figura 70. Análisis de coeficiente de seguridad – Placa principal lado inyección.

4.3.1.2. Placa cavidad botación (Lado móvil).

- Tensión de Von Mises

Nodos: 29665
Elementos: 17843
Tipo: Tensión de Von Mises
Unidad: MPa
24/2/2022, 17:41:30
74,75 Máx.

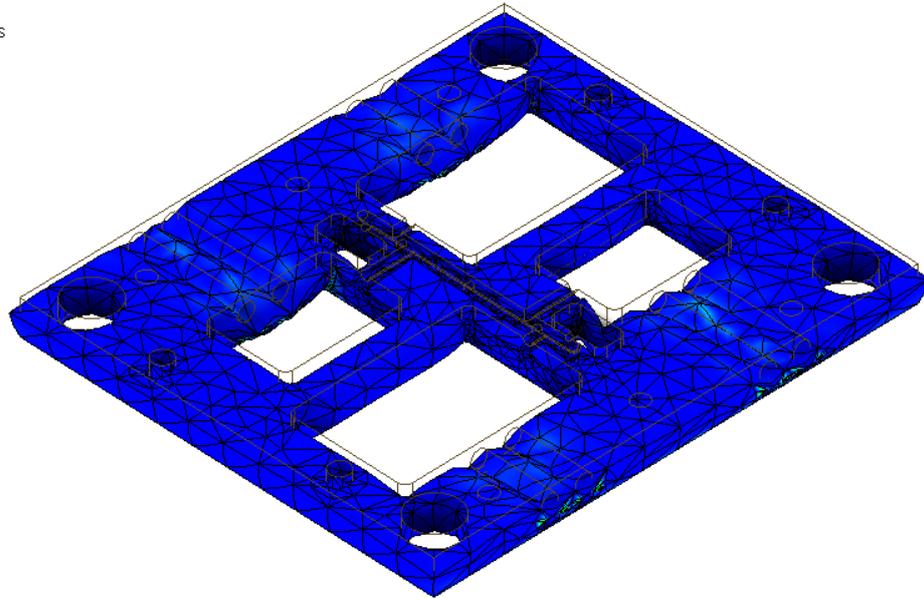
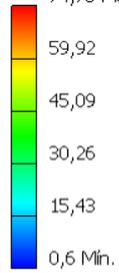


Figura 71. Análisis de tensión de Von Mises – Placa principal lado botación.

- Desplazamiento

Nodos: 29665
Elementos: 17843
Tipo: Desplazamiento
Unidad: mm
24/2/2022, 17:41:58
0,007063 Máx.

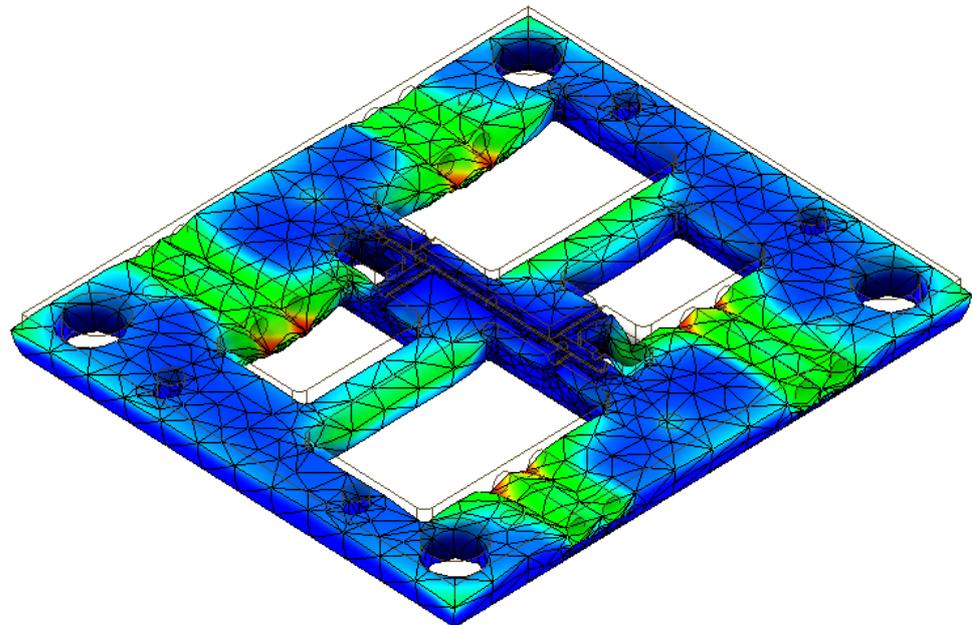
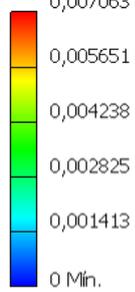


Figura 72. Análisis de desplazamiento – Placa principal lado botación.

- Coeficiente de seguridad

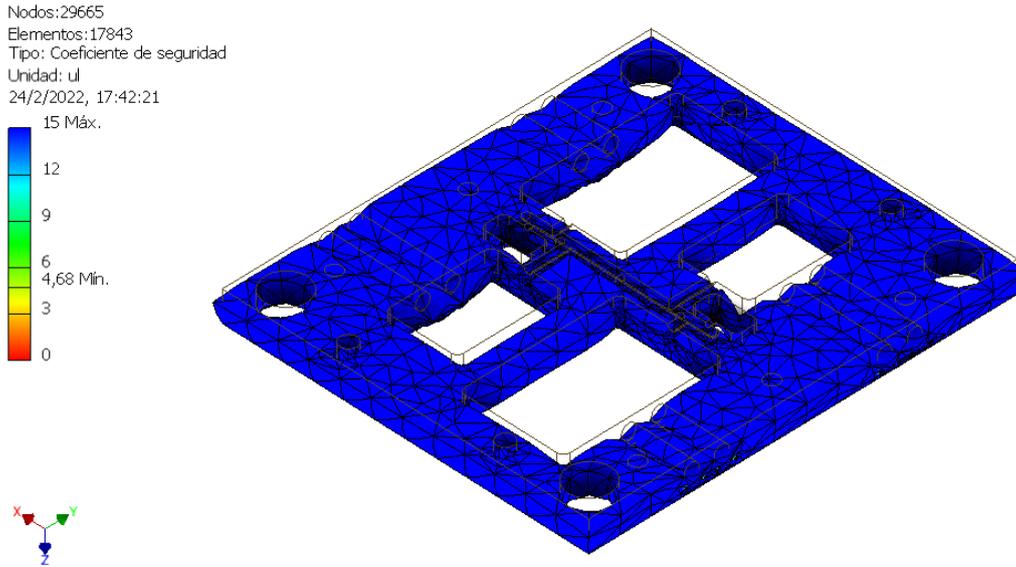


Figura 73. Análisis del coeficiente de seguridad – Placa principal lado botación.

4.3.2. Molde de inyección productos externos (Anexo C)

Previo a la simulación del molde de productos externos, es necesario indicar ciertas características o valores de entrada que se requirieren a la hora del preprocesamiento de la simulación como se detallan en las tablas 18 y 19.

Tabla 18. Condiciones de borde para análisis esttico tanto para placa cavidad inyección lado fijo como para placa cavidad botación lado móvil.

Variable	Configuración
Material	Acero, carbono
Restricciones	1 (Fija)
Carga de fuerza	1580341.65 N

Tabla 19. Condiciones de borde para análisis esttico tanto para placa cavidad inyección lado fijo como para placa cavidad botación lado móvil – malla.

Variable	Configuración
Tamaño intermedio de cuerpo	0.1
Tamaño pequeño de cuerpo	0.2
Factor de modificación	1.5
Inclinación de giro mayor	60 °

Además, se indica un pequeño proceso donde se introducen los datos expuestos en las tablas 18 y 19 en el *software* utilizado en la figura 74.

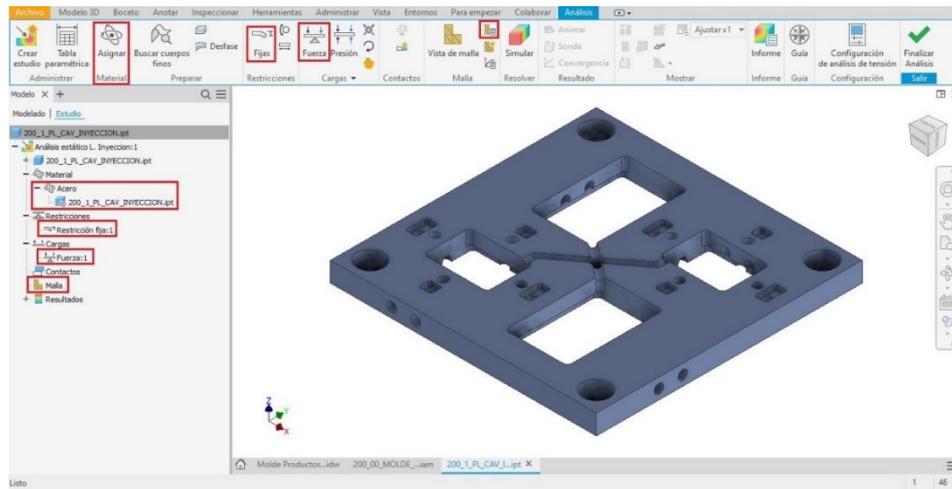


Figura 74. Proceso de introducción de parámetros de análisis estático según tabla 18 y 19 mediante *software* Autodesk Inventor Professional 2021.

4.3.2.1. Placa cavidad inyección (Lado fijo)

- Tensión de Von Mises

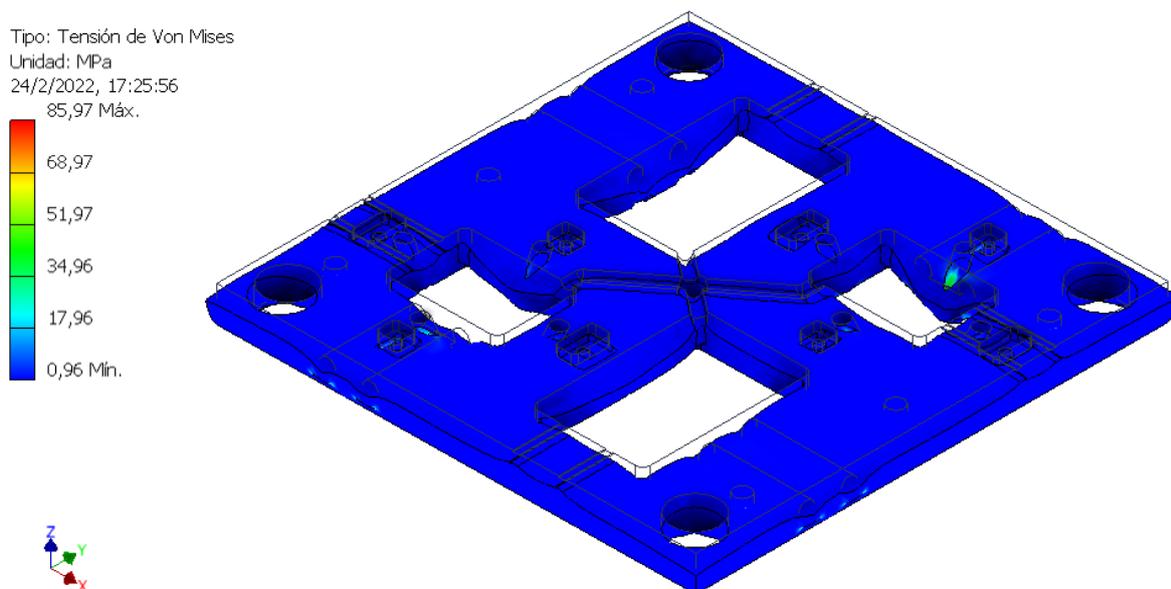


Figura 75. Análisis de tensión de Von Mises – Placa principal lado inyección.

- Desplazamiento

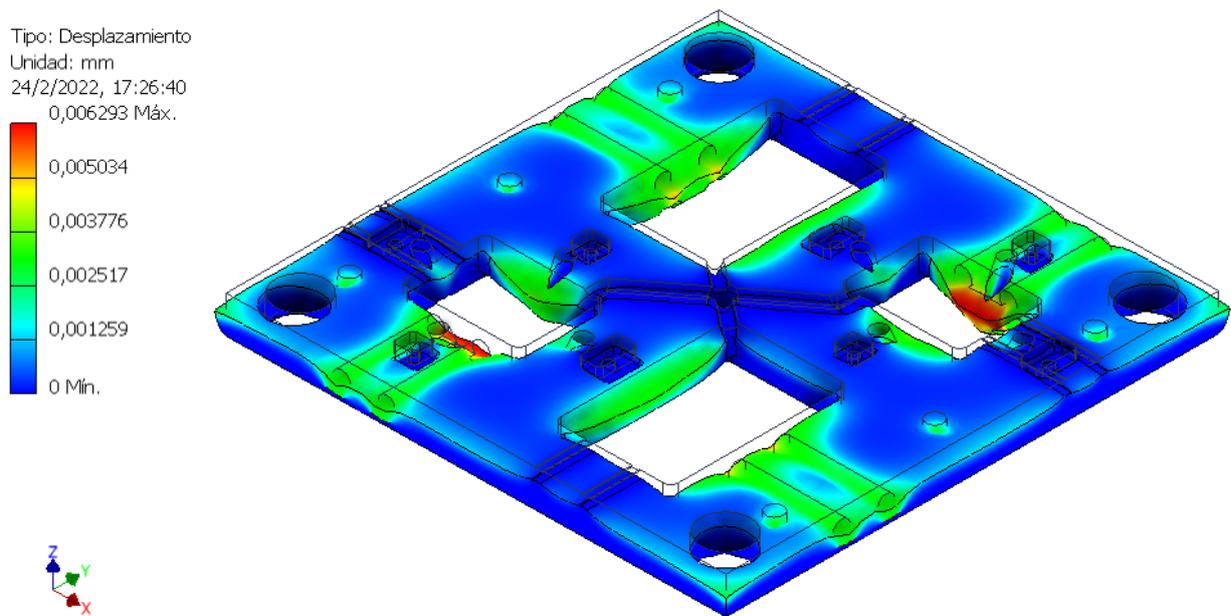


Figura 76. Análisis de desplazamiento – Placa principal lado inyección.

- Coeficiente de seguridad

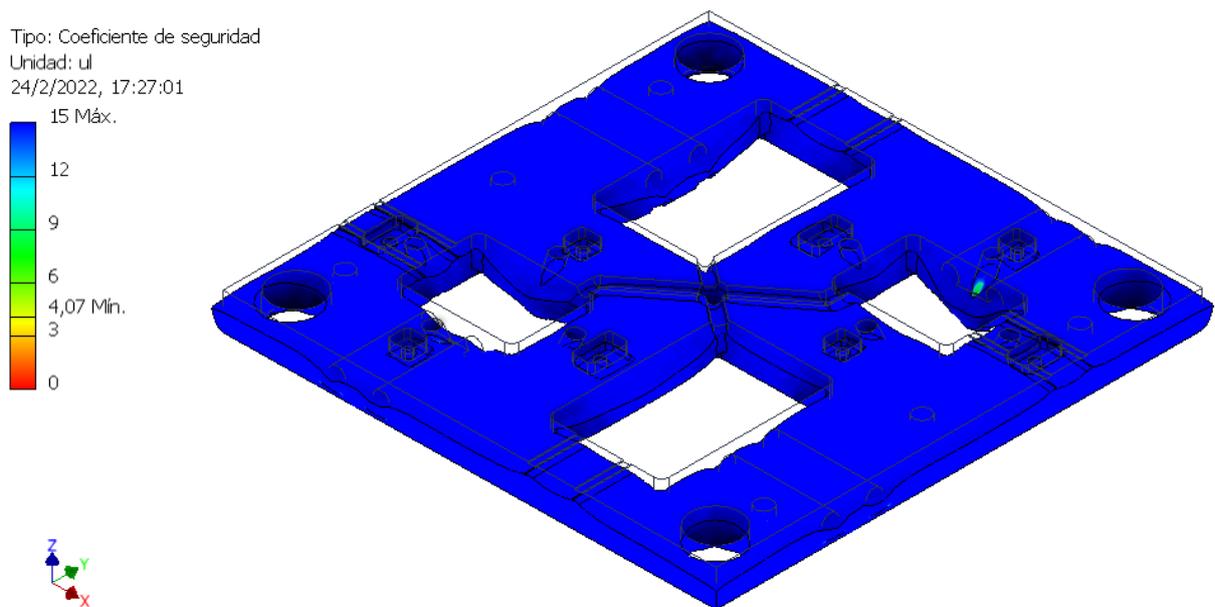


Figura 77. Análisis del coeficiente de seguridad – Placa principal lado inyección.

4.3.2.2. Placa cavidad botación (Lado móvil)

- Tensión de Von Mises

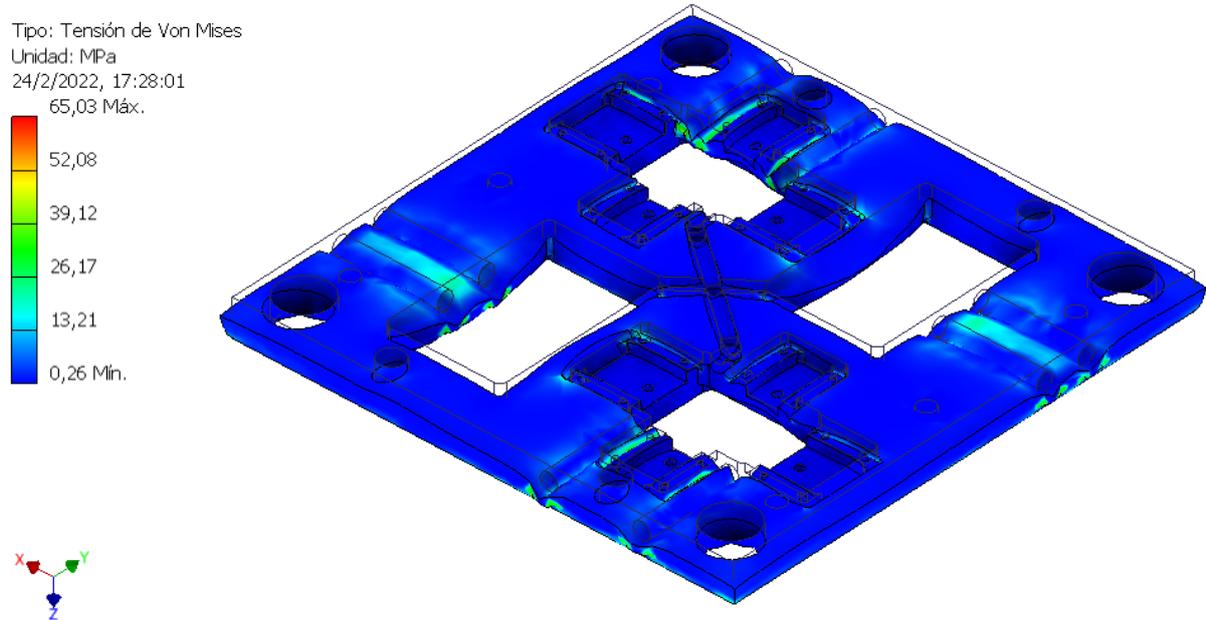


Figura 78. Análisis de tensión de Von Mises – Placa principal lado botación.

- Desplazamiento

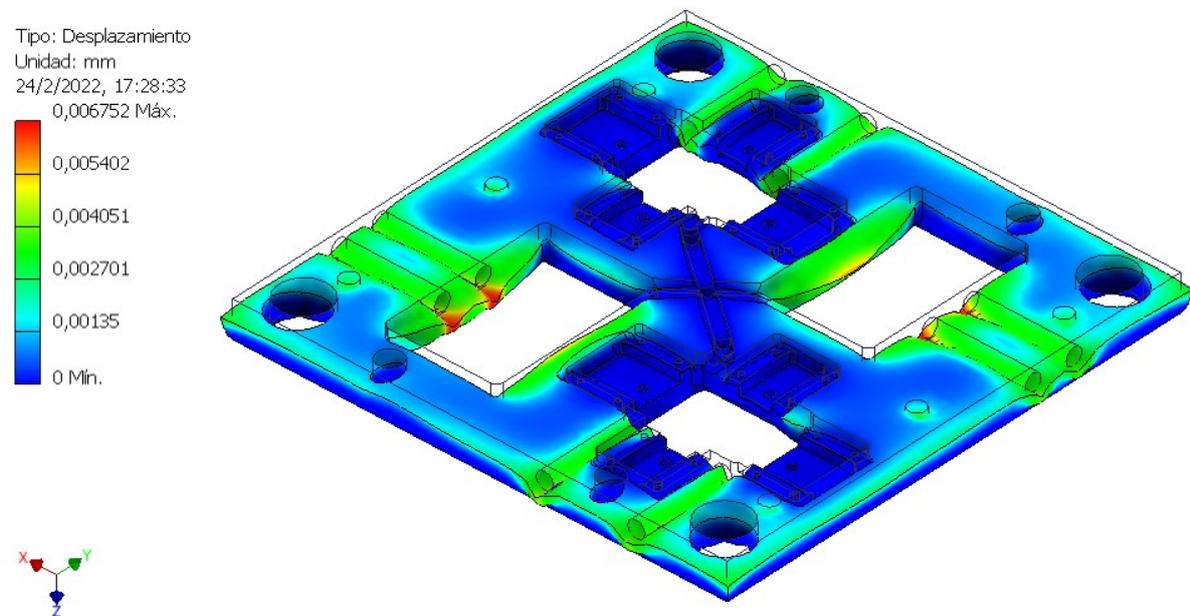


Figura 79. Análisis de desplazamiento – Placa principal lado botación.

- Coeficiente de seguridad

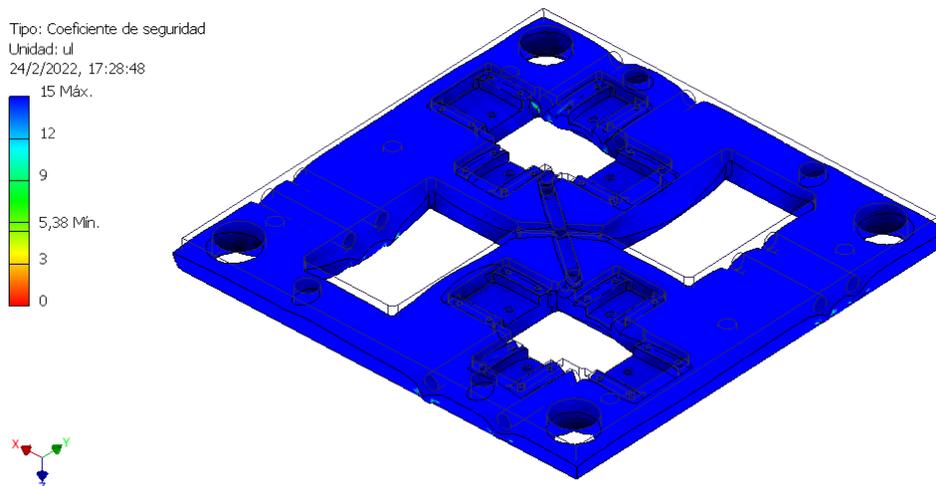


Figura 80. Análisis del coeficiente de seguridad – Placa principal lado botación.

4.3.3. Resultados de la simulación estática de molde de producto tomacorriente NEMA 5-15R

En el presente apartado se desea dar a conocer la compilación general de los resultados obtenidos en la tabla 20 y 21, de la simulación estática de las piezas de mayor contacto a la hora de iniciar un ciclo.

Tabla 20. Resultados obtenidos de la simulación estática para molde de productos internos.

Parte	Variables	Resultados	
		Mínimo	Máximo
Placa cavidad inyección – lado fijo	Tensión de Von	0.29 [MPa]	65.85 [MPa]
	Mises		
	Desplazamiento	-	0.0065 [mm]
	Coeficiente de seguridad	5.31	-
Placa cavidad botación – lado móvil	Tensión de Von	0.6 [MPa]	74.75 [MPa]
	Mises		
	Desplazamiento	-	0.007 [mm]
	Coeficiente de seguridad	4.68	-

Tabla 21. Resultados obtenidos de la simulación estática para molde de productos externos.

Parte	Variables	Resultados	
		Mínimo	Máximo
Placa cavidad inyección – lado fijo	Tensión de Von	0.96 [MPa]	85.97 [MPa]
	Mises		
	Desplazamiento	-	0.006 [mm]
	Coefficiente de seguridad	4.07	-
Placa cavidad botación – lado móvil	Tensión de Von	0.26 [MPa]	65.03 [MPa]
	Mises		
	Desplazamiento	-	0.0067 [mm]
	Coefficiente de seguridad	5.38	-

4.4. Simulación dinámica de producto tomacorriente NEMA 5-15R

La simulación dinámica consiste en emplear un modelo matemático que se encuentra cambiando durante un periodo de tiempo y analiza los problemas más críticos que pueden darse en la inyección de un producto. A continuación, en la tabla 22 se dan a conocer los parámetros previos a la simulación:

Tabla 22. Condiciones de borde para análisis dinámico de moldes productos internos y externos.

Variable	Configuración
Material	Lexan 144: SABIC <i>Innovative Plastics</i> <i>US, LLC</i>
Temperatura del molde	90 [°C]
Temperatura de fusión	300 [°C]
Presión máxima de inyección en equipo	229 [MPa]
Tiempo de apertura de molde	5 [s]

Además, se indica un pequeño proceso donde se introducen los datos expuestos en la tabla 22 en el *software* utilizado en la figura 81 y 82.

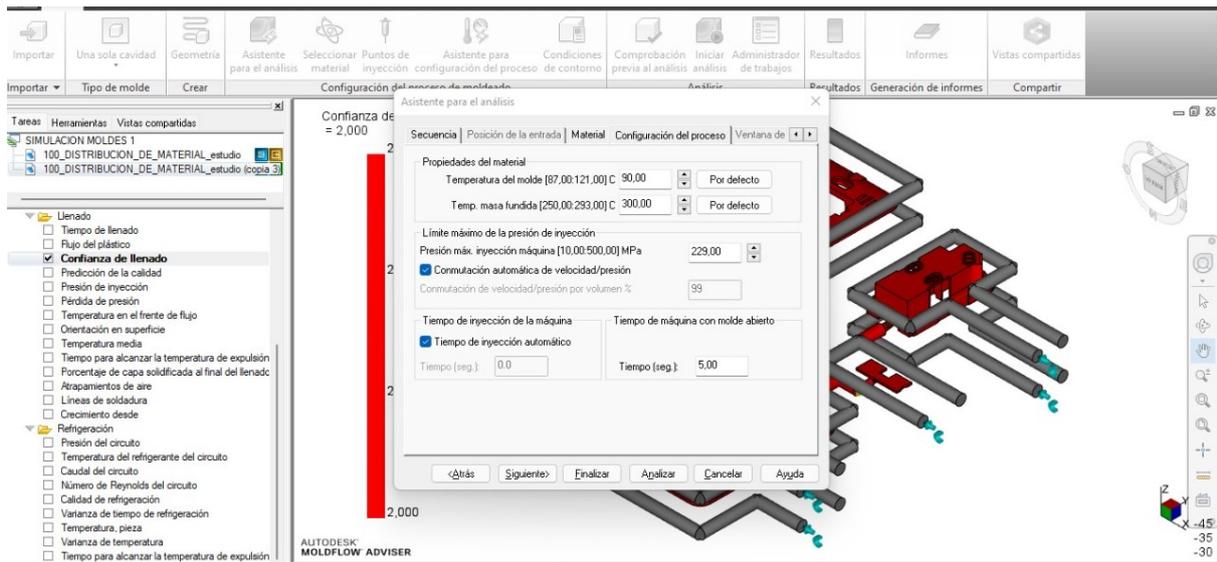


Figura 81. Proceso de introducción de parámetros de análisis dinámico y de flujo según tabla 22 mediante *software* Autodesk MoldFlow Adviser 2021.

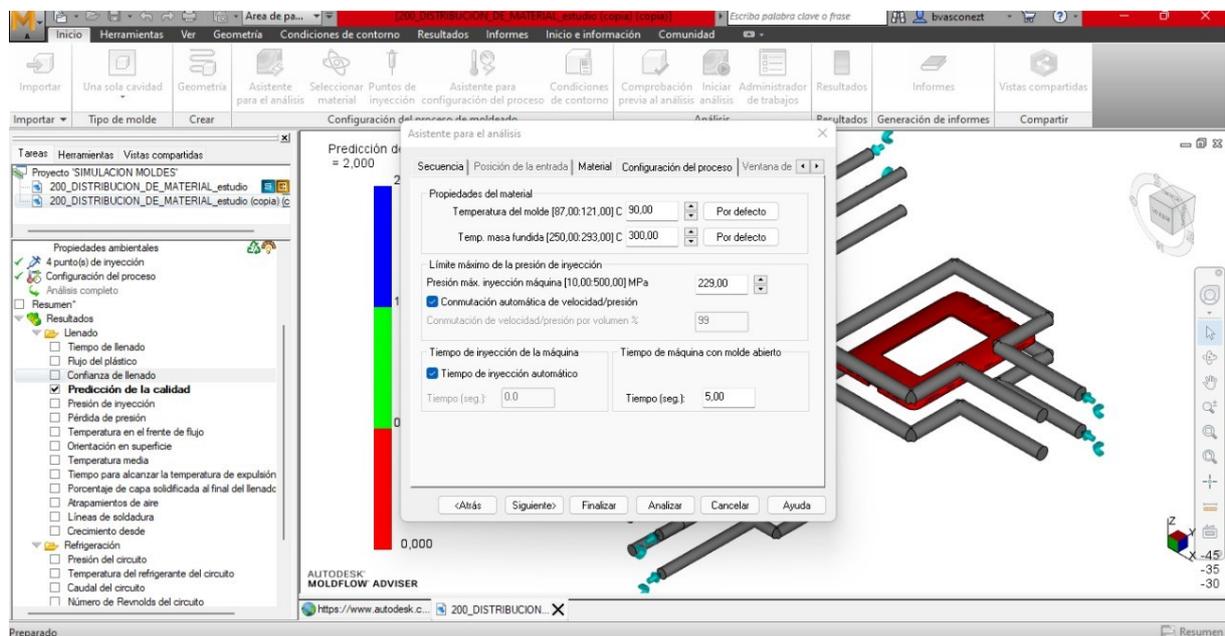


Figura 82. Proceso de introducción de parámetros de análisis dinámico y de flujo según tabla 22 mediante *software* Autodesk MoldFlow Adviser 2021.

4.4.1. Productos internos

- Tiempo de llenado

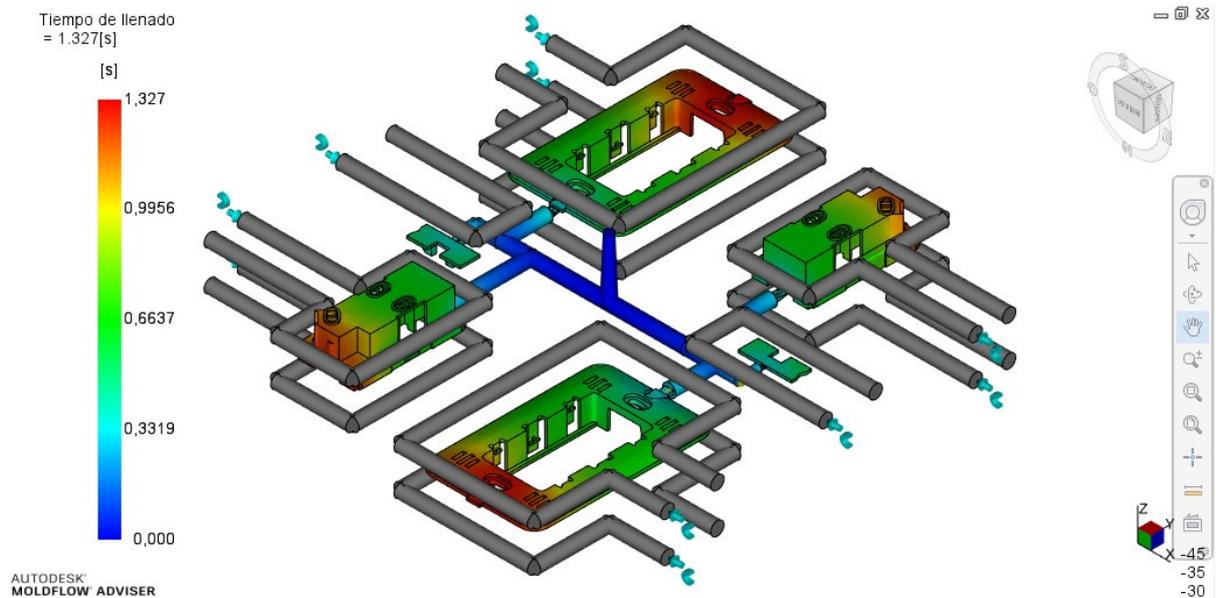


Figura 83. Análisis de tiempo de llenado de productos internos.

- Flujo de plástico

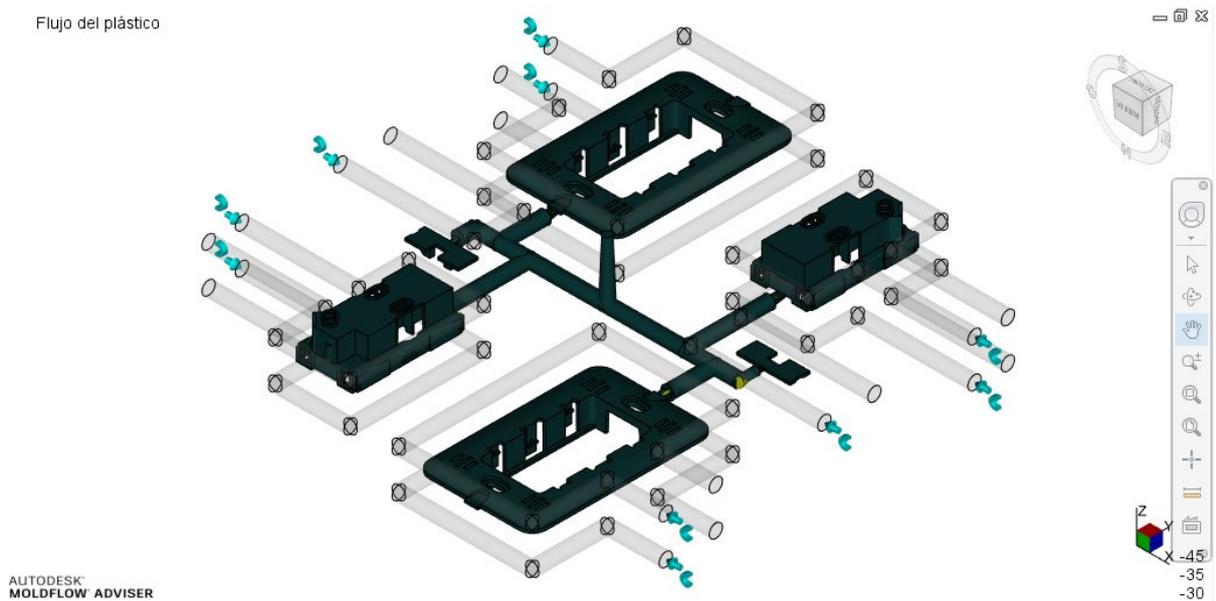


Figura 84. Análisis de flujo de plástico de productos internos.

4.4.2. Productos externos

- Tiempo de llenado

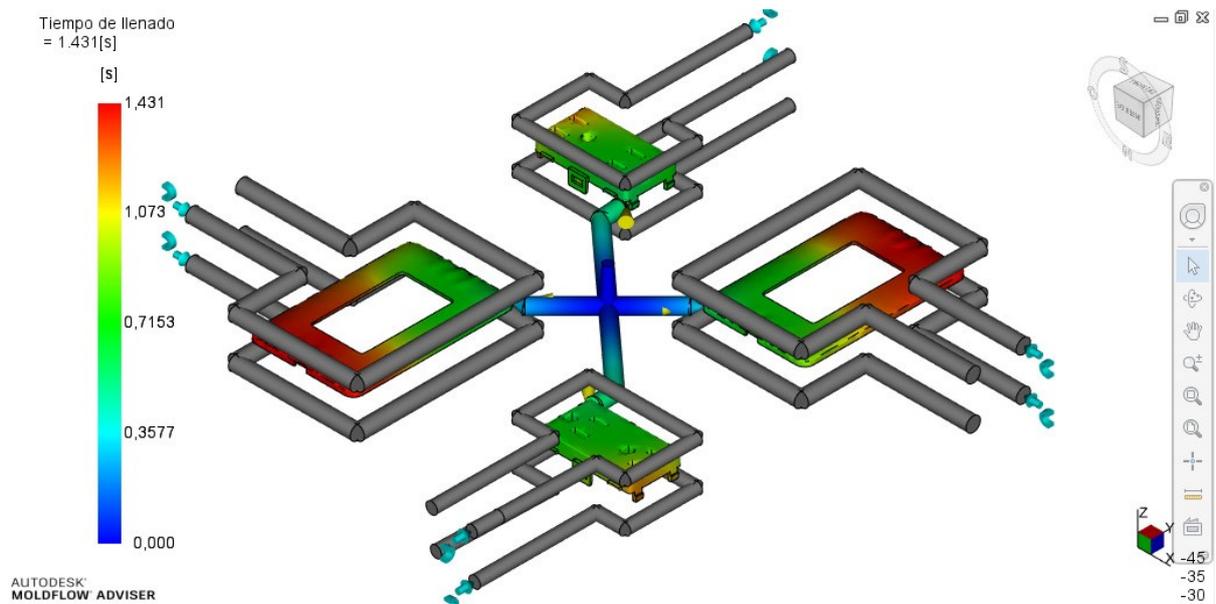


Figura 85. Análisis de tiempo de llenado de productos externos.

- Flujo de plástico

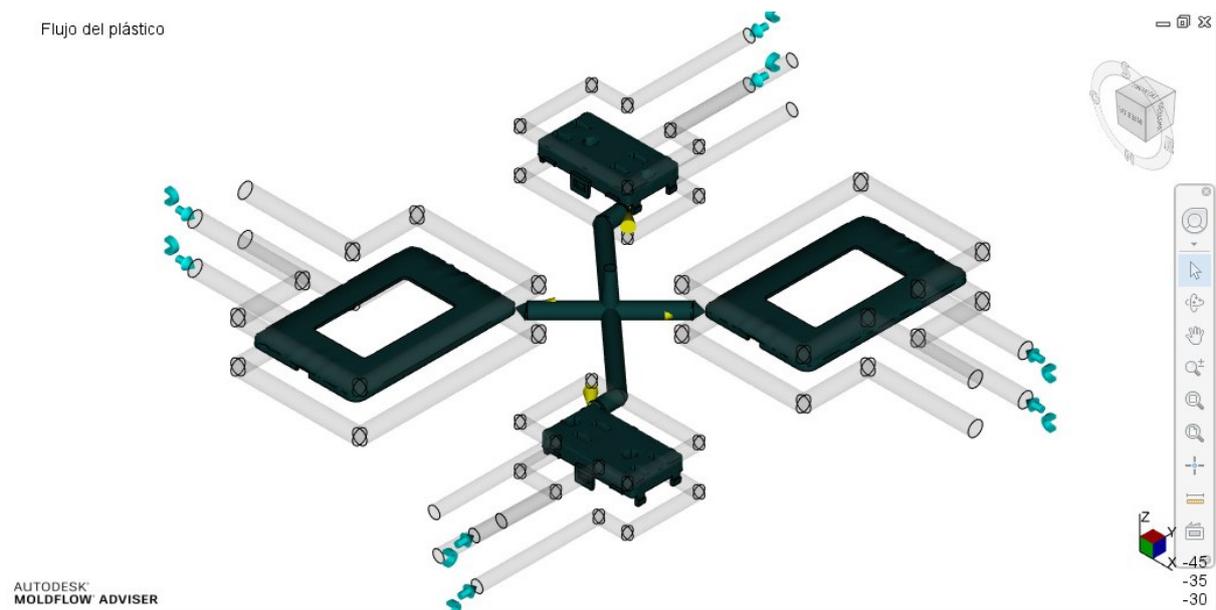


Figura 86. Análisis de flujo de plástico de productos externos.

4.4.3. Resultados de la simulación dinámica del proceso de inyección de productos internos y externos (molde 1 y molde 2)

En el presente apartado se desea dar a conocer la compilación general de los resultados obtenidos en la tabla 23, de la simulación dinámica de los productos internos y externos en el ciclo de inyección.

Tabla 23. Resultados obtenidos de la simulación dinámica para molde de productos internos y externos.

Producto (Molde)	Variable	Resultado
Productos internos (molde 1)	Tiempo de llenado	1.327 [s]
Productos externos (molde 2)	Tiempo de llenado	1.431 [s]

4.5. Simulación de flujo de producto tomacorriente NEMA 5-15R

La simulación de flujo del producto se refiere a la eficacia que conlleva las fuerzas que contienen el fluido para adoptar la forma de las cavidades, misma que utiliza iguales parámetros a las condiciones de la tabla 22. Además de llevar el mismo proceso de introducción de datos de la figura 81 y 82.

4.5.1. Productos internos

- Confianza de Llenado

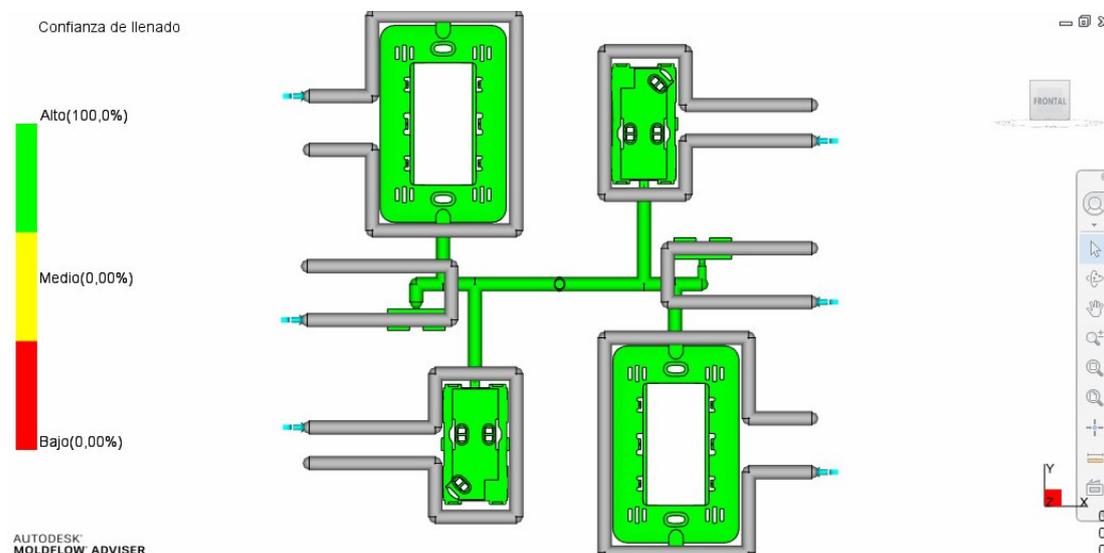


Figura 87. Análisis de confianza de llenado de productos internos.

- Predicción de calidad

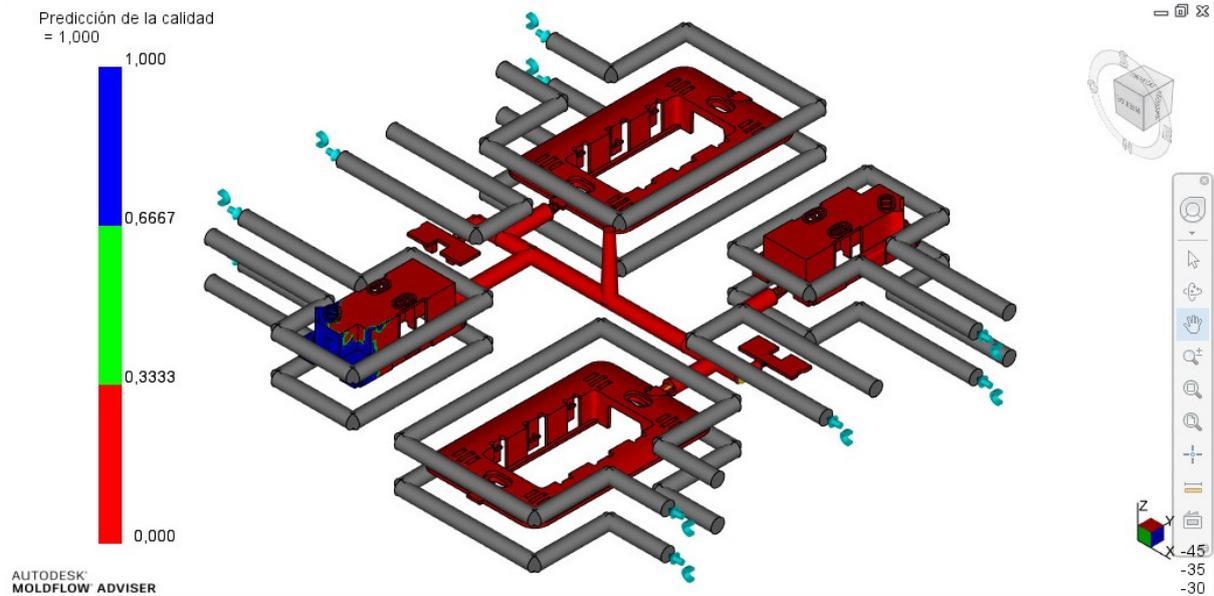


Figura 88. Análisis de predicción de calidad de productos internos.

- Líneas de soldadura

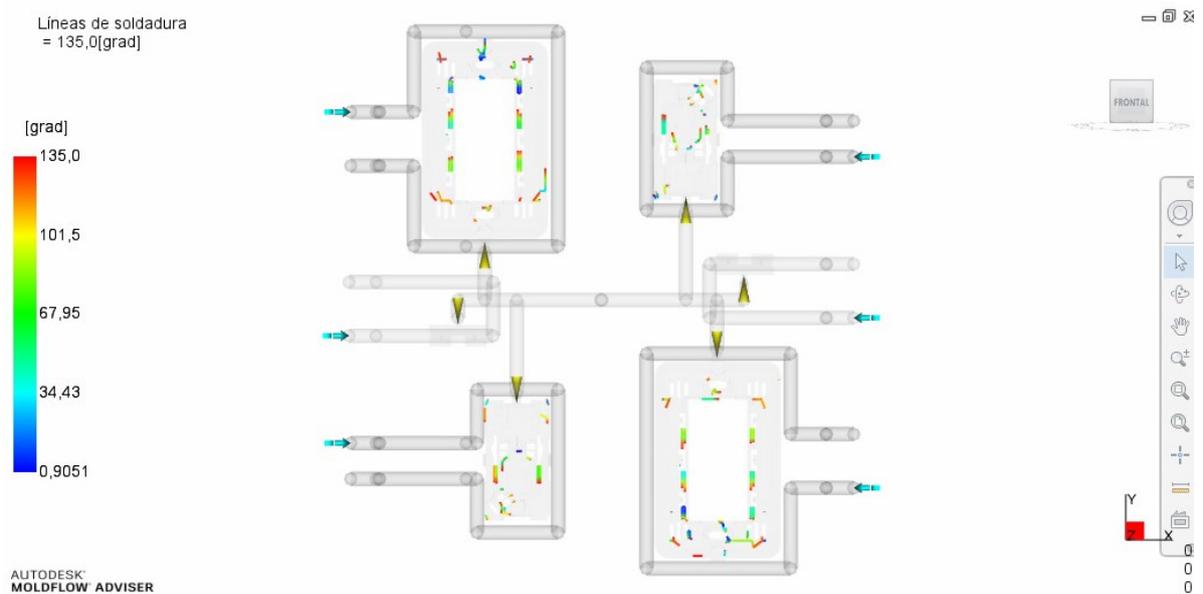


Figura 89. Análisis de líneas de soldadura de productos internos.

4.5.2. Productos externos

- Confianza de Llenado

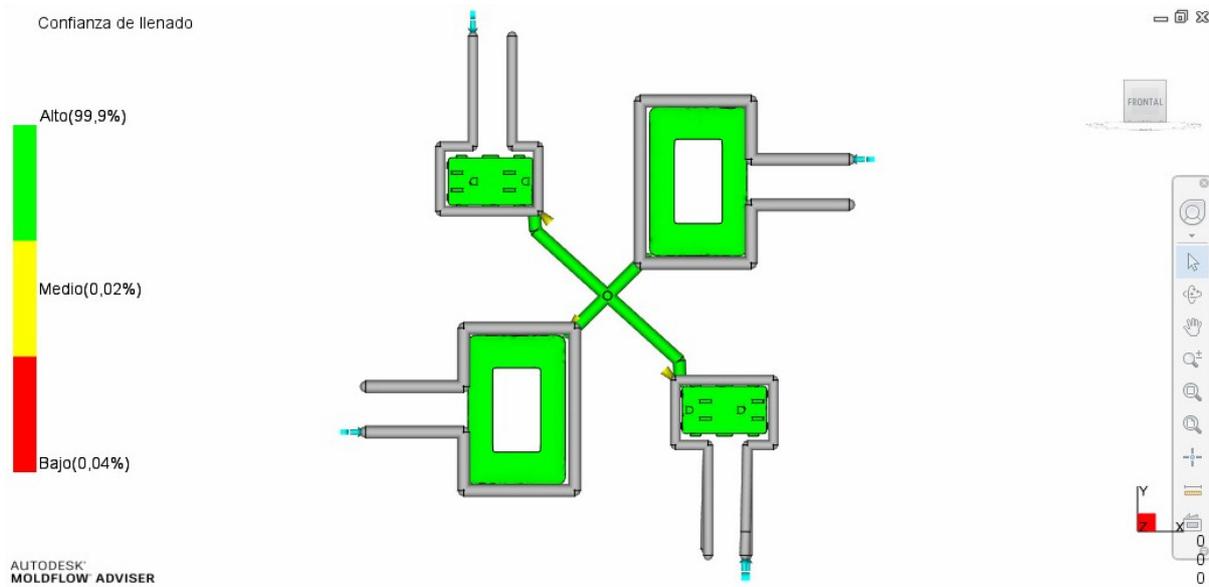


Figura 90. Análisis de confianza de llenado de productos externos.

- Predicción de calidad

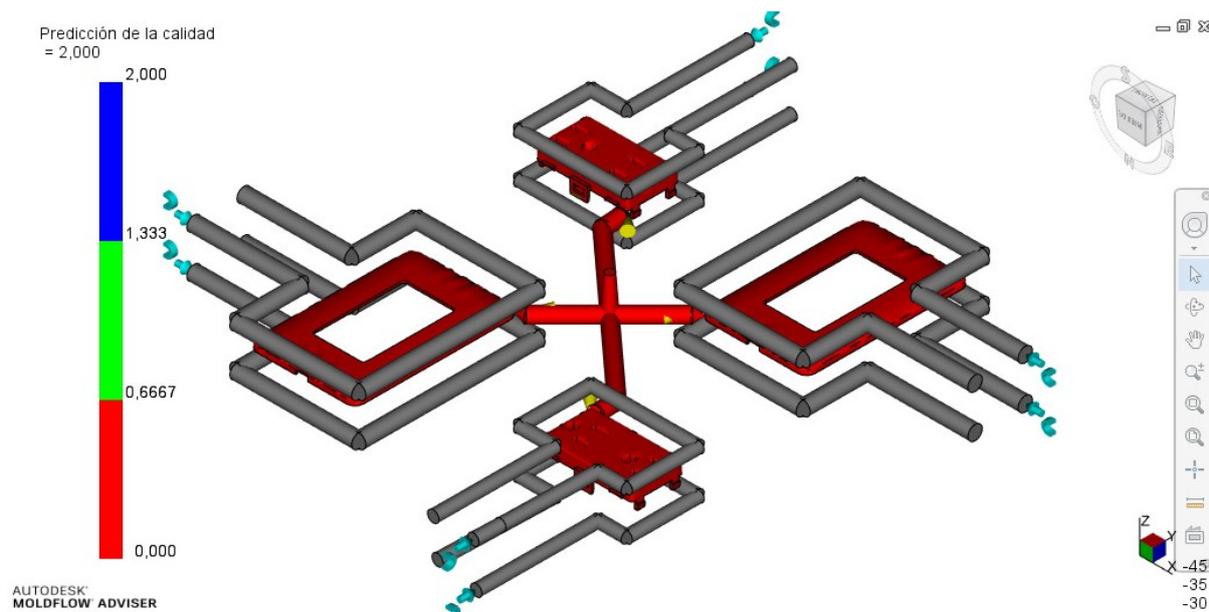


Figura 91. Análisis de predicción de calidad de productos externos.

- Líneas de soldadura

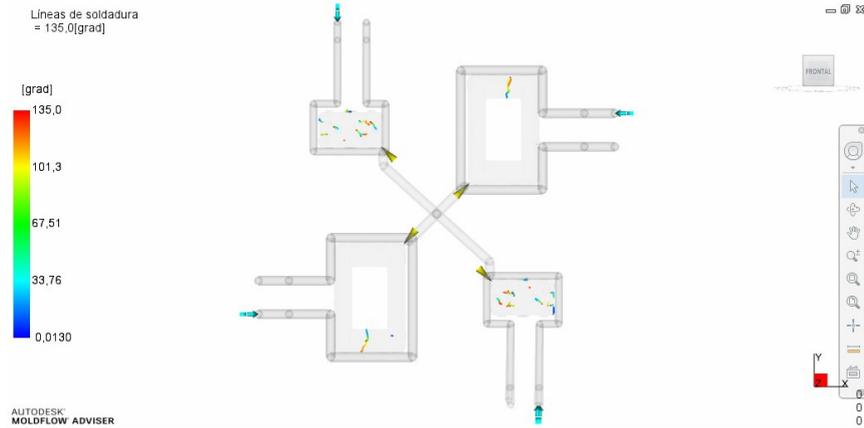


Figura 92. Análisis de líneas de soldadura de productos externos.

4.5.3. Resultados obtenidos en la simulación de flujo del proceso de inyección de productos internos y externos (molde 1 y molde 2).

En el presente apartado se desea dar a conocer la compilación general de los resultados obtenidos en la tabla 24, de la simulación de flujo de los productos internos y externos en el ciclo de inyección.

Tabla 24. Resultados obtenidos de la simulación de flujo de los productos internos y externos.

Producto (Molde)	Variables	Resultados		
		Baja	Media	Alta
Productos internos (molde 1)	Confianza de llenado	-	-	100 %
	Predicción de calidad	76.9 %	20.7 %	2.47 %
	Líneas de soldadura	0.9051°	67.95 °	135 °
Productos externos (molde 2)	Confianza de llenado	0.04 %	0.02 %	99.9 %
	Predicción de calidad	82 %	14 %	4 %
	Líneas de soldadura	0.013 °	67.51 °	135 °

CAPÍTULO V

ANÁLISIS FINANCIERO

5.1. Análisis financiero fundamental

La introducción de un producto al mercado conlleva realizar un análisis financiero para asegurar los planes de la inversión, toma de decisión de factibilidad, amortización de los costos. Para ello es necesario conocer los costos directos e indirectos que se presentan durante todo el proyecto.

5.1.1. Costos directos

Estos costos están ligados al producto que se pretende ofrecer, se encuentran inmersos el costo de fabricación del molde, costo de materia prima y costo de fabricación [34], por lo cual es necesario plasmar cotizaciones que se encuentra en el anexo E. Como se logra observar en las tablas 25 y 26.

Tabla 25. Costo de fabricación molde de inyección.

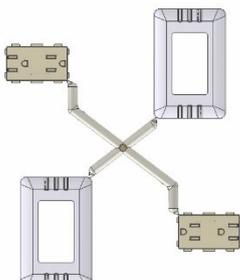
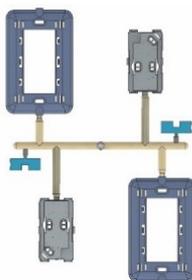
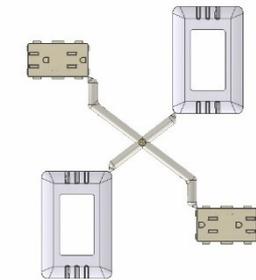
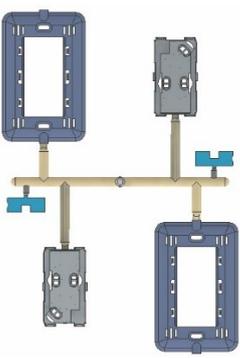
Molde	Imagen Referencial	Material	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Piezas externas		Acero M238	1	\$7 000	\$7 000
Piezas internas		Acero M238	1	\$7 500	\$7 500
TOTAL					\$14 500

Tabla 26. Costos de producción de tomacorriente

Molde	Imagen Referencial	Material	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Piezas externas		PC	5 000	\$0.54	\$2 700
Piezas internas		PC	5 000	\$0.56	\$2 800
					\$5 500
				TOTAL	\$5 500

Respecto al costo de fabricación es factible analizar diversas alternativas como es arrendamiento de la maquinaria de inyección hora/máquina y obtener la materia prima directamente de un distribuidor para obtener una reducción de costos de fabricación, plasmado en la tabla 27.

Tabla 27. Costos directos

Costos directos	Valor
Fabricación molde	\$14 500
Producción de 10 000 tomacorrientes	\$5 500/mes
TOTAL	\$20 000

5.1.2. Costos indirectos

Tangencialmente relacionados con el proyecto, aquellos costos que se producen de forma espontánea o esperada en el transcurso del proyecto, no afectan directamente al precio del producto y no logra identificarse con el mismo [34]. Por lo que en la tabla 28 se define.

Tabla 28. Costos indirectos.

Detalle	Valor total
Empaquetamiento	\$50
Transporte	\$100
Imprevistos	\$100
TOTAL	\$250

5.2. Costo proyecto

Teniendo en cuenta los costos directos e indirectos se logra estimar que el capital o inversión requerida para este proyecto, tabla 29, se indica a continuación:

Tabla 29. Costo proyecto

Detalle	Valor
Costos directos	\$20 000
Costos indirectos	\$250
TOTAL	\$20 250

Por lo que en referencia al costo de fabricación del producto de \$ 0.55 USD se define el porcentaje de ganancia o utilidad por producto de un 30 % adicional al valor de fabricación, cuyo valor alcanza los \$ 0.767 USD, en el estudio de mercado es posible observar que el producto final ofertado por la competencia alcanza un rango de \$ 1.37 - \$ 2.12 USD y los resultados de la encuesta realizada ofrecían un valor a pagar aproximado por nuestro producto de \$ 4.12 USD (producto final).

5.3. Análisis de inversión

Se pretende ejecutar un retorno de inversión dentro de un plazo de 3 años de operación fabricando un mínimo de 10 000 tomacorrientes NEMA 5-15R (únicamente piezas plásticas), en la que se pretende aumentar la producción en un 10 % anual, por lo que con la ayuda de distintas herramientas financieras se plantea:

5.3.1. VAN

VAN de sus siglas (Valor actual neto), cuyo objetivo radica en analizar inversiones a largo plazo, en la que se da a conocer suposiciones ideales del o los proyectos.

INVERSIÓN	14500
TASA	5%

	FNC	DENOMINADOR	VA
1	\$ 18 206.64	1.05	\$17 339.66
2	\$ 20 027.30	1.10	\$18 165.36
3	\$ 22 030.03	1.16	\$19 030.37

VA	\$54 535.38
VAN	\$40 035.38

Utilizado para conocer si el beneficio neto es el adecuado, se logra desarrollar un VAN igual a 40 035.38 USD luego de a ver recuperado la inversión.

5.3.2. TIR

TIR por sus siglas “Tasa interna de retorno”, herramienta capaz de medir la rentabilidad de un proyecto.

	\$ -14 500.00
1	\$ 18 206.64
2	\$ 20 027.30
3	\$ 22 030.03
TIR	120%

Dentro del estudio del TIR, se puede observar que el proyecto tiene una rentabilidad del 120 % de manera ideal lo que garantiza la viabilidad del proyecto a la hora de producir en serie este volumen de producto.

5.3.3. PRI

Conocido en inglés como “*Payback*” que es una herramienta que valora inversiones en un periodo para el retorno de la inversión.

PERIODO DE RECUPERACIÓN

	FNC	FNC ACUM
1	\$ 18 206.64	\$ 18 206.64
2	\$ 20 027.30	\$ 38 233.94
3	\$ 22 030.03	\$ 60 263.98
PERIODO DE RECUPERACIÓN ESPERADO		3 AÑOS

Inversión inicial	\$ 14 500.00
Ultimo flujo	\$ 18 206.64
Por recuperar	\$ -
PRI (años)	0

El tiempo de retorno de la inversión analíticamente se determina que el valor de la inversión se recupera en menos de 1 año con un flujo constante de 10 000 tomacorrientes mensuales (productos plásticos), por lo que es posible llamar al producto una inversión muy rentable a la hora de comercializar el producto.

CONCLUSIONES

- A partir de la encuesta realizada de tomacorrientes NEMA 5-15R, se logra identificar mediante la figura 12, el 70 % de los consumidores buscan un producto de calidad, un 50 % busca un diseño llamativo a la hora de adquirir los productos, por lo que el diseño “Z1” de la figura 11, obtuvo una acogida del público de un 52 % por un diseño diferente al que se observa en el mercado local y se opta por el uso de policarbonato dado que cumple la demanda del consumidor respecto a la calidad.
- El costo promedio de los tomacorrientes en el mercado abarca una media por el producto terminado de \$ 1.89 USD, respecto a la tabla 2, en el caso de estudio al ser específicamente los productos plásticos se establece un valor de venta de \$ 0.767, lo que hace a nuestro producto un 59.42 % más económico en relación al manifestado en la tabla 2, cumpliendo los parámetros demandados por el cliente acerca de calidad y diseño.
- El diseño de tomacorriente bajo la norma IEC 60884-1 y por la norma NEMA 5-15R exigen que estos productos permitan una fácil conexión a los terminales, fácil fijación a la base, espacio adecuado entre la base y la tapa, aceptando tamaños de calibre de cable eléctrico AWG 16, 20, 25 y 32 (16 el más usado en Ecuador).
- El policarbonato es un polímero que cumple las condiciones para fabricar el producto tomacorriente, el cual al ser sintetizado a partir de bisfenol A, como indica la figura 32, entrega la particularidad principal de resistencia a la flama cuyo tiempo aproximado de reacción, es casi instantáneo debido al espesor de la pieza que es de 2.5 [mm] promedio.
- Se conoce que la fuerza de cierre calculada para el molde productos internos posee un resultado analítico de 152.39 [ton], mientras que el resultado de la simulación se obtiene un valor de 150.75 [ton] con un porcentaje de error del 1.08 %, a su vez en el molde productos externos cuyo resultado de forma analítica se obtiene 140.97 [ton] y el resultado de simulación 161.15 [ton] con un porcentaje de error del 12.52 %, si bien es cierto, es un error relativamente pequeño y se justifica a través de las condiciones del cálculo analítico que parten de valores aproximados respecto a cada material según Sánchez et al. [10], por esta razón se considera aceptable encontrar una variación mínima dado que el software distribuye un área proyectada con todos los detalles del cuerpo y un análisis a partir de la presión máxima de inyección de la máquina.
- La fabricación del producto tomacorriente NEMA 5-15R se vuelve una alternativa rentable a la hora de incorporarlo en el mercado ecuatoriano, debido al tiempo de regreso de la

inversión se recupera en menos de 1 año, con una producción mínima mensual de 10 000 unidades, cabe mencionar que entre mayor sea el número de demanda del producto puede llegar a ser recuperada en un menor tiempo.

RECOMENDACIONES

- Modelar adecuadamente los diferentes cuerpos tridimensionales debido que a la hora de realizar cambios puede llegar a existir errores en los sólidos afectando notablemente el diseño global del o los moldes de inyección plástica.
- Considerar la contracción térmica de los polímeros antes de fabricar el o los moldes en cualquier proyecto, porque a la hora de ensamblar diferentes partes plásticas pueden llegar a existir errores rotundos de inversión ya que su función quedaría obsoleta perdiendo cantidades elevadas de dinero.
- Tener en cuenta que para no malograr las máquinas de inyección plástica se debe emplear hasta un 70 % de su capacidad máxima, para brindar mejores resultados a largo plazo.
- Procurar que los moldes dentro del sistema de refrigeración pertenezcan al flujo turbulento para garantizar un enfriamiento adecuado del molde y las piezas plásticas inyectadas.
- Realizar diseños de moldes de inyección plástica bajo sistemas de colada caliente, que permitan disminuir costos de materia prima a la hora de inyectar los productos.
- Proponer diseños de moldes de un solo producto, dado que, si cuentan con varias piezas plásticas dentro de un molde, el balance de llenado no permite alcanzar una homogeneidad exacta de todos los productos al mismo tiempo.

LISTA DE REFERENCIAS

- [1] IMPI, *Enciclopedia del plástico*. 1997.
- [2] S. L Reynoso, *Los Polimeros Plasticos*, 2019th ed. Mexico: 2018, 2019.
- [3] S. Aguilar, “Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud,” *Salud en Tabasco*, vol. 11, pp. 333–338, 2005, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/487/48711206.pdf>.
- [4] INEC, “Población y Demografía |.” <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/> (accessed Dec. 01, 2021).
- [5] QuestionPro, “Encuestas Autoadministradas.” <https://www.questionpro.com/blog/es/encuestas-autoadministradas-como-funcionan/> (accessed Jun. 06, 2021).
- [6] Worldstandards, “Tipos de enchufes y clavijas,” 2021. <https://www.worldstandards.eu/es/electricidad/tipos-de-enchufes/> (accessed Dec. 07, 2021).
- [7] International Electrotechnical Commission, “IEC 60884-1,” 2004.
- [8] J. Góngora, “La industria del plástico en México y el mundo,” *Comer. Exter.*, vol. 64, no. 5, pp. 6–9, 2014, [Online]. Available: http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/761/3/la_industria_del_plastico.pdf.
- [9] Motorex, “Motorex resina epoxi.” <https://www.motorex.com.pe/blog/cuales-son-usos-resina-epoxi/> (accessed Dec. 07, 2021).
- [10] S. Sánchez Valdéz, I. Yáñez Flores, and O. Rodríguez Fernández, *Moldeo por inyección de termoplásticos*, 2011th ed. Mexico, 2011.
- [11] Veto Electric, “Veto Electric - Innovación en Iluminación.” <https://vetoelectric.com/> (accessed Feb. 03, 2022).
- [12] Xunta de Galicia, “Materiales de uso técnico | Materiales de uso técnico,” 2014. <https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947174/contido/index.html> (accessed Jun. 08, 2021).

- [13] Mariano, “Tecnología de los Plásticos,” *INYECCION DE MATERIALES PLASTICOS II*, 2011. <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-ii.html> (accessed Jun. 08, 2021).
- [14] H. Gastrow, “Moldes de Inyeccion para Plasticos - Hans Gastrow.pdf.” p. 256, 1998.
- [15] L. E. Méndez Rojano, “DISEÑO DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE 24 PUNTOS, PARA MOLDEO DE PIEZA PLÁSTICA ÉMBOLO PARA TUBO DE SILICON.,” Universidad Nacional Autónoma de Mexico, 2014.
- [16] O. Laguna Castellanos and R. Arganza Mateos, *Manual de moldes para inyección de termoplasticos.* .
- [17] Menges and Mohoren, “Moldes Para Inyeccion De Plasticos.” p. 217, 1983.
- [18] J. Flores, “MATERIALES PARA MOLDES: ALEACIONES TRADICIONALES FRENTE A NUEVAS OPCIONES,” 2009. .
- [19] J. Perez, “Tratamientos térmicos de los aceros,” 1996.
- [20] J. Carvajal and J. Garzón, “EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y DUREZA DEL ACERO AISI/SAE 4140, TRATADO TÉRMICAMENTE POR TEMPLE Y REVENIDO.,” 2019.
- [21] Bonnet, “Resistencia a la Corrosión de los Aceros Inoxidables,” *Corros. Húmeda Gen. y Localizada*, p. 7.
- [22] Made in china, “Molde de acero, aleación de acero, M202/M201 Herramienta de acero.” https://es.made-in-china.com/co_kasensteel/product_Mold-Steel-Alloy-Steel-M202-M201-Tool-Steel_enuhugiog.html.
- [23] Bohler, “M238 - BÖHLER Spain.” <https://www.acerosbohler.com/es/products/m238/>.
- [24] Bohler, “M303 - BÖHLER Spain.” <https://www.acerosbohler.com/es/products/m303/>.
- [25] Cia. General de Aceros S.A, “Bases y elementos para moldes normalizados.”
- [26] L. A. García, “Partes y funcionamiento de los componentes del molde,” Mexico, 2019.
- [27] Rdiplastics, “Canales de coladas de los moldes de inyección.” <https://www.rdiplastics.com/moldes-de-inyeccion/sistemas-coladas-moldes-inyeccion/>

(accessed Dec. 18, 2021).

- [28] Prosud, “Prosud,” 2021. <https://ms-my.facebook.com/prosud.org/videos/2975426992742747/>.
- [29] Todo en Polimeros, “Colada Fría – Colada Caliente.” <https://todoenpolimeros.com/2017/03/15/colada-fria-colada-caliente/> (accessed Nov. 30, 2021).
- [30] J. Acosta Prado and R. Prada Ospina, “El Moldeo en el Proceso de Inyección para el Logro de Objetivos Empresariales // The Molds in Injection Process for the Achievement of Business Objectives // O Molde no Processo de Injeção para Alcançar os Objetivos de Negócios,” *Dimens. Empres.*, vol. 15, no. 1, pp. 157–168, 2017.
- [31] Autodesk, “Moldflow Insight 2019 Ayuda | Derivación de flujo 3D | autodesk.” <https://help.autodesk.com/view/MFIA/2019/ENU/?guid=GUID-C94D0362-421F-4EC1-89A6-931BB8D6D365> (accessed Jan. 20, 2022).
- [32] P. D. Barsanescu and A. M. Comanici, “Von Mises hypothesis revised,” *Acta Mech.* 2016 2282, vol. 228, no. 2, pp. 433–446, Sep. 2016, doi: 10.1007/S00707-016-1706-2.
- [33] R. A. Mireles Palomares, “Teorías de fallas y sus aplicaciones,” 1992.
- [34] A. del J. Lucio Pillasagua, O. S. Ponce Cedeño, J. L. Merino Murillo, and T. Y. Garcia Ponce, “Sistema de costo,” *Sist. costo*, 2018, doi: 10.17993/ecoorgycso.2018.38.

ANEXOS

Anexo A

Precio referencial tomacorrientes

COMERCIAL KYWI S.A.
 RUC 1790041220001
 CONTRIBUYENTE ESPECIAL-RESOL. SRI 5368
 AGENCIA 02 (EL RECREO)
 Sucursal :AV. PEDRO MALDONADO S11-122 Y
 BALCONES DEL RECREO
 Telf: 022655260 022657268 QUITO
 FACTURA ELECTRONICA N. 002-902-000367299 S-220

Sr(s) : CONSUMIDOR FINAL
 Cliente : 000000-000000
 Ruc : 999999999999999
 Direc : QUITO
 Telf. : 000000000 QUITO
 Fecha de Emision : 01/DIC/2021 10:47:25
 Vend: VENTAS ALMACEN

7861145865083			
TOMACORRIENTE POLARI DOBL BLAN 1PZ PLATA	283711	2,116071	1
			2,12
330062			
TOMACORRIENTE DOBLE AMER 2P+L BLITZ	330062	1,360071	1
			1,37
500258			
PINTURA SPRAY VIOLETA PROFUNDA 549	500258	2,017857	1
			2,02
573043			
TOMACORRIENTE POLA DOBLE 15A MODUS STYLE	573043	2,169643	1
			2,17

SUBTOTAL 7,68
 DESCUENTO Tarifa 12% 0,00
 DESCUENTO Tarifa 0% 0,00
 TOTAL SIN IVA 7,68
 Vta.tarifa 12% 7,68
 Vta.tarifa 0% 0,00
 Total Vta.Neta 7,68
 + IVA Tar. 12% 0,92
 TOTAL A PAGAR 8,60

IVA BIENES 0,92
 IVA SERVICIOS 0,00

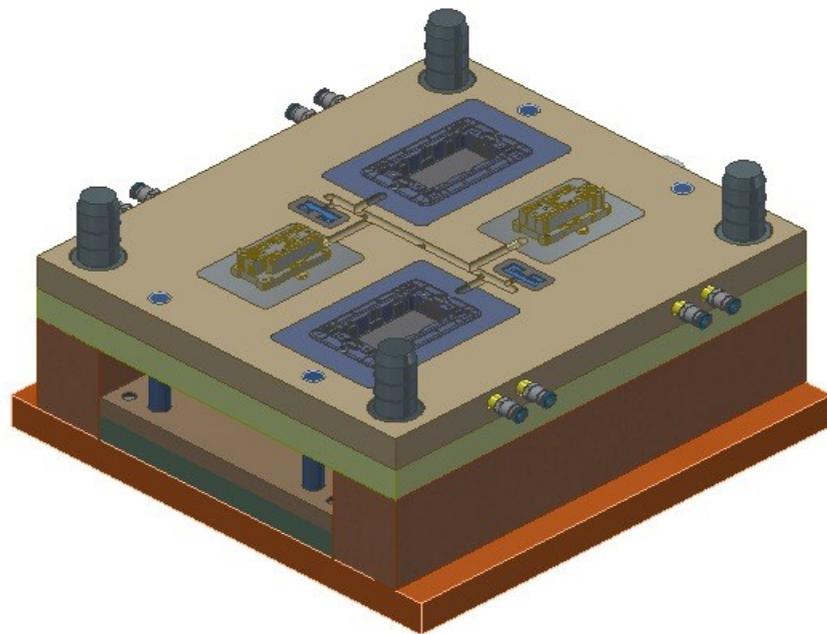
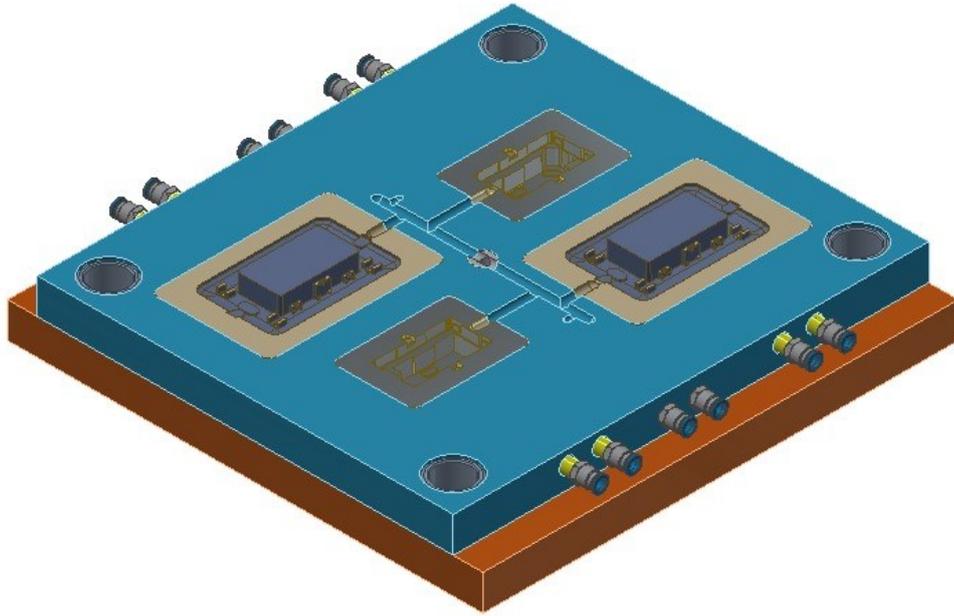
Forma de Pago:
 VISA R: 24017 0,60

ORDEN: Ident: 71/22/0742/01

Estimado cliente:
 Le invitamos a visitar nuestra tienda en
 linea: <https://kywitiendaenlinea.com/>
 Consulte sus facturas electronicas de
 C O M E R C I A L K Y W I S . A . en
www.kywi.com.ec/facturacion-electronica
 o ingresando a la pagina web del SRI con
 Clave de Acceso SRI 0112202101179004122
 000120029020003672991790041217
 Facturacion Electronica al 02-3987-970

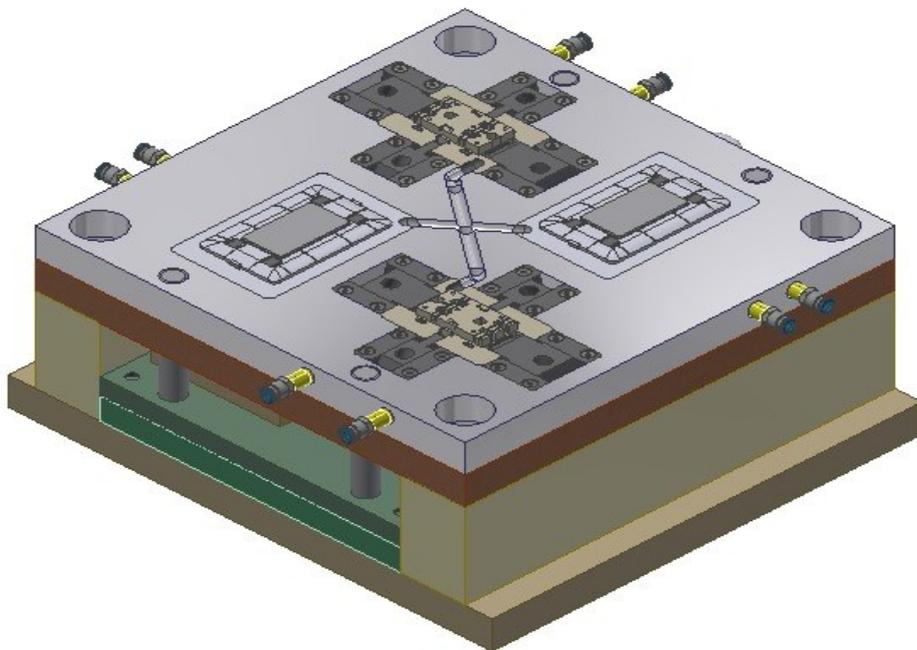
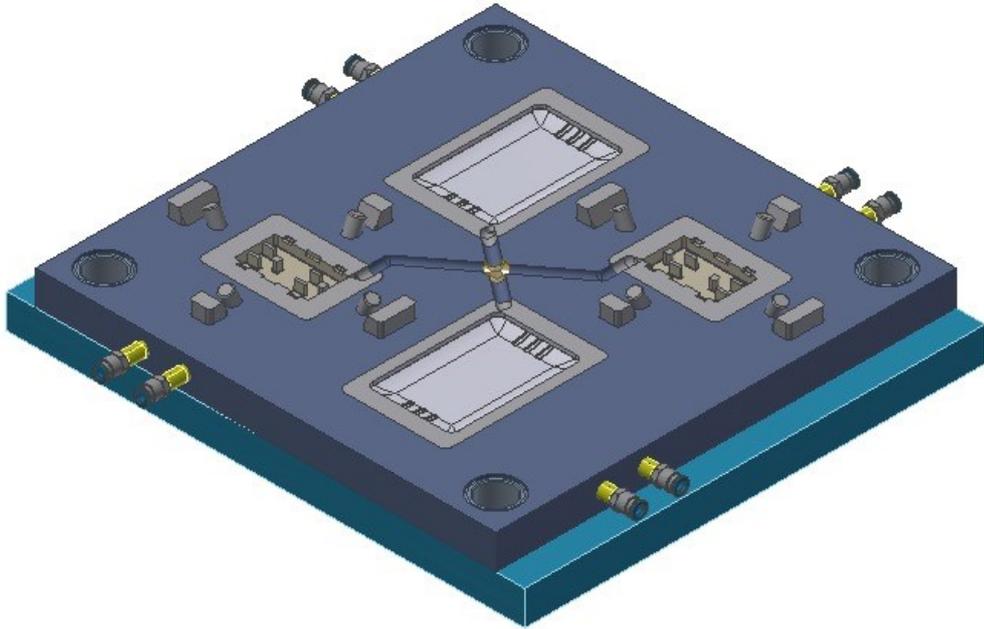
Anexo B

Molde de productos internos



Anexo C

Molde de productos externos



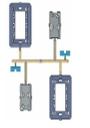
Anexo D

Datasheet máquina inyectora Easymaster SVP2-220

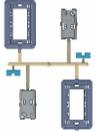
EM-SVP/2																																		
	Unit	EM80-SVP/2			EM120-SVP/2			EM150-SVP/2			EM180-SVP/2			EM220-SVP/2			EM260-SVP/2			EM320-SVP/2			EM400-SVP/2			EM480-SVP/2			EM560-SVP/2					
Injection Unit																																		
Swept Volume	cm ³	121	163	221	163	221	265	277	332	425	382	488	650	390	499	664	584	777	969	904	1128	1413	1216	1524	1856	1767	2164	2544	1767	2164	2544			
Shot Weight (PS)	g	113	150	203	150	203	244	255	305	391	351	449	598	359	459	611	537	715	892	832	1038	1300	1119	1402	1717	1625	1990	2340	1625	1990	2340			
	oz	4.0	5.3	7.2	5.3	7.2	8.6	9.0	10.8	13.8	12.4	15.8	21.1	12.7	16.2	21.6	18.9	25.2	31.4	29.3	36.6	45.9	39.5	49.5	60.6	57.3	70.2	82.5	57.3	70.2	82.5			
Screw Diameter	mm	31	36	42	36	42	46	42	46	52	46	52	60	46	52	60	52	60	67	60	67	75	67	75	83	75	83	90	75	83	90			
Injection Pressure (Max.)	kgf/cm ²	2101	1561	1142	1887	1387	1153	1938	1622	1265	2122	1663	1255	2337	1827	1367	2295	1724	1387	2224	1785	1428	2203	1765	1438	2132	1734	1479	2132	1734	1479			
Screw L / D Ratio		22.7	19.6	16.8	22.7	19.6	17.5	21.8	19.5	17.3	22.2	19.8	17.2	23.3	20.6	17.9	24.2	21	18.8	23.5	21	18.8	23.8	21	19.2	23.2	21	19.4	23.2	21	19.4			
Plasticizing Rate	kg/h	25.7	41.6	58.6	45.3	63.7	86.3	68.9	93.3	128	67.6	92.6	123	79.8	109	145	123	167	216	159	210	263	202	253	326	292	358	463	292	358	463			
Injection Rate	cm ³ /s	60	81	110	102	139	167	123	147	188	142	182	242	130	167	222	186	248	309	231	288	361	323	404	495	368	451	530	368	451	530			
Screw Stroke	mm	160			160			200			230			235			275			320			345			400			400					
Screw Rotation Speed (Max.)	rpm	170			185			200			145			171			180			165			150			165			165					
Clamping Unit																																		
Clamping Force (Max.)	t	80			120			150			180			220			260			320			400			480			560					
Opening Stroke	mm	320			340			410			460			490			530			600			670			770			835					
Space Between Tie Bars (H x V)	mm	355 x 300			410 x 360			455 x 425			505 x 500			560 x 560			580 x 580			660 x 660			730 x 730			810 x 810			855 x 855					
Maximum Daylight	mm	640			720			860			960			1090			1130			1260			1420			1590			1685					
Mould Thickness (Min-Max)	mm	130-320			145-380			160-450			180-500			195-600			195-600			220-660			250-750			275-820			330-850					
Ejector Stroke	mm	80			100			100			130			130			180			180			215			250			250					
Ejector Force (Max.)	t	2.3			4.2			4.2			4.9			7.7			7.7			7.7			11.1			11.1			11.1					
Power / Heating Unit																																		
System Pressure	kgf/cm ²	148			178			178			178			178			178			178			178			178			178			178		
Servomotor Power	kW	9			11			13			18			18			25			32			35			45			45					
Electrical Heating Power	kW	6.5			8.8			9.7			9.8			13.9			18.3			20			21.6			30			30					
Temperature Control Zones		3 + Nozzle			3 + Nozzle			3 + Nozzle			4 + Nozzle			4 + Nozzle			5 + Nozzle			5 + Nozzle			5 + Nozzle			5 + Nozzle			5 + Nozzle					
Others																																		
Dry Cycle Time	s	1.6			2.1			2.4			2.5			2.6			2.8			3.2			3.5			3.8			4.0					
Oil Tank Capacity	liter	170			170			235			235			360			430			525			600			800			800					
Machine Dimensions (L x W x H)	m x m x m	4.3 x 1.2 x 1.8			4.3 x 1.2 x 1.8			5 x 1.3 x 2			5.6 x 1.3 x 2.1			5.8 x 1.5 x 2.1			6.4 x 1.5 x 2.2			6.7 x 1.6 x 2.3			8 x 1.7 x 2.3			8.5 x 1.9 x 2.3			8.8 x 2 x 2.3					
Machine Weight (Approx.)	t	2.6			2.8			3.8			4.9			5.6			7.2			9.6			12.6			16.6			17.9					

Anexo E

Cotización fabricación del molde

 Diseño Industrial/Matricería/Inyección de Plásticos/ Tecnología CAD-CAM-CAE.																
CLIENTE: BYRON VASCOINEZ										Referencia de oferta:			PROFORMA 2021-PLA- 623			
										Fecha de oferta:			04/01/2022			
NO	Elemento	imagen del elemento	material del producto plastico	N ^a cavidades	Tamaño del molde (L *A*H)	Tipo de acero del molde			Sistema de inyección		Superficie del molde	Accionamiento del molde	Expulsion del molde	tratamiento termico de cavidades y elementos moviles	Costo del molde (USD)	tiempo estimado de fabricacion (días)
						Base portamolde	Macho	Hembra	canal	entrada						
1	MOLDE 1		PC	4	350*300*245	1045/1010	P20H	P20H	FRIO	DIRECTA	PULIDO	POR ELEMENTOS MOVILES / CORREDERAS	Expulsores cilindricos	nituradas	\$7.000	30
2	MOLDE 2		PC	6	350*300*245	1045/1010	P20H	P20H	FRIO	DIRECTA	PULIDO	POR ELEMENTOS MOVILES CORREDERAS	Expulsores cilindricos	nituradas	\$7.500	30
TOTAL														\$14.500		
FORMA DE PAGO		70% de anticipo , 15% en las pruebas de los moldes , 15% contra entrega de los moldes														
 Calle los Guarumos E8-55 y Av. 6 de diciembre (oficina) / Panamericana sur (Pedro Vicente Maldonado y S62) (La victoria)QUITO-ECUADOR) (taller) www.franckeeng.com Email: franklin_suntaxi@franckeeng.com telefonos: +593 5123858 / +593 979152027 																

Cotización producción del producto

			Diseño Industrial/Matricería/Inyección de Plásticos/ Tecnología CAD-CAM-CAE.						
			PROFORMA 2021-PLA- 624						
CLIENTE: BYRON VASCONEZ			05/01/2022						
NO	Elemento	imagen del elemento	material del producto plastico	N ^a cavidades	peso de la inyectada(g)	ciclo estimado (seg)	Costo del juego(USD)	cantida minima a producir	costo total de la produccion (USD) (sin iva)
1	MOLDE 1		PC	4	33	20	0,54	5000	2700
2	MOLDE 2		PC	6	38	20	0,56	5000	2800
TOTAL									5500
FORMA DE PAGO		70% de anticipo y 30% contra entrega de la produccion							
			Calle los Guarumos E8-55 y Av. 6 de diciembre (oficina) / Panamericana sur (Pedro Vicente Maldonado y S62) (La victoria)(QUITO-ECUADOR) (taller) www.franckeeng.com Email: franklin_suntaxi@franckeeng.com telefonos: +593 5123858 / +593 979152027						