



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**

---

---

**UNIDAD ACADÉMICA PROFESIONAL TIANGUISTENCO**

**“Metodología y Diseño de un producto plástico a nivel  
prototipo: transportador de botellas”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN PLÁSTICOS

P R E S E N T A

**ZARUR RAMÍREZ ROBLES**

DIRECTOR:

M. en Ing. Raymundo Medina Negrete

# CONTENIDO.

<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>Planteamiento del problema .....</b>	<b>2</b>
<b>Justificación .....</b>	<b>3</b>
<b>Hipótesis .....</b>	<b>4</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>5</b>
Objetivo general.....	5
Objetivo específico.....	5
<b>Antecedentes.....</b>	<b>6</b>
CAPITULO 1. Metodología .....	11
CAPITULO 2. Desarrollo de producto (CAD/CAE).....	12
CAPITULO 3. Confirmación de la especificación técnica (Lote “C”, prototipo) .....	13
CAPITULO 4. Conclusiones.....	13
<b>CAPITULO 1. Metodología.....</b>	<b>14</b>
1.1 Percepción (oportunidad de una nueva idea) .....	15
1.2 Problemática (descubrir el trabajo que se va a realizar) .....	16
1.3 Solución (prototipos) .....	18
1.4 Modelo de negocio (validar la marcha de la estrategia de mercado).....	21
1.4.1 Modelo de negocios CANVAS.....	22
1.4.2 Modelo CANVAS del proyecto.....	23
<b>CAPITULO 2. Desarrollo de producto (CAD/CAE).....</b>	<b>24</b>
2.1 Necesidad del producto .....	24
2.2 Concepto de diseño .....	25
2.3 Desarrollo de forma y dimensiones (Lote “P”, prototipos).....	31
2.3.1 Tabla de comparación de prototipos.....	35

2.4 Desarrollo de la especificación técnica, en base al prototipo seleccionado, (Lote D) .....	36
2.4.1 Metas de calidad.....	37
2.4.2 Criterios de metas de calidad en base a la función .....	38
2.4.3 Gráfica de radar (Criterios de las Metas de Calidad).....	49
2.4.4 Realización de AMEF de diseño en base al prototipo 4 .....	40
2.5 Dibujo en CAD (SolidWorks). .....	42
2.5.1 Modelos propuestos .....	43
2.5.2 Modelo final de la pieza .....	46
2.5.3 Especificación técnica del producto.....	47
2.6 Aplicación de Ingeniería Asistida por Computadora (CAE).....	48
2.6.1 Análisis de carga-deformación (SolidWorks SimulationXpress) .....	48
2.6.2 Análisis de simulación del comportamiento de flujo del material, dentro de la pieza al momento de realizar la inyección (SolidWorks Plastics) .....	79
<b>CAPITULO 3. Confirmación de la especificación técnica (Lote “C”, Prototipo)...</b>	<b>95</b>
3.1 Prototipo físico final.....	96
3.1.2 Comparación de prototipos.....	97
3.2 Gastos de producción .....	99
<b>CAPITULO 4. Conclusiones .....</b>	<b>102</b>
4.1 Hipótesis .....	102
4.2 Uso de Metodología .....	103
4.3 Diseño en CAD .....	104
4.4 Simulación en CAE .....	104
4.5 Mercadotecnia .....	105
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>106</b>

## Índice de figuras.

Figura 1 El Método Innovador.....	12
<b>CAPITULO 1. Metodología.</b>	
Figura 1.1 El Método Innovador.....	14
Figura 1.2 Percepción (la oportunidad de una nueva idea).....	15
Figura 1.3 Problemática (descubrir el trabajo que se va a realizar).....	16
Figura 1.4 Solución (creación de prototipos).....	19
Figura 1.5 Prototipos necesarios en el Método Innovador.....	19
Figura 1.6 Concepción de un prototipo.....	20
Figura 1.7 Modelo de negocios (validar la puesta en marcha del mercado).....	22
Figura 1.8 Modelo de negocios CANVAS del proyecto.....	23
<b>CAPITULO 2. Desarrollo de producto (CAD/CAE).</b>	
Figura 2.1 Usuario sujetando un envase.....	24
Figura 2.2 Usuario sujetando un envase.....	24
Figura 2.3 Prototipos propuestos en el Método Innovador.....	25
Figura 2.4 Primer concepto propuesto para el transportador de botellas.....	26
Figura 2.5 Segundo concepto propuesto para el transportador de botellas.....	27
Figura 2.6 Tercer concepto propuesto para el transportador de botellas.....	28
Figura 2.7 Cuarto concepto propuesto para el transportador de botellas.....	29
Figura 2.8 Quinto concepto propuesto para el transportador de botellas.....	30
Figura 2.9 Lote "P", prototipos.....	31
Figura 2.10 Prueba 1.....	31
Figura 2.11 Prueba 2.....	31
Figura 2.12 Prueba 3.....	31
Figura 2.13 Prueba 4.....	32

Figura 2.14 Prueba 5 .....	32
Figura 2.15 Prueba 6 .....	32
Figura 2.16 Prueba 7 .....	32
Figura 2.17 Prueba 8 .....	32
Figura 2.18 Prueba 9 .....	32
Figura 2.19 Prototipo 4.....	33
Figura 2.20 Prueba 10 .....	34
Figura 2.21 Prueba 11 .....	34
Figura 2.22 Lote “D”, desarrollo de la especificación técnica en base al prototipo seleccionado .....	36
Figura 2.23 Prototipo 4, seleccionado para evaluar las metas de calidad .....	36
Figura 2.24 Prototipo virtual .....	42
Figura 2.25 Modelo 1 .....	43
Figura 2.26 Modelo 2 .....	43
Figura 2.27 Modelo 3 .....	44
Figura 2.28 Modelo 4 .....	44
Figura 2.29 Modelo 5 .....	45
Figura 2.30 Especificación Técnica del Producto .....	47
Figura 2.31 Malla de la pieza, generada en SolidWorks .....	56
Figura 2.32 Malla de la pieza, generada en SolidWorks .....	56
Figura 2.33 Animación previa, generada en SolidWorks .....	57
Figura 2.34 Factor de Seguridad. ....	63
Figura 2.35 Formula para calcular el Factor de Seguridad .....	64
Figura 2.36 Calculo de Factor de Seguridad de la pieza .....	65
Figura 2.37 Malla de la pieza generada en SolidWorks .....	70

Figura 2.38 Animación previa del comportamiento de la pieza, generada en SolidWorks .....	70
Figura 2.39 Factor de Seguridad .....	75
Figura 2.40 Calculo de Factor de Seguridad.....	76
Figura 2.41 Malla de la pieza .....	82
Figura 2.42 Resultado final del Análisis de Comportamiento de Flujo del Material dentro de la pieza, al momento de realizar y terminar la inyección.....	94
<b>CAPITULO 3. Confirmación de la especificación técnica (Lote “C”, prototipo).</b>	
Figura 3.1 Prototipo 5, impresión 3D .....	96
Figura 3.2 Prototipo5, impresión 3D .....	96
Figura 3.3 Prueba 12 .....	97
Figura 3.4 Prueba 13 .....	97
Figura 3.5 Prueba 14 .....	97

## Índice de tablas.

### CAPITULO 2. Desarrollo de producto (CAD/CAE).

Tabla 2.1 Valor de atributos .....	35
Tabla 2.2 Comparación de prototipos .....	35
Tabla 2.3 Valor de atributos .....	38
Tabla 2.4 Criterios de metas de calidad en base a la función.....	39
Tabla 2.5 AMEF de diseño en base al Prototipo 4.....	40
Tabla 2.6 Evaluación de AMEF de diseño .....	41
Tabla 2.7 Modelo final de la pieza .....	46
Tabla 2.8 Esfuerzo-deformación de los polímeros.....	49
Tabla 2.9 Esfuerzo-deformación del HDPE (High Density Polyethylene) .....	50
Tabla 2.10 Sujeciones, en la parte que el usuario sujeta el trasportador de botellas .....	52
Tabla 2.11 Cargas, de acuerdo a la función de la pieza .....	53
Tabla 2.12 Información de malla.....	55
Tabla 2.13 Detalles de malla.....	55
Tabla 2.14 Tensión Máxima de von Mises.....	58
Tabla 2.15 Resultado del análisis estructural del diseño .....	59
Tabla 2.16 Ficha técnica del material .....	60
Tabla 2.17 Desplazamiento resultante en el análisis estructural de la pieza .....	62
Tabla 2.18 Calculo de Factor de Seguridad de la pieza, por SolidWorks .....	65
Tabla 2.19 Comparación de resultados de Factor de Seguridad .....	66
Tabla 2.20 Análisis estructural completo de la pieza .....	66
Tabla 2.21 Sujeciones.....	67
Tabla 2.22 Cargas .....	68

Tabla 2.23 Densidad de malla .....	69
Tabla 2.24 Detalles de malla.....	69
Tabla 2.25 Tensión Máxima de von Mises.....	71
Tabla 2.26 Resultado de análisis estructural .....	72
Tabla 2.27 Desplazamiento resultante en el análisis estructural de la pieza .....	74
Tabla 2.28 Calculo de simulación de Factor de Seguridad realizado por SolidWorks .....	77
Tabla 2.29 Comparación de resultados del análisis de Factor de Seguridad .....	78
Tabla 2.30 Análisis estructural completo de la pieza .....	78
Tabla 2.31 Proceso de diseño del producto.....	80
Tabla 2.32 Ángulos de salida.....	81
Tabla 2.33 Material utilizado en la simulación de inyección de plástico.....	83
Tabla 2.34 Tiempo de llenado de la pieza, con uno y dos puntos de inyección.....	84
Tabla 2.35 Punto de inyección establecido en el análisis .....	85
Tabla 2.36 Simulación de tiempo de llenado de la pieza .....	87
Tabla 2.37 Contracción de volumen al final de llenado en el análisis de flujo.....	88
Tabla 2.38 Vectores de velocidad al final de llenado de la pieza.....	89
Tabla 2.39 Líneas de soldadura generadas en la simulación de inyección .....	90
Tabla 2.40 Atrapamiento de aire en la pieza.....	92
Tabla 2.41 Facilidad de llenado en la pieza .....	93

### **CAPITULO 3. Confirmación de la especificación técnica (Lote C, prototipo).**

Tabla 3.1 Valor de atributos .....	98
Tabla 3.2 Comparación de prototipos .....	98
Tabla 3.3 Principales costos que afectan el precio de una pieza.....	100

### **CAPITULO 4. Conclusiones.**

Tabla 4.1 Criterios de metas de calidad en base a la función.....	102
---	-----

## **Índice de gráficas.**

### **CAPITULO 2. Desarrollo de producto (CAD/CAE).**

Gráfica 2.1 Criterios de metas de calidad .....	39
---	----

### **CAPITULO 4. Conclusiones.**

Gráfica 4.1 Comparación de Criterios de metas de calidad .....	103
--	-----

## **Prólogo.**

Es fundamental para un Ingeniero en Plásticos que desarrolla productos, aplicar metodologías para el diseño y desarrollo de los mismos, en esta tesis se describe teórica y prácticamente una base metodológica para el diseño y desarrollo de un producto plástico, que cumpla con los requerimientos del cliente y a través de esto las empresas obtengan beneficios a corto, mediano y largo plazo.

En las empresas, seguir un proceso metodológico para optimizar el diseño, la manufactura, calidad, costo y seguridad de un producto es estratégico, por lo tanto, se deben aplicar métodos y técnicas que optimicen los tiempos de diseño y lanzamiento en el mercado de nuevos productos. Para iniciar el diseño, primero se deben identificar las necesidades del usuario, se deben analizar y entender perfectamente, los deseos y requerimientos del cliente y una tarea del ingeniero es poder traducir estos deseos en especificaciones técnicas que soporten la calidad de un producto.

En la fase de diseño y desarrollo del producto, es importante para el ingeniero, definir y entender a profundidad que trabajo y estudios se deben realizar para satisfacer una necesidad, debe ser creativo para conceptualizar y definir la idea del producto que buscamos y en base a esto desarrollar y evaluar prototipos que nos lleven a consolidar el producto final. El ingeniero, debe administrar y dar solución a los problemas que se vayan presentando durante el desarrollo del producto, estos problemas, pueden tener su origen en el diseño, materiales y procesos de fabricación, que se utilizarán. Por lo tanto, la meta es lograr un balance y cumplimiento entre función, calidad y costo del producto desarrollado.

En paralelo con las fases anteriores, se debe analizar un modelo de negocio que garantice un ciclo de vida de producto de manera efectiva, donde la satisfacción del cliente sea el objetivo principal, cuidando la logística y canales de distribución adecuados y garantizando respuesta rápida a los requerimientos que se presenten en los mercados de consumo.

**“El Diseño es simple, por eso es tan complicado.” Paul Rand**

## **Introducción.**

El diseño y desarrollo de nuevos productos surge de la identificación y análisis de oportunidades que se presentan en un mercado. Tradicionalmente las actividades de diseño y fabricación han estado unidas. En la actualidad estas dos actividades se encuentran bastante separadas, y es necesario el diseño para comenzar la fabricación. El diseñador se convierte en una pieza fundamental y se hace necesario disponer de una metodología para poder afrontar problemas complejos y que sea capaz de producir una descripción final del artefacto que se va a diseñar y pueda adaptarse a los requerimientos establecidos.

El diseño de un producto plástico a nivel prototipo: transportador de botellas nace de la idea de sujetar y transportar botellas de una forma práctica y eficiente, el alcance del proyecto es llegar a la realización de un prototipo impreso en 3D, utilizando herramientas que faciliten su concepción. Se ha tomado la implementación de una metodología para minimizar los pasos al momento de realizar un nuevo producto y enfocarse en puntos críticos que debe de tomar en cuenta el diseñador para tener un mejor desarrollo al momento de conceptualizar su idea. El método innovador se utilizara para simplificar el proceso de diseño de un producto y poder desarrollarlo de una forma rápida y eficiente, tomando los cuatro puntos que propone el método, percepción (la oportunidad de una nueva idea), el problema (descubrir el trabajo que se va a realizar), la solución del problema (crear una mínima de prototipos del producto), el modelo de negocios (validar la puesta en marcha de la estrategia de mercado), de esta forma toma los puntos que son necesarios al momento de diseñar un producto.

Se utilizarán herramientas para facilitar y maximizar el diseño como la implementación de CAD (Computer Aided Design) o (Diseño asistido por ordenador), en el cual se realizará el diseño de la pieza, para crear su representación gráfica en 3D, de esta forma se podrán aportar soluciones que mejoren el proceso. La aplicación de CAE (Computer Aided Engineering), o (Ingeniería asistida por ordenador), se utilizará para simular bajo condiciones aparentemente reales el efecto de variables sobre el elemento diseñado, con el fin de llegar a una forma geométrica optimizada para ciertas condiciones y de esta forma realizar el prototipo final en una impresora 3D, para validar la pieza.

## **Planteamiento del problema.**

La manipulación manual de una botella plástica o de vidrio por los clientes, es frecuente hoy en día, por tal motivo se pretende realizar un transportador de botellas, el cual ofrece una forma fácil y práctica de transportar una botella y poder sujetar varios envases con una sola mano. Por lo tanto, es importante proponer un nuevo dispositivo que cumpla con la función, calidad y costo para un mercado de consumo y tener un análisis con prototipos, disminuyendo tiempo y costo que es de gran importancia al momento de diseñar un nuevo producto. De aquí nace la idea de aplicar el método innovador. Esta metodología afirma la creación de un producto innovador o nuevo de una forma sistemática tomando solamente los pasos necesarios para su creación y facilitando el diseño y disminuyendo los costos de producción.

## **Justificación.**

El desarrollo de este proyecto se aplicará el método innovador y la implementación de CAD (Computer Aided Design), y CAE (Computer Aided Engineering), para elaborar el diseño de un componente plástico y un prototipo para sujetar botellas. Utilizando esta metodología se pretende establecer cada paso para desarrollar un producto y cumplir con cada etapa establecida, para llegar a la elaboración de un prototipo. Por esa razón se diseñará un transportador de botellas utilizando el método innovador como alternativa de solución a falta de un dispositivo que pueda cumplir con la función específica y poder hacer una validación a través de prototipos.

El diseño y desarrollo de este dispositivo ofrece al mercado la oportunidad de incorporar un mecanismo de sujeción para satisfacer la necesidad de personas que están cargado o sujetando botellas y hacer más fácil y práctico su manejo.

## **Hipótesis.**

¿Aplicando una metodología para el diseño y desarrollo de un nuevo producto, se puede desarrollar este de manera óptima, y lograr los objetivos de diseño establecidos?

## **Objetivos.**

### **Objetivo general.**

Aplicar la metodología del innovador para facilitar el diseño y desarrollo de un producto plástico, utilizando tecnologías de diseño y simulación CAD/CAE y de esta manera realizar la valoración mediante prototipos.

### **Objetivo específico.**

- Utilizar el método innovador, para realizar la validación de un prototipo.
- Analizar mediante el método innovador un nuevo diseño plástico, aplicando los pasos de la metodología.
- Realizar modelado en CAD (Computer Aided Design), utilizando SolidWorks.
- Realizar prototipos en 3D, con una máquina de impresión en 3D, (Prusiano i3).
- Analizar a través de elemento finitos CAE (Computer Aided Engineering), análisis de flujo (SolidWorks Plastics), análisis de carga deformación (SolidWorks SimulationXpress).

## **Antecedentes.**

En la historia del CAD (Computer Aided Design), se pueden encontrar precursores de estas técnicas en dibujos de civilizaciones antiguas como Egipto, Grecia o Roma. El trabajo de Leonardo Da Vinci muestran técnicas de CAD (Computer Aided Design) actuales como el uso de perspectivas. Sin embargo, el desarrollo de estas técnicas está ligado a la evolución de los ordenadores que se produce a partir de los años 50 [2].

A principios de la década de 1950 aparece la primera pantalla grafica en el MIT capaz de presentar dibujos simples de forma no interactiva. En esta época y también en el MIT se desarrolló el concepto de programación de control numérico. A mediados de esta década aparece el lápiz óptico que supone el inicio de los gráficos interactivos. A final de la década aparecen las primeras máquinas herramienta y General Motors comienza a utilizar técnicas en el uso interactivo de gráficos para crear sus diseños [4].

La década de los 60 representa un periodo crucial para el desarrollo de los gráficos por ordenador. Aparece el término CAD (Computer Aided Design) o (Diseño asistido por ordenador) y varios grupos de investigación dedican gran esfuerzo a estas técnicas. Fruto de este esfuerzo es la aparición de unos pocos sistemas de CAD. Un hecho determinante de este periodo es la aparición comercial de pantallas de ordenador [3].

En la década de los 70 se consolidan las investigaciones anteriores y la industria se percata del potencial del uso de estas técnicas, lo que lanza definitivamente la implantación y el uso de estos sistemas, limitada por la capacidad de los ordenadores de esta época. Aparecen los primeros sistemas en 3D (prototipos) sistemas de modelado de elementos finitos, control numérico [3].

En la década de los 80 se generaliza el uso de las técnicas CAD/CAM proporcionada por los avances en hardware y la aparición de las aplicaciones en 3D capaces de manejar superficies complejas y modelado sólido. Aparecen multitud de aplicaciones en todos los campos de la industria que usan técnicas de CAD/CAM y se empieza a hablar de realidad virtual [3].

La década de los 90 se caracteriza por una automatización cada vez más compleja de los procesos industriales en los que se generaliza la integración de las diversas técnicas de diseño, análisis, simulación y fabricación. La evolución del hardware y las comunicaciones hacen posible que la aplicación de técnicas CAD/CAM éste limitado tan solo por la imaginación de los usuarios. En la actualidad el uso de esta técnica ha dejado de ser una opción existente, se puede afirmar que el CAD/CAM es una tecnología de supervivencia. Solo aquellas empresas que lo usan de forma eficiente son capaces de mantenerse en un mercado más competitivo [4].

La evolución del CAE solo se ha mantenido paralela a la del CAD/CAM en cierta medida. En 1967, después de dejar su puesto de profesor en la Universidad de programa de ingeniería mecánica de Cincinnati, Jack Lemmon estableció el Structural Dynamics Research Corporation (CEDR). "En ese momento, Computervision y Applicon fueron los líderes de software, sino que centraron sus esfuerzos en el mercado de redacción 2-D. Su visión fue la de integrar el diseño, FEA (Finite Element Analysis) pruebas y sistemas para el diseño global del producto. Fueron de los primeros en integrar 2-D con la redacción de CAE. Este esfuerzo llevó a la necesidad de modelado de sólidos. Este fue el ímpetu detrás GEOMOD, un producto que proporcionan capacidades para hacer al FEA más eficiente y aumentar la productividad" [4].

En 1976, United Computing, empresa desarrolladora de "Unigraphics CAD/CAM/CAE Systems", es comprada por Mc Donnell Douglas. En 1977, Avions Marcel Dassault encarga a sus ingenieros la creación de un programa tridimensional e interactivo, el precursor de CATIA (Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application). CEDR presentó por primera vez su software I-DEAS en 1982. Desarrollado por la organización de desarrollo de productos interno del SDRC, I-DEAS fue creado para abordar el mercado creciente MCAE (Mechanical Computer-Aided Engineering). En 1986 se introdujeron YUNQUE-5000, un sistema de 3-D mecánica CAD / CAM / CAE que, durante más de una década, fue el / CAM / software más potente, totalmente integrado CAD y CAE disponibles, que se ejecuta en todas las clases de equipos de ingeniería de high-end estaciones de trabajo a ordenadores personales. En 1988, Dassault Systemes crea ENOVIA Corporation, una subempresa encargada de desarrollar las soluciones de ENOVIA PDM II (Product Development Management). Unigraphics Solutions EDS se

convierte en la primera organización de CAD/CAM/CAE/PDM en recibir el certificado ISO 9001. En 1990, Mc Donnell Douglas elige Unigraphics como el estándar de la empresa para el CAD/CAM/CAE mecánico. Autodesk lanza AutoCAD Release 11, también aparece Auto Shade 2, un complemento para AutoCAD que permite sombrear los modelos tridimensionales creados. A final de año Autodesk había vendido 500.000 copias de AutoCAD [4].

Los primeros paquetes de análisis de elemento finito, se presentaron en el mercado ya en la década de los 70 y estaban basados en el hardware y software disponibles en aquel momento. Los sistemas llamados H-Element estaban basados, como es de suponer, en el sistema CAD 2D y, años más tarde, en modelos alámbricos 3D. Posteriormente aparecieron los llamados P-Element, que utilizaban modelos de superficies [3].

En realidad, estas soluciones han llegado prácticamente hasta estos días, se han hecho esfuerzos para que dichos programas resultaran lo más fáciles de utilizar. FEA (Finite Element Analysis), es un método numérico que surgió como tal en la década de los 60's. Sin embargo, su forma más conceptual fue propuesta por Isaac Newton bajo las bases de cálculo integral y diferencial. Desde entonces se ha convertido en una de las herramientas más novedosas tanto a nivel académico como industrial. El método fue propuesto en 1943 para un uso estructural ya que se podrían representar elementos como vigas sólidos sujetos a esfuerzos [3].

No fue hasta 10 años después, cuando se obtuvieron los primeros resultados satisfactorios, puesto que se extendieron los alcances y aplicaciones de este método para resolver problemas tridimensionales con el desarrollo de matrices de rigidez tetraédrica. En esta etapa, la modelación matemática se enfocaba únicamente en deformaciones elásticas, concentración de esfuerzos con cargas elásticas y desplazamientos cortos [3].

En 1964 finalmente se pudieron comenzar a considerar dentro del análisis de elemento finito los análisis térmicos y deflexiones de gran magnitud. Un año después se comenzaron a aplicar los análisis dinámicos con los cuales se exploraron los campos de flujo, torsiones de flecha y conducción de calor.

Actualmente infinidad de industrias hacen uso de esta metodología para poder ofrecer a los consumidores mejores productos que les ayuden a mejorar su calidad de productos.

El principio de la impresión 3D tiene lugar en 1976, cuando se inventa la impresora de inyección de tinta. En 1984, el desarrollo de la inyección convierte la tecnología de impresión de tinta en impresión con materiales. En los últimos años, varias décadas, se desarrollan una enorme cantidad de aplicaciones de la impresión 3D que se lleva a cabo en numerosas industrias. Charles Hull, el co-fundador de 3D Systems, crea la estereolitografía, proceso de impresión que implica que un Objeto en 3D sea generado desde datos digitales. Con ello pueden desarrollarse modelos 3D a partir de imágenes, a favor del prototipado, permitiendo realizar pruebas antes de mandarlo a una línea de producción. En 1992 la primera "impresora" 3D del tipo SLA (Estereolitografía), fue desarrollada por 3D Systems. Un láser UV solidifica un fotopolímero, líquido de color y viscosidad semejante al de la miel, creándose capas sólidas que constituyen un modelo 3D. [1999 órganos realizados mediante ingeniería, mediante impresión 3D, El desarrollo del Instituto de Wake Forest de Medicina Regenerativa, crea el inicio de las vías de ampliación de la tecnología de desarrollo de órganos. [2002 riñón funcional por el Instituto Wake Forest. [2005 impresoras 3D Open Source, el Dr. Adrián Bowyer funda RepRap, en la Universidad de Bath, con objeto de tomar la iniciativa en la construcción de sus propios prototipos mediante impresoras 3D de código abierto. [2006 personalización en la fabricación en masa y SLS, Se construye la primera máquina de tipo SLS (Sintetización selectiva por láser) viable, impresión de varios materiales. [2008 primera impresora autorreplicable. [2008 servicios de co-creación, diseño 3D físico de bajo costo. [2008 avances en prótesis 3D. [2009 bio-impresión de vasos sanguíneos Dr. Gabor Forgacs. [2011 primer avión impreso en 3D. [2011 impresión de joyería. [2012 impresión de mandíbula. Asimismo, la impresión de prototipos va ligada del uso de tecnologías que ayuden a tener una visualización completa del objeto y sean fáciles de implementar en una computadora [2].

“El Diseño de un producto plástico a nivel prototipo: transportador de botellas” es una idea que surge de la necesidad de no cargar las botellas o tomar con las manos los recipientes, ya que es factible introducir un nuevo componente que facilite el agarre y su transportación. Se utilizará el método innovador el cual trata de un proceso por el cual

los diseñadores gestionan a la incertidumbre de la innovación: el cual prueba y valida una creativa visión para no perder los recursos de fabricación y lanzamiento del producto, así dando un margen más grande para darle al cliente lo que en realidad quieren. Utilizando herramientas ya mencionadas como el CAD (Computer Aided Design) o (Diseño asistido por ordenador), CAE (Computer Aided Engineering) o (Ingeniería asistida por ordenador) se utilizará FEA (Finite Element Analysis), y prototipos para validar el producto.

## **Metodología.**

En este trabajo se utilizará el método de gestión de la innovación llamado, "método del innovador", ya que las nuevas herramientas y perspectivas para la validación de ideas se caracterizan por tener incertidumbres que están surgiendo en campos diferentes [1].

El método del innovador, es un proceso por el cual los diseñadores gestionan a la incertidumbre de la innovación: el cual prueba y valida una visión creativa para no perder los recursos de fabricación y lanzamiento del producto, así dando un margen más grande para darle al cliente lo que en realidad quieren (figura 1).

El método del innovador se utiliza como un proceso lineal para simplificar un proceso complejo y tratar de describir los "pasos" para poder realizar un proyecto sin la incertidumbre que se genera.

Pasos a seguir para la estructura del trabajo

1.-Percepción (la oportunidad de una nueva idea). Aprovechar los comportamientos identificados en el diseño, el cuestionamiento es el ADN del innovador, le permite la observación de las necesidades que debe solucionar [1].

2.-El problema (descubrir el trabajo que se va a realizar). En lugar de empezar con el planteamiento de soluciones, empezar con el arranque mediante una exploración de la identificación del problema. Para poder realizar el trabajo planteado y estar seguro que paso va después de una resolución de problemas y poder verificar si vale la pena resolver este problema [1].

3.-La solución del problema (crear una mínima de prototipos del producto). Creación de prototipos teóricos, bosquejos del producto, ideas del producto, definir la cantidad mínima de prototipos para desarrollar un producto, aprovechar prototipos teóricos y de múltiples dimensiones que den la solución al problema buscado [1].

4. El modelo de negocios (validar la puesta en marcha de la estrategia de mercado). Validar la marcha de la estrategia para ir al mercado, incluyendo la estrategia de fijación

de precios, la estrategia de adquisición de clientes, y la estrategia de la estructura de costos [1].

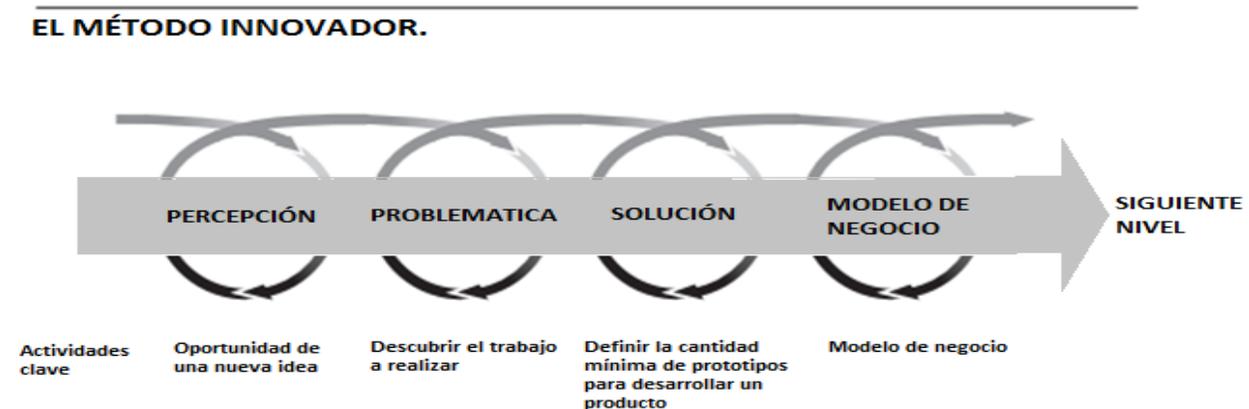


Figura 1. El Método Innovador. The Innovator's Method: Bringing the Lean Startup Into Your Organization. N Furr, J Dyer, CM Christenses. (2014). Harvard Business Review Press.

Cada paso en el método es crítico e implica un análisis y desarrollo técnico y administrativo de cada uno.

## **CAPITULO 2. Desarrollo de producto. (CAD/CAE).**

En el segundo capítulo se realizará el diseño de una pieza plástica utilizando el modelado en CAD (Computer Aided Design), con SolidWorks, para crear una representación gráfica de un objeto físico en 3D, aportando soluciones que mejoren el proceso de diseño. También se implementará el CAE (Computer Aided Engineering), para analizar el comportamiento del flujo de material en la pieza (SolidWorks Plastics) por lo tanto se analizará FEA (Finite Element Analysis), y análisis de flujo, análisis de carga deformación (SolidWorks SimulationXpress). Para simular bajo condiciones reales el efecto de variables sobre el elemento diseñado, con el fin de llegar a una forma geométrica optimizada. En este capítulo se cubrirá una parte de prototipos, realizando un análisis de los prototipos teóricos que pueden ser factibles en la realización de la pieza 3D, y de esta manera cubrir la parte de prototipos virtuales, el prototipo final se realizará en el capítulo 3.

### **CAPITULO 3. Confirmación de la especificación técnica (Lote “C”, prototipo)**

En este capítulo se realizará el prototipo 3D impreso en la maquina Prusiano i3, para poder validarlo. Cubriendo de esta forma el objetivo principal del proyecto, cubriendo la parte de prototipado de un diseño de una pieza plástica. Hasta este punto se llevará a cabo el proyecto.

### **CAPITULO 4. Conclusiones.**

En el cuarto capítulo se determinará como el uso de una metodología de diseño incorporando tecnologías como CAD/CAE, prototipos y mercadotecnia, son de gran ayuda al momento de realizar una pieza y las ventajas de usar estas herramientas en un proyecto de diseño de cualquier componente plástico.

## CAPITULO 1. Metodología.

En este trabajo se utilizará el método de gestión de la innovación llamado, “método del innovador”, ya que las nuevas herramientas y perspectivas para la validación de grandes ideas se caracterizan por tener unas grandes incertidumbres que están surgiendo en muchos campos diferentes, se muestra en la figura (1.1) los pasos que se tienen que seguir para poder llevar a cabo la metodología [1].

El método del innovador, se trata de un proceso por el cual los diseñadores gestionan a la incertidumbre de la innovación: el cual prueba y valida una creativa visión para no perder los recursos de fabricación y lanzamiento del producto, así dando un margen más grande para darle al cliente lo que en realidad quieren [1].

El método del innovador se utiliza como un proceso lineal para simplificar un proceso complejo y tratar de describir cómo los "pasos " pueden solaparse o ser recursivos. Consta de cuatro pasos para resolver problemas de alta incertidumbre y así convertir el análisis obtenido en un éxito. De esta forma valida una idea y la lleva al mercado [1].

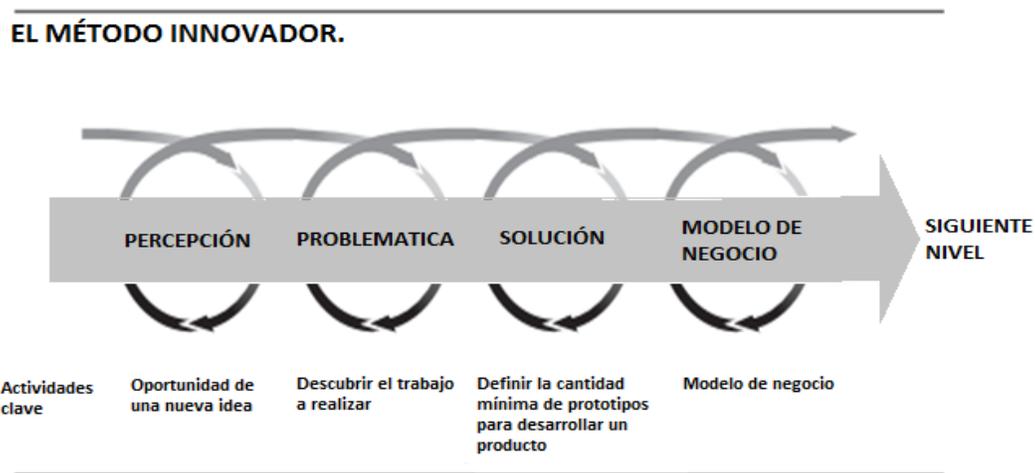


Figura 1.1. El Método Innovador. The Innovator's Method: Bringing the Lean Startup Into Your Organization. N Furr, J Dyer, CM Christenses. (2014). Harvard Business Review Press.

## 1.1 Percepción (la oportunidad de una nueva idea).

El método innovador en la percepción se centra en la generación y profundización del potencial que tiene un problema en específico, en este caso es una nueva idea, utiliza la palabra problema en el método indistintamente para significar una necesidad o una oportunidad de un producto que tiene potencial para la introducción al mercado, cabe señalar que el uso de esta metodología es profundizar y minimizar la concepción de un nuevo producto reduciendo tiempo y costos desde la idea hasta su venta como producto final, en este caso solo será hasta un prototipo [1].

La idea es solo el primer paso para la concepción de un producto, el verdadero reto es profundizar en el potencial que tiene esta idea, y cubrir todos los parámetros que se necesitan para poder llevarla a cabo. Por esa razón es importante centrarse en la oportunidad que generara un producto nuevo. En la figura (1.2) muestra cuales son las actividades claves dentro del primer punto de la metodología, y la manera en la cual deben de llevarse a cabo para poder llegar al resultado esperado.

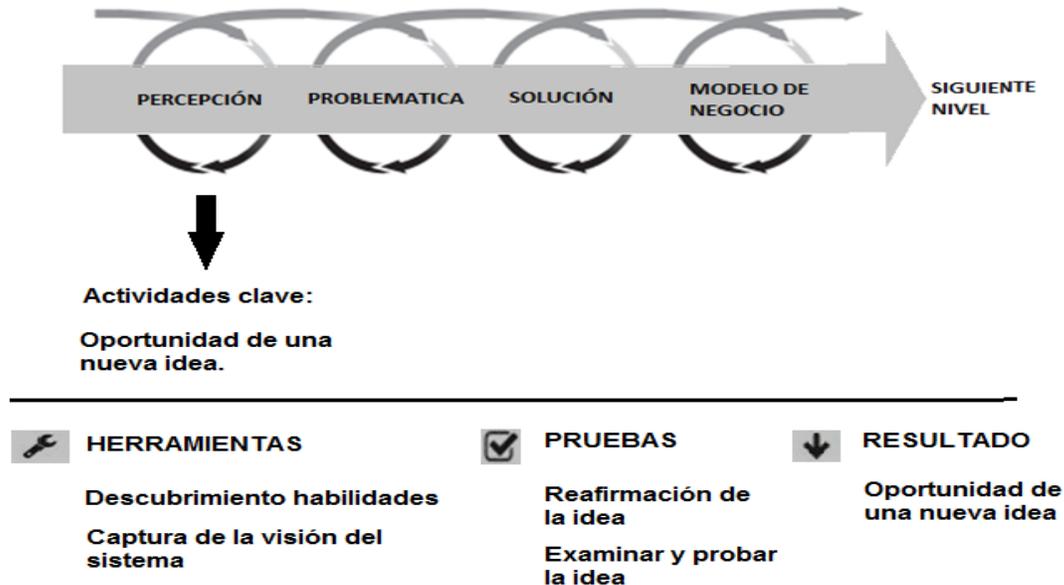


Figura 1.2. Percepción (la oportunidad de una nueva idea). The Innovator's Method: Bringing the Lean Startup Into Your Organization. N Furr, J Dyer, CM Christenses. (2014). Harvard Business Review Press.

De este punto surge la iniciativa de realizar un componente que pueda sujetar botellas y poder transportarlas a cualquier distancia, así nace la idea, el poder diseñar un dispositivo que pueda ayudar y facilitar el agarre de una botella o de varias a la vez. Nos hemos topado que en ocasiones vas al supermercado o a una tienda y compras varios refrescos entre otras cosas, si llevas un transporte bien, pero si tienes que cargar todo y caminar una distancia, ¿De qué manera puedes sujetar las botellas de refresco que has comprado?, ¿Se podrían sujetar con algún dispositivo?, ¿Podría facilitar su traslado, sin que te estorben y sea fácil de transportar?, de aquí nace la necesidad de crear un transportador de botellas. La idea es muy práctica ya que puede ser utilizada por cualquier tipo de persona, y puede ser utilizada en cualquier tipo de botella facilitando el agarre y su traslado.

## 1.2 Problemática (descubrir el trabajo que se va a realizar).

El método innovador en la problemática se centra en la necesidad que tiene el cliente para descubrir un problema o una necesidad que se tiene de un producto nuevo, por esa razón el método innovador es utilizado por empresarios que tienden a empezar por la construcción de soluciones, que afectan directamente a uno de sus productos, pero primero se centran y hacen hincapié en la necesidad de entender a fondo el problema, en la figura (1.3) muestra cuales son las actividades claves dentro del segundo punto de la metodología, y la manera en la cual deben de llevarse a cabo para poder llegar al resultado esperado [1].

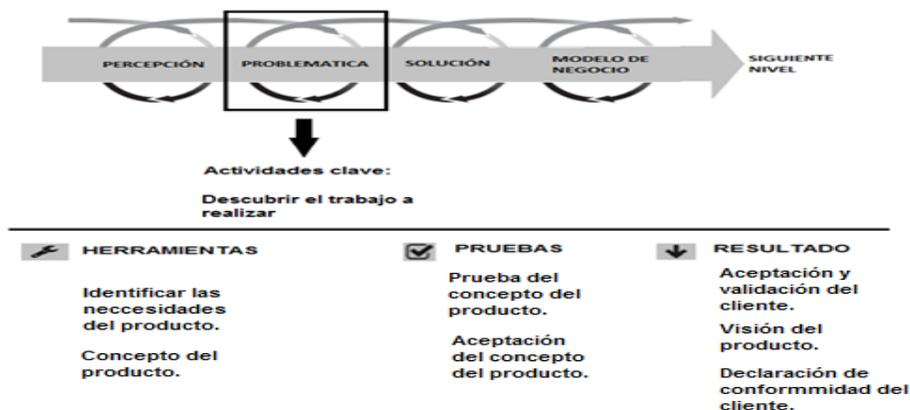


Figura 1.3. Problemática (descubrir el trabajo que se va a realizar). The Innovator's Method: Bringing the Lean Startup Into Your Organization. N Furr, J Dyer, CM Christenses. (2014). Harvard Business Review Press.

En este caso no es un problema es una necesidad de entender que se quiere realizar “El problema”, puede ser tomado como la idea de un cliente, lo que necesita el cliente, puede ser la conexión, la expresión, la realización de un producto nuevo. Por esa parte es de gran importancia centrarse en el uso que va a tener el producto, cuales son los factores de importancia que puedan afectar su rendimiento los elementos funcionales, y lo más importante analizar la necesidad, ¿Por qué comprar el producto? [1].

¿Qué se pretende hacer?, es una de las grandes incógnitas que tiene una persona al momento de darle concepción a su idea, el descubrir el trabajo que se va a realizar implica plantear las soluciones y los problemas que se tienen para poder llevarlo a cabo, muchos ingenieros se presentan con esta situación y no saben qué camino tomar, por esa razón el método innovador plantea que analices la problemática que se tiene en este caso es la importancia que se tiene al realizar un nuevo producto.

Se pretende hacer el “diseño de un producto plástico a nivel prototipo: transportador de botellas” ya que es una oportunidad de un producto que tiene potencial para la introducción al mercado.

El transportador se pretende diseñar para cumplir una necesidad de usuarios que carguen envases de refresco, agua, o cualquier envase que pueda ser utilizado en el transportador de botellas, de esta forma podemos introducir el dispositivo para sujetar las botellas y hacer su traslado más práctico. El trabajo que se realizará es una idea que surge de la necesidad ya mencionada, de esta forma podemos empezar a trabajar con distintas ideas que se quieren hacer, afrontando las necesidades que debe de cumplir el dispositivo.

El dispositivo se pretende hacer de tal manera que pueda sujetar cuatro botellas de 2 litros que estén posicionadas de tal forma que se distribuya el peso uniformemente en el diseño, de una manera que pueda sujetar botellas de cualquier tipo, primeramente tiene que cumplir su función que es sujetar las botellas para poder ser transportadas, tiene que ser de un material resistente pero que no sea muy rígido para que no se fracture, debe de ser de fácil manejo, cómodo, que llame la atención, que pueda ser ocupado desde un niño a un adulto, tiene que ser ligero y diseñado de una forma en el cual los esfuerzos estén bien distribuidos en partes críticas del diseño.

La idea se mostrará con prototipos físicos para dar una idea más clara de lo que se quiere realizar, al momento de tener un concepto de diseño este se hará en un programa CAD para facilitar el diseño y tener una concepción tridimensional del objeto, poder asignar un material que sea apto para la función que va a tener, de esta forma se podrá trabajar en el diseño y hacer las modificaciones necesarias, para después hacer una simulación virtual del prototipo en CAE de diferentes pruebas dinámicas y poder validar el diseño con un prototipo físico.

### **1.3 Solución (creación de prototipos).**

Después de la identificación de un problema que tiene un cliente y si vale la pena resolver dicha problemática, la mayoría de empresarios liberan el equipo de desarrollo de un producto para producirlo directamente, y poder mostrar un producto libre de errores para atraer a tantos clientes como sea posible. Aunque este enfoque tiene sentido en mercados conocidos, es lo peor que se puede hacer cuando se tiene una incertidumbre muy alta [1].

En cambio, los empresarios deben buscar ampliamente una variedad de soluciones y utilizar una serie de prototipos para resolver el problema de una forma eficaz y trabajar de una forma teórica llevándolo hasta a un prototipo virtual, de esta forma se pueden hacer una mínima de prototipos que sean viables y un producto que sea impresionante [1].

De esta forma las soluciones y sus problemáticas que se tienen en la concepción de un producto se reducen al mínimo tomando en cuenta sólo los puntos clave para el éxito, maximizando las soluciones y minimizando los problemas, como se muestra en la figura (1.4), definiendo una cantidad de prototipos, para desarrollar un producto.

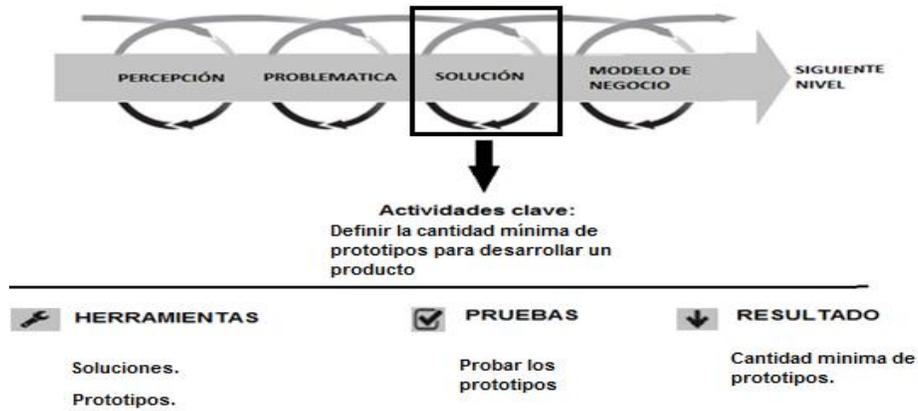


Figura 1.4. Solución (creación de prototipos). The Innovator's Method: Bringing the Lean Startup Into Your Organization. N Furr, J Dyer, CM Christensens. (2014). Harvard Business Review Press.

El método innovador toma la solución de una forma muy práctica minimizando la incertidumbre y la variación que hay entre las soluciones y el problema, proponiendo una serie de prototipos que se tienen que llevar acabo para disminuir la incertidumbre que se genera al momento de conceptualizar una idea. La figura (1.5) muestra las fases en las cuales debe de desarrollarse el prototipo, de esta forma se conceptualiza los pasos para llegar al producto que se desea [1].

#### Prototipos necesarios en el Método Innovador.

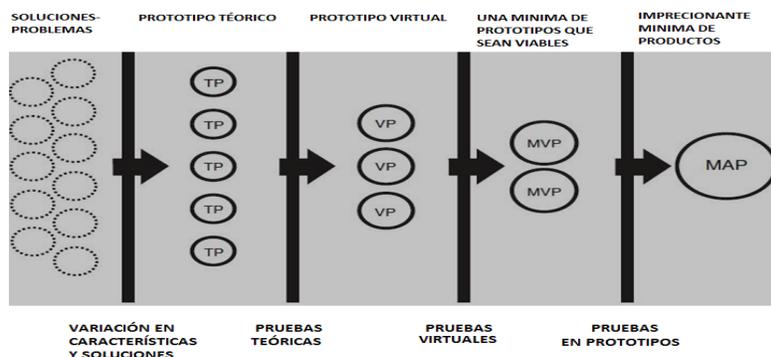


Figura 1.5. Prototipos necesarios en el Método Innovador. The Innovator's Method: Bringing the Lean Startup Into Your Organization. N Furr, J Dyer, CM Christensens. (2014). Harvard Business Review Press.

Cabe señalar que todos los prototipos se llevarán a cabo en el Capítulo 2. En esta parte sólo se referenciará el paso 3 de la metodología. Las representaciones de cada una de las partes se aplicarán de acuerdo a la necesidad del Capítulo 2, y se cumplirá esta parte del método innovador.

- 2.2 Concepto de diseño, se conceptualizará el prototipo teórico.
- 2.3 Desarrollo de forma y dimensiones (Lote “P”, se realizarán los primeros prototipos), tomando los conceptos de diseño).
- 2.5 Dibujo en CAD, prototipo virtual.
- 3 Confirmación de la especificación técnica (Lote “C”, Prototipo).
- 3.1 Prototipo final.

Aun así, es importante señalar los pasos y las formas en las cuales se conceptualiza una idea para realizar prototipos, el método innovador da ejemplos de cómo enfrentar la iniciativa tomando todas las ideas necesarias para partir de la incertidumbre que genera la realización de un producto nuevo, e ir delimitando el concepto para llegar a lo que se quiere. Los primeros prototipos siempre revelan las necesidades que realmente conlleva el realizar un objeto, si se tiene la idea certera de lo que se quiere realizar, y si se tienen los medios para conceptualizar y plasmar todo esto en un prototipo inicial, en la figura (1.6) se puede ver claramente cómo se realizaron diferentes prototipos y como evoluciono en cada concepto, hasta llegar a lo que se desea.



Figura 1.6 Concepción de un prototipo.

Cabe señalar que el proyecto solamente llegará hasta la parte del prototipo.

#### **1.4 Modelo de negocio (validar la marcha de la estrategia de mercado).**

El modelo de negocios es muy importante ya que es la planificación que realiza una empresa respecto a los ingresos y beneficios que intenta obtener. En el modelo de negocios, se establecen las pautas a seguir para atraer clientes, definiendo las ofertas de producto e implementar estrategias publicitarias. Por ese motivo el método innovador toma en el cuarto punto la aplicación de un modelo de negocios. El método innovador dice que, hasta el punto que haya descubierto cómo satisfacer las necesidades que tiene un cliente, no es recomendable pensar en un modelo de negocios, primero se tienen que cumplir sus demandas. Pero una vez que se ha descubierto la solución que los clientes buscan, se está listo para averiguar la mejor forma de entrar al mercado. De esta manera aseguran un precio que genere ingresos y beneficios satisfactorios los cuales estén marcados en su estrategia de negocios, y se cumplan las pautas que aseguran la atracción de nuevos clientes [1].

Sin embargo, aunque la mayoría de empresarios asumen entender cómo introducir sus productos al mercado, han fallado en el intento, y desmeritando a sus productos, cayendo en el error de utilizar las mismas estrategias para todos sus productos, y tomando un solo modelo de negocios para todos, ya que cada producto debe de tener un modelo de negocios diferente. En muchas ocasiones los empresarios utilizan los mismos canales de distribución, utilizando una misma estrategia de marketing que son similares para sus productos, una estrategia de fijación de precios similares, y así sucesivamente para todos los productos [1].

El método innovador aplica el modelo de negocios de una forma individual para cada producto, no importa que la innovación de un producto sea similar o parecida a otro, siempre requieren su propio y único modelo de negocio. Y sita que alinear adecuadamente el modelo de negocios consiste en el descubrimiento y validación de su estrategia de mercado, e ir directamente con sus clientes, en la figura (1.7) se puede ver claramente cuáles son las actividades clave que debe cumplir el modelo de negocios para tener un resultado óptimo [1].

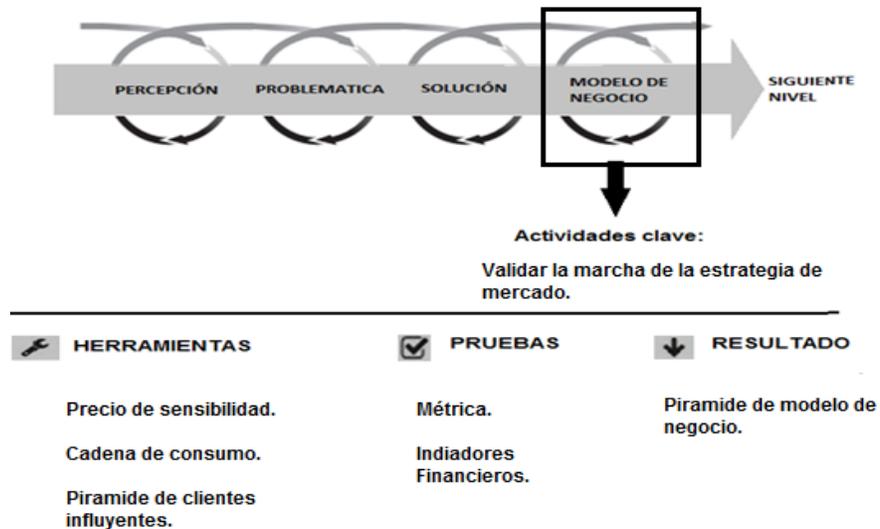


Figura 1.7. Modelo de negocios (validar la puesta en marcha de mercado).

The Innovator's Method: Bringing the Lean Startup Into Your Organization. N Furr, J Dyer, CM Christenses. (2014). Harvard Business Review Press.

Este proceso requiere la validación de cómo adquirir e influenciar clientes, como fijar los precios, y se requiere que los recursos se fijen para poder entregar su solución al mercado.

### 1.4.1 Modelo de negocios CANVAS.

La mejor manera de describir un modelo de negocios es dividirlo en nueve módulos básicos, que reflejen la lógica que sigue una empresa para conseguir ingresos. Estos nueve módulos cubren las cuatro áreas principales de un negocio, clientes, oferta, infraestructura, y viabilidad económica” [6].

Lo que viene a decir el modelo Canvas, es que, tienes una propuesta de valor, que es “tienes una propuesta lo que te hace especial en el mercado y esa propuesta está colocada en el centro de la figura (1.8). La propuesta de valor se tiene que llevar a una serie de clientes (está ubicado a la derecha), con los cuales se establecerá una serie de relaciones. Y para llevar esa propuesta de valor a los clientes, se tiene que hacer a través de canales, comerciales, internet, tiendas, offline, etc. Eso sería de puertas hacia afuera. De puertas hacia adentro (a la izquierda de la figura), se tienen las actividades y los recursos clave, es decir, lo que obligatoriamente tienes que hacer y lo que es crítico

dentro del modelo de negocio, y los socios clave con los que se va a trabajar”. Y, por último, y no menos importante que los otros siete elementos, la estructura de costos y las líneas de ingreso del negocio [6].

### 1.4.2 Modelo CANVAS del proyecto.

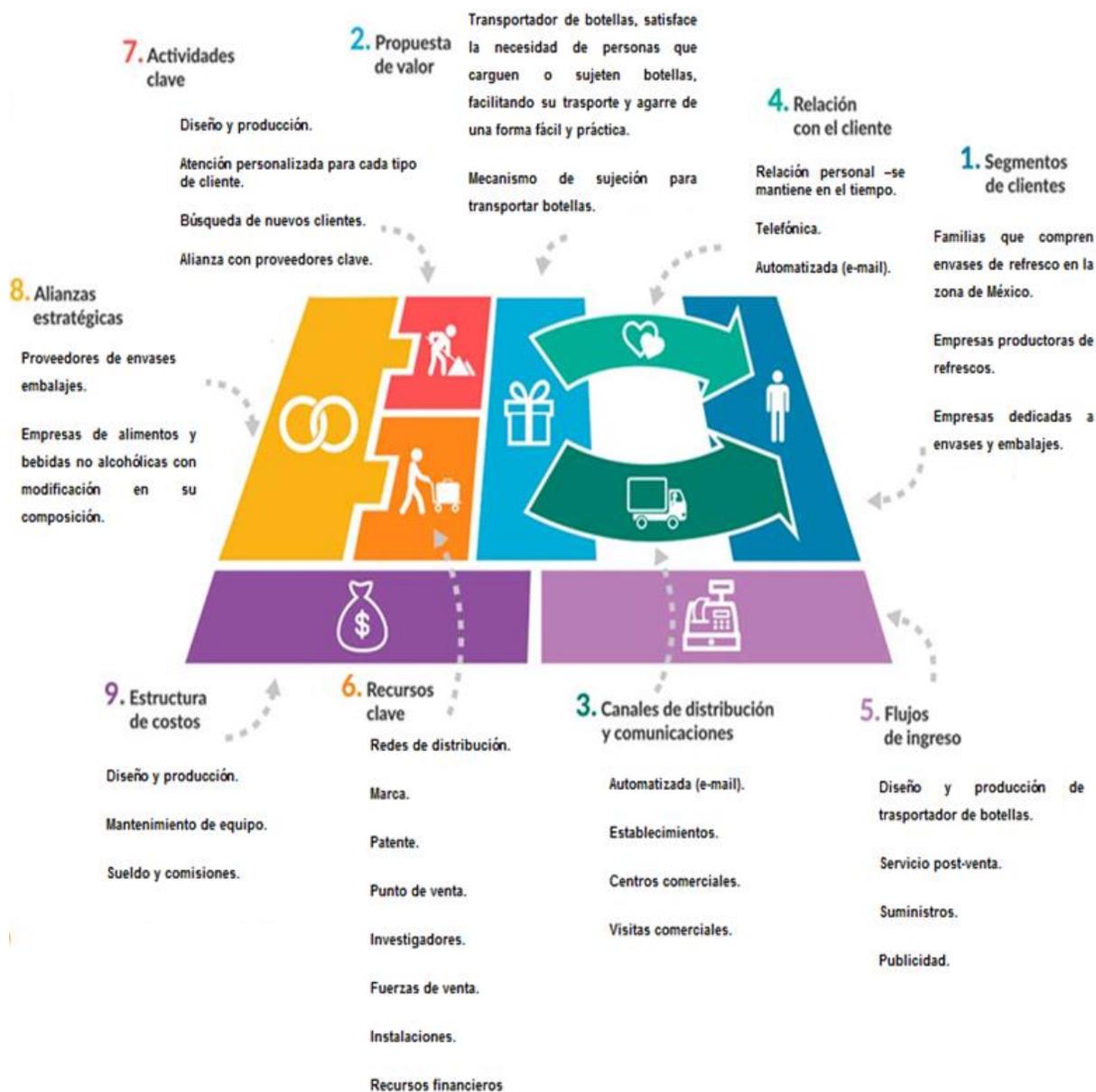


Figura 1.8 Modelo de negocios CANVAS del proyecto.

## CAPITULO 2. Desarrollo de producto (CAD/CAE).

### 2.1 Necesidad del producto.

En la actualidad es habitual cargar envases plásticos, ya sea con las manos o los brazos, al momento de comprar un refresco en una tienda o en un establecimiento, nos topamos con esta necesidad, de haber comprado uno o varios refrescos, y en este momento nos topamos con un problema, ¿Cómo sujetar el envase plástico?, lo cargamos con los brazos, lo sujetamos con una mano, con las dos manos, lo ponemos en una bolsa o buscamos la forma de sujetar el envase, se puede ver un ejemplo muy claro en la figura (2.1, 2.2). De aquí nace la idea de crear un dispositivo que pueda facilitar el agarre y sea práctico el transporte de esta botella. Se observó la oportunidad de incorporar un dispositivo en el cual se coloque en la boca del envase, y con este dispositivo se sujete el mismo, de esta forma se podrá transportar el envase de refresco, agua, o cualquier envase que pueda ser utilizado en el transportador de botellas a su lugar de destino sin ningún problema.



Figura 2.1 Usuario sujetando un envase.      Figura 2.2 Usuario cargando un envase.

Es una forma segura y práctica de llevar envases de un lugar a otro. El diseño se realizará para sujetar de 1 a 4 envases a la vez de 2 litros. Se clasificará este producto entre los bienes duraderos de uso común, ya que se pretende hacer de una manera que pueda utilizarse más de una vez.

## 2.2 Concepto de diseño.

El concepto es la esencia de un objeto, se refiere pues a su significado, el diseñador procura comunicar una idea a través de la forma, el mensaje que desea transmitir debe de ser comprendido, la descodificación que hace el usuario desde su contexto cultural debe ser apegada al planteamiento de diseñador. Prestar atención para que se dé una relación fluida entre concepto y objeto, en definitiva, es un problema de comunicación que debe de resolver el diseñador [5].

Un concepto, debe de estar presente al inicio del proceso de diseño como punto de partida, es una construcción mental predefinida que sirve para describir y clarificar los objetos y fenómenos después de haber vivido una situación que estimule nuestra capacidad de abstracción, es una disposición cerebral que se va estructurando en función de las necesidades generadas por un cliente o fabricante, el diseñador empieza a desarrollar sus primeras aproximaciones visuales a través de bocetos de una manera libre y subjetiva, que puede servir de base para depurar el modelo del producto que se va a desarrollar [5].

En la figura (2.3) se muestra el primer paso del desarrollo teórico de los prototipos, tomando las soluciones (ideas) y mostrándose como conceptos preliminares del transportador de botellas.

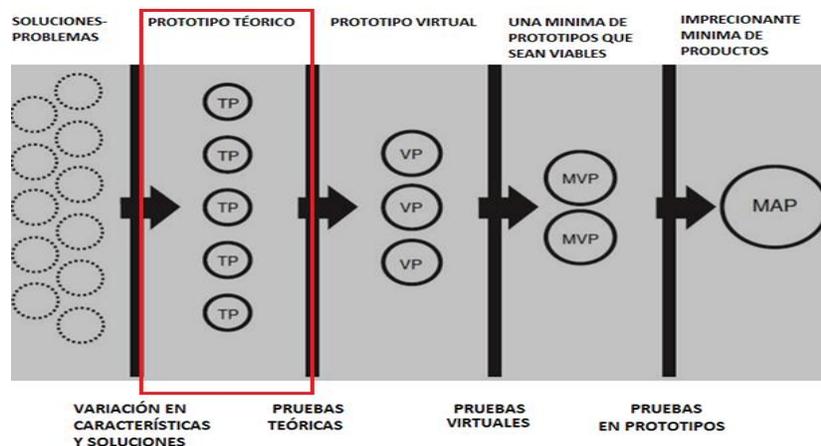


Figura 2.3. Prototipos propuestos en el Método Innovador. The Innovator's Method: Bringing the Lean Startup Into Your Organization. N Furr, J Dyer, CM Christenses. (2014). Harvard Business Review Press.

Los diferentes conceptos que se mostrarán son la evolución de la idea del manipulador de botellas. Hasta llegar al diseño que se realizará en el CAD.

Cada concepto fue tomado como base fundamental para realizar la investigación.

Se mostrarán algunas ideas plantadas en conceptos de cómo se fue desarrollando la idea.

### Concepto 1.

El primer concepto se tomó de la idea principal, que es sostener las botellas de una forma práctica y pueda sujetarse fácilmente, es muy grande y no es estético, puede verse en la figura (2.4).

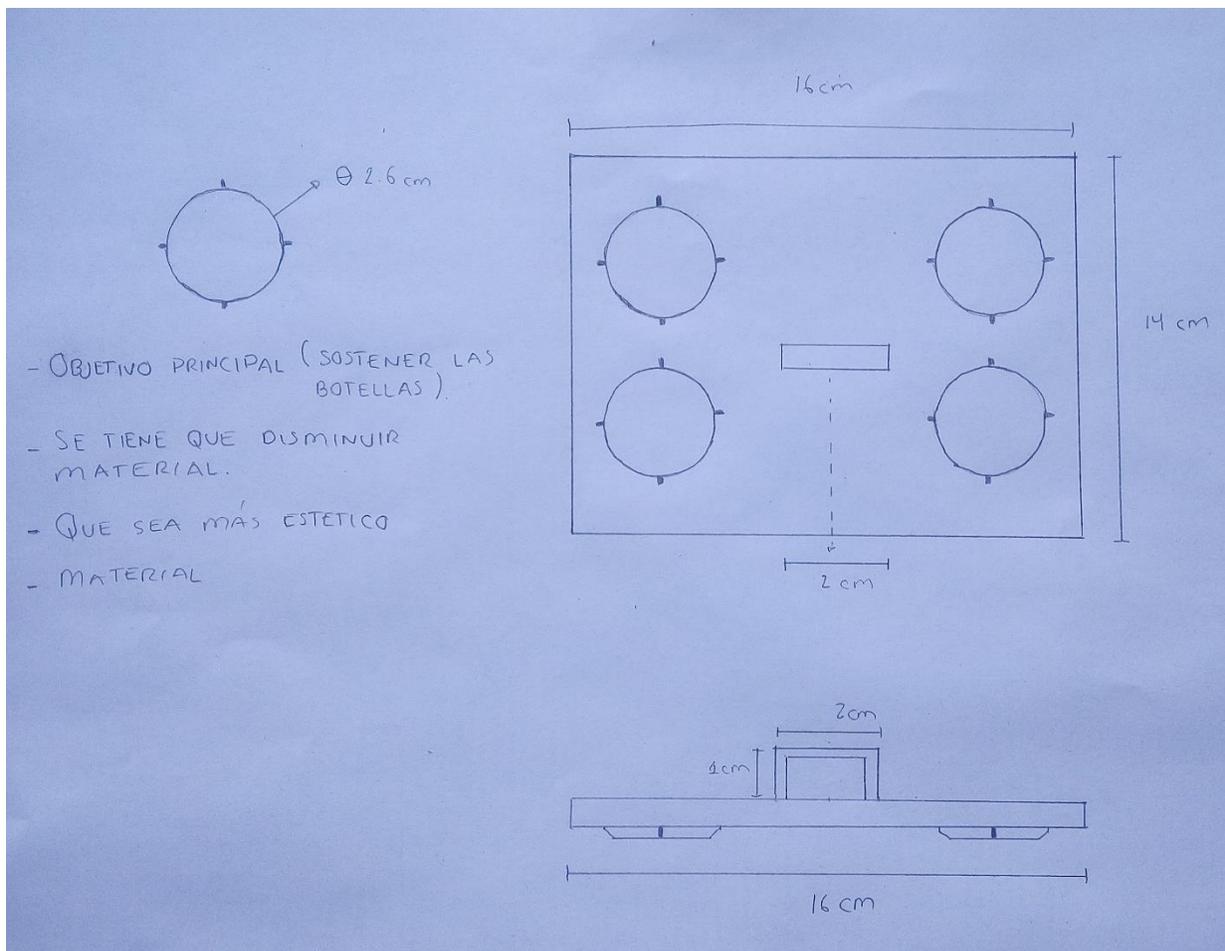


Figura 2.4 Primer concepto propuesto para el transportador de botellas.

## Concepto 2.

Teniendo en cuenta la función de la pieza que es transportar botellas, se ha cambiado un poco el concepto reduciendo la forma en algunas partes, pero que no pierda su función principal, se puede ver en la figura (2.5).

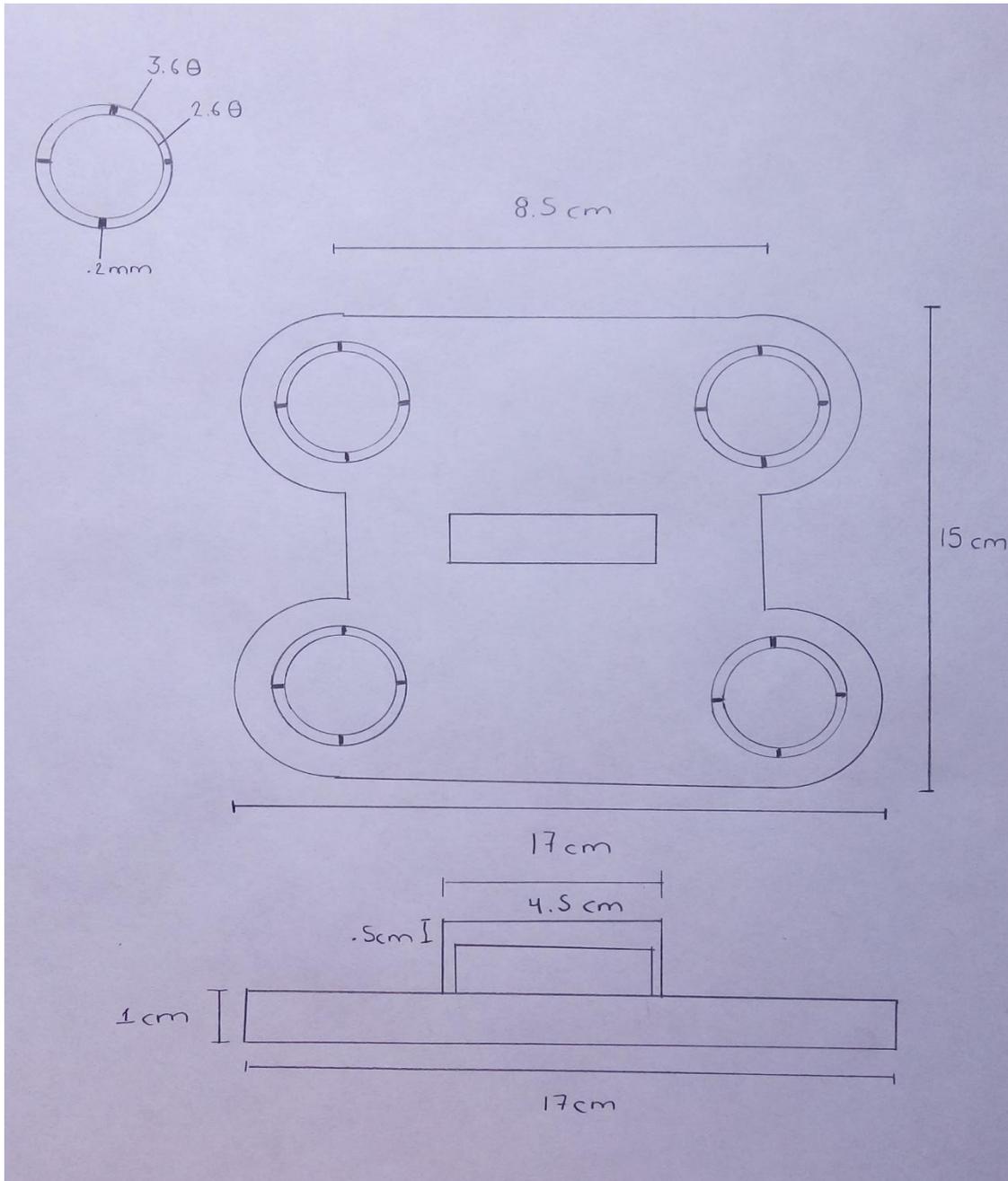


Figura 2.5 Segundo concepto propuesto para el trasportador de botellas.

### Concepto 3.

La reducción del concepto es notable se ha eliminado gran cantidad del segundo concepto, se ha hecho más estético, cuidando que no pierda su función, sujetar las botellas, se puede ver en la figura (2.6).

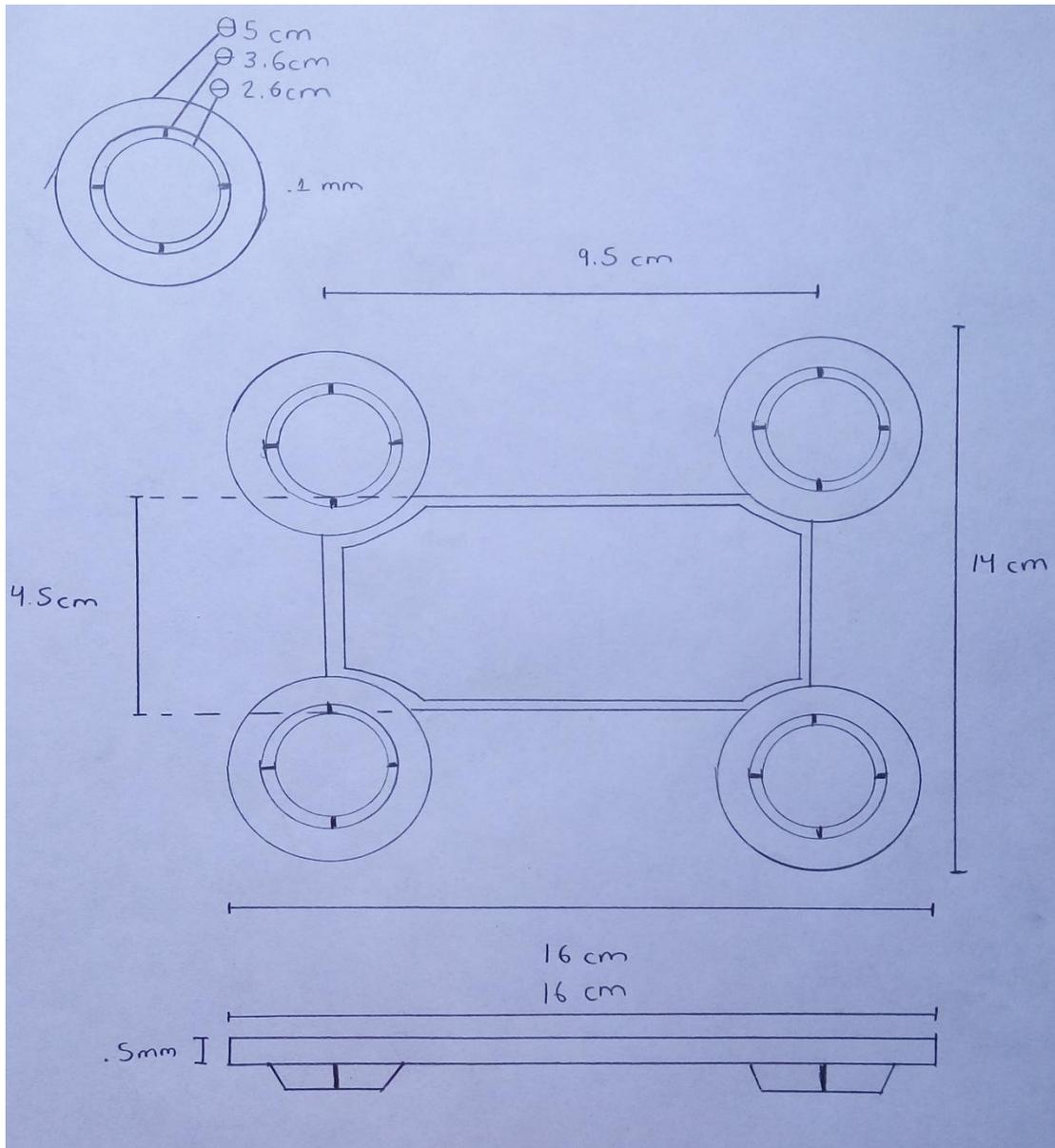


Figura 2.6 Tercer concepto propuesto para el trasportador de botellas.

#### Concepto 4.

La forma y dimensión del concepto ha cambiado, disminuyendo su forma, se puede ver en la figura (2.7).

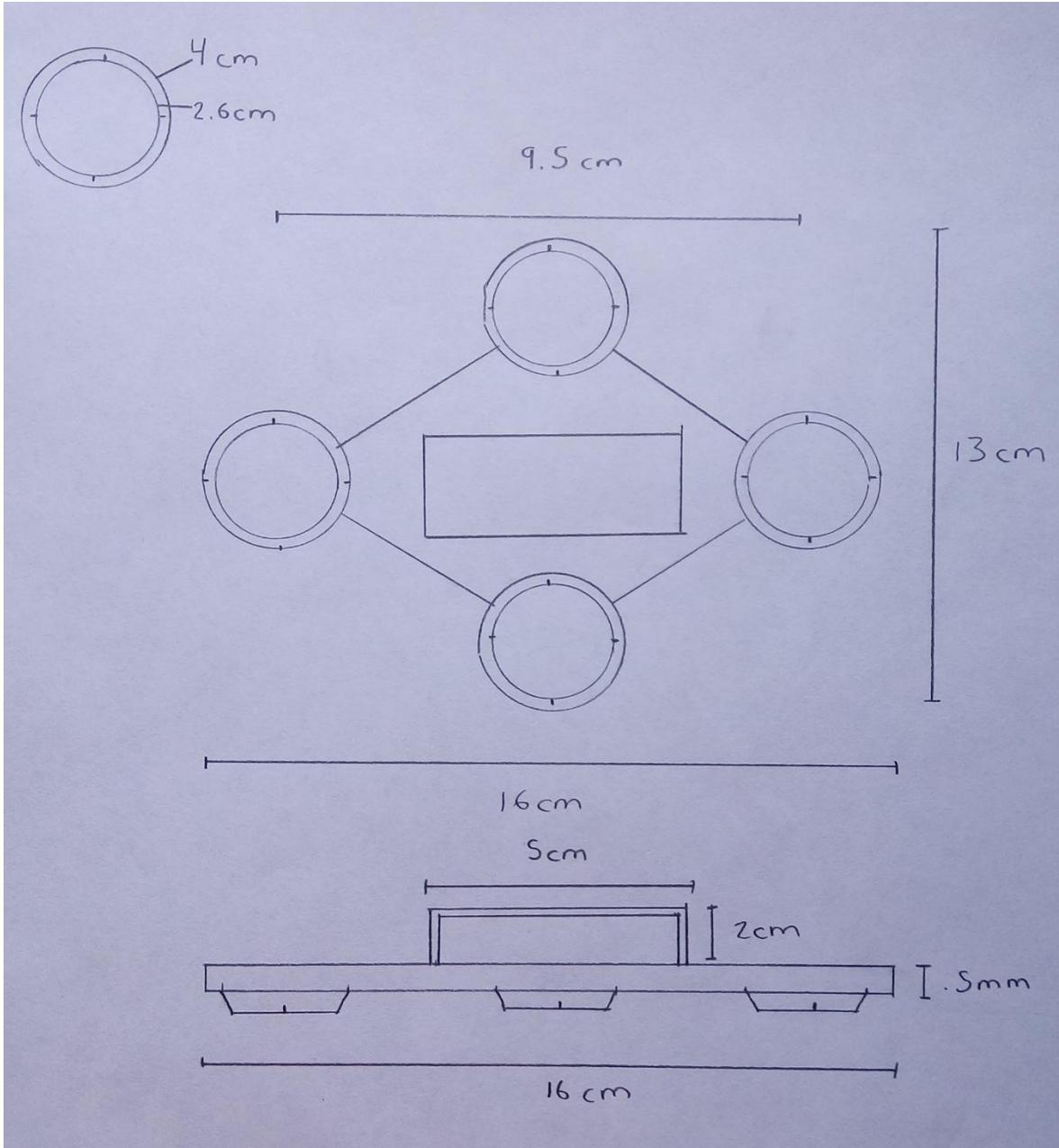


Figura 2.7 Cuarto concepto propuesto para el transportador de botellas.

### Concepto 5.

Se ha reducido la forma del diseño, se pretende clasificar la pieza como un bien duradero, que se pueda ocupar por lo menos 3 ocasiones, la confiabilidad del producto va a depender del diseño y el material que se quiera ocupar. Se puede ver cómo se ocupa el transportador de botellas en la figura (2.8).

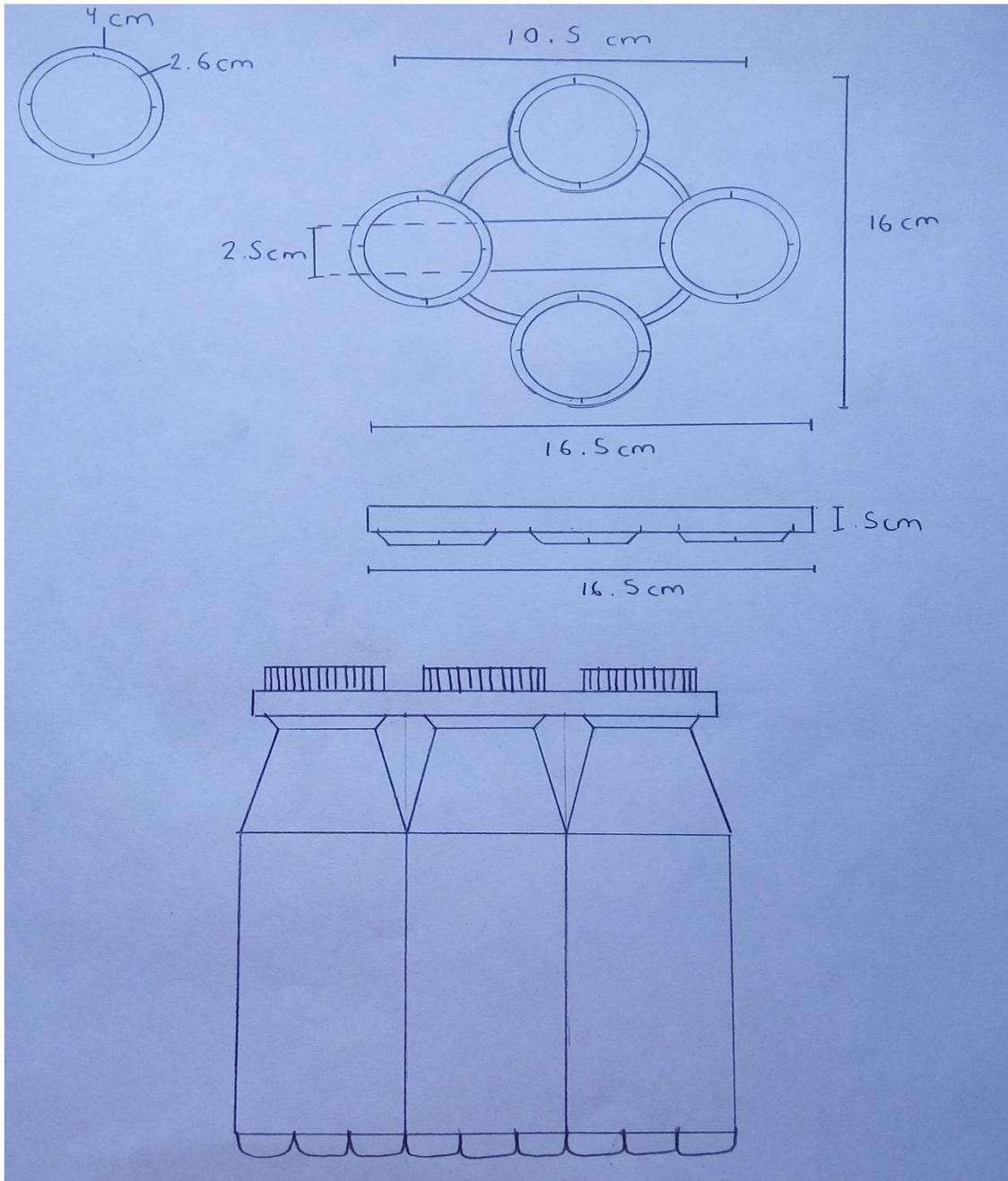


Figura 2.8 Quinto concepto propuesto para el transportador de botellas.

### 2.3 Desarrollo de forma y dimensiones (Lote "P", prototipos).

Es el primer lote de desarrollo a través del cual se definirán la forma y dimensiones iniciales del producto, se puede ver en la figura (2.9). Se debe empezar la especificación dimensional del prototipo [13].

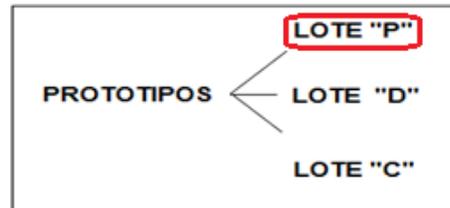


Figura 2.9. Lote "P", prototipos. MANUAL DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD, PARA PROVEEDORES DE PARTES. Departamento de Aseguramiento de la calidad y Departamento de Planeación de calidad. NISSAN (1992). NISSAN MEXICANA S.A. DE C.V.

#### Prototipos.

Un prototipo es un modelo representativo o la simulación de un sistema final. El desarrollo de prototipos en la fase de diseño de un producto es de suma importancia para evitar problemas posteriores de, tiempo, esfuerzo y dinero [21].

#### Realización y pruebas del Prototipo 1.

Se utilizó un lazo para poder sujetar las botellas de plástico, es incómodo y nada práctico, además se pueden lastimar los dedos. Se tienen que amarrar las botellas para sujetarlas con el lazo, y al momento de quitar las botellas se tienen que desamarrar, se puede ver en la figura (2.10, 2.11, 2.12).



Figura 2.10 Prueba 1.



Figura 2.11 Prueba 2.



Figura 2.12 Prueba 3.

## Realización y pruebas del Prototipo 2.

Se utilizó una parte de madera para sujetar el lazo que sujeta las botellas, es un poco más cómodo, pero el peso no se distribuye uniformemente, y sigue siendo incómodo. Se tienen que amarrar las botellas para sujetarlas con el lazo, y al momento de quitar las botellas se tienen que desamarrar, se puede ver en la figura (2.13, 2.14, 2.15).



Figura 2.13 Prueba 4.



Figura 2.14 Prueba 5.



Figura 2.15 Prueba 6.

## Realización y pruebas del Prototipo 3.

Se incorporaron más partes de madera para tener un mejor control, ahora los lazos que sujetan las botellas están acomodados de tal forma que genere estabilidad, pero sigue siendo incómodo, y se tienen que amarrar las botellas para sujetarlas con el lazo, y al momento de quitar las botellas se tienen que desamarrar, se puede ver en la figura (2.16, 2.17, 2.18).



Figura 2.16 Prueba 7.



Figura 2.17 Prueba 8.



Figura 2.18 Prueba 9.

#### Realización del Prototipo 4.

El diseño del prototipo cambio totalmente, se utilizó un material plástico para hacer la pieza, se contemplaron las medidas de diámetro de la boquilla de una botella de 2 y 3 litros y su diámetro en la parte más ancha, para que estén posicionadas correctamente unas con otras, y el peso tenga una buena distribución, se puede ver en la figura (2.19).



Figura 2.19 Prototipo 4.

## Pruebas.

### Prueba 1.

Las botellas pueden ser colocadas de una manera uniforme, cuesta un poco meter las botellas en la cavidad de agarre, el prototipo no se mueve en lo absoluto, puede verse en la figura (2.20).



Figura 2.20 Prueba 10.

### Prueba 2.

El agarre que se tiene es bueno en comparación a los prototipos anteriores, se pueden sujetar las botellas sin dificultad, pueden ser colocadas de una forma práctica, aunque cuesta un poco introducirlas en la cavidad de agarre, al momento de expulsar la botella se tiene dificultad. Es mucho menos pesado a comparación a los prototipos anteriores, y de fácil manejo, puede verse en la figura (2.21).



Figura 2.21 Prueba 11.

### 2.3.1 Tabla de comparación de prototipos.

Se desarrolló una tabla de atributos para hacer una evaluación preliminar, comparativa de los prototipos desarrollados, por las características de los mismos, no hay una que sirva de referencia, con dicha tabla se propone una manera de llevar a cabo la evaluación.

Los valores se propusieron de acuerdo a los atributos o propiedades de cada prototipo al momento de realizarlos y hacer las pruebas, se puede ver en la figura (2.10, 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18, 2.19, 2.20, 2.21).

Es importante hacer un análisis de comparación entre los diferentes prototipos realizados para tener una idea clara de que se quiere lograr con el transportador de botellas y poder mejorarlo, en la tabla (2.1) se muestran los valores especificados para cada atributo.

Atributos.	Valor.
Pésima	0
Mala	1
Regular	2
Buena	3
Muy buena	4
Excelente	5

Tabla 2.1 Valor de atributos.

Tabla de comparación de prototipos.

Atributos o propiedades del	Prototipo 1					Prototipo 2					Prototipo 3					Prototipo 4								
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
Capacidad de agarre del usuario.	X							X						X							X			
Facilidad de traslado del usuario.	X							X						X							X			
Facilidad de uso del usuario.	X							X						X							X			
Capacidad de agarre de botellas.	X							X						X							X			
Diseño.	X							X						X							X			
Apariencia.	X							X						X							X			
Material.	X							X						X							X			

Tabla 2.2 Comparación de prototipos

En base a la tabla (2.2) se seleccionará el prototipo número 4 para el desarrollo de la especificación técnica en base a este prototipo.

## 2.4 Desarrollo de la especificación técnica en base a prototipo seleccionado, (Lote "D").

Es el lote en el cual se determina la especificación tentativa, basándose en los resultados de evaluación de este lote. Es el primer lote oficial de evaluación del producto, este lote es exclusivo de diseño, basándose en los resultados de Lote "P", se muestra en la figura (2.22), [13].

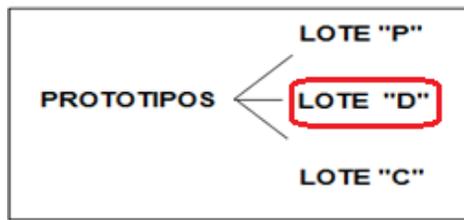


Figura 2.22 Lote "D", Desarrollo de la especificación técnica en base al prototipo seleccionado. MANUAL DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD, PARA PROVEEDORES DE PARTES. Departamento de Aseguramiento de la calidad y Departamento de Planeación de calidad. NISSAN (1992). NISSAN MEXICANA S.A. DE C.V.

Se tomará como base inicial el último prototipo propuesto para especificar las metas de calidad que se necesitan y poder analizar los criterios de las metas de calidad en base a su función, de esta manera se podrá realizar un estudio de Modos de Falla asociados con la funcionalidad del componente, causados por el diseño, se puede ver en la figura (2.23), el prototipo propuesto para poder especificar y evaluar las metas de calidad que son necesarias para el transportador de botellas.



Figura 2.23 Prototipo 4, seleccionado para evaluar metas de calidad.

### **2.4.1 Metas de calidad.**

La calidad ha sido definida como “la totalidad de características de una entidad que se basa en su capacidad para satisfacer necesidades establecidas o implícitas”. Las necesidades de calidad establecidas o implícitas son los recursos utilizados para definir los requerimientos que necesita tener el producto. De esta manera el producto o servicio tiene que alcanzar los objetivos establecidos. El enfoque central de la calidad es alcanzar o sobrepasar las expectativas de los clientes o del producto, adaptándolas al diseño y sus especificaciones [23].

Los grandes empresarios enfatizan la calidad en sus estrategias porque no pueden competir solo con el precio, los grandes líderes compiten sobre el valor en los segmentos particulares en los cuales han escogido competir. En algunos casos, los fabricantes de productos más baratos han obligado a los mercadólogos a reexaminar sus estrategias, permitiéndoles conseguir contratos con base en la ventaja técnica. Para mantener una posición de superioridad del producto, las compañías deben invertir en investigación y desarrollo para nuevos productos, así como métodos de fabricación de diseño de nuevos productos [23].

Se desarrolló una tabla para la evaluación de las metas de calidad, para hacer una evaluación preliminar, comparativa, de los criterios de metas de calidad en base a su función, por las características de las metas de calidad establecidas no hay una que sirva de referencia, con dicha tabla se propone una manera de llevar a cabo la evaluación.

Las metas de calidad que se tomaron para este producto son las siguientes:

- **Funcionalidad:** la funcionalidad que debe de tener la pieza debe de ser de una calidad muy buena, tiene un valor de 4, de acuerdo a la tabla (2.3), ya que debe cumplir con la función principal que es sujetar los embaces sin que se desprendan del dispositivo.
- **Confiabilidad:** la confianza en el funcionamiento que se quiere alcanzar en la pieza debe de ser excelente, tiene un valor de 5, de acuerdo a la tabla (2.3), ya que es de gran importancia que no se rompa el objeto al momento de transportar las botellas. El usuario debe de sentir la confianza al momento de cargar el transportador de botellas, sin miedo a que no resista.

- Apariencia: la apariencia que debe de tener el sujetador de botellas debe de ser excelente, tiene un valor de 5, de acuerdo a la tabla (2.3), ya que es un producto muy visual.
- Material: el tipo de material que debe de ser seleccionado para la pieza debe de ser bueno, tiene un valor de 3, de acuerdo a la tabla (2.3), y tener buenas propiedades mecánicas, que no se fracture el material fácilmente.
- Resistencia: debe de ser muy buena, tiene un valor de 4, de acuerdo a la tabla (2.3), ya que los esfuerzos que soporta el producto como: compresión, presión, debe de soportarlos el transportador de botellas.
- Durabilidad: la durabilidad que se pretende para el transportador de botellas es muy buena, tiene un valor de 4, de acuerdo a la tabla (2.3), ya que se clasifica como un producto duradero, y pueda ser utilizado por lo menos tres ocasiones.
- Costo: debe de ser de un precio bueno, tiene un valor de 3, de acuerdo a la tabla (2.3), ya que debe de ser accesible por cualquier persona.

De acuerdo a las metas de calidad establecidas para el transportador de botellas se propuso la tabla (2.3). Estos valores se definieron de acuerdo al valor que se proponga a cada meta de calidad.

<b>Atributos.</b>	<b>Valor.</b>
Pésima	0
Mala	1
Regular	2
Buena	3
Muy buena	4
Excelente	5

Tabla 2.3 Valor de atributos, para evaluar las metas de calidad.

#### **2.4.2 Criterios de metas de calidad en base a la función.**

Las metas de calidad, son aquellas que debe de cumplir el producto, en este caso es para la función. Es de gran importancia establecerlas y ver el criterio que se necesita para cada una. De acuerdo a la tabla (2.4), se muestra el valor de cada criterio que se ha escogido para cada meta de calidad. Los datos se tomaron de acuerdo al valor dado para cada meta de calidad, tomando en cuenta la tabla (2.3).

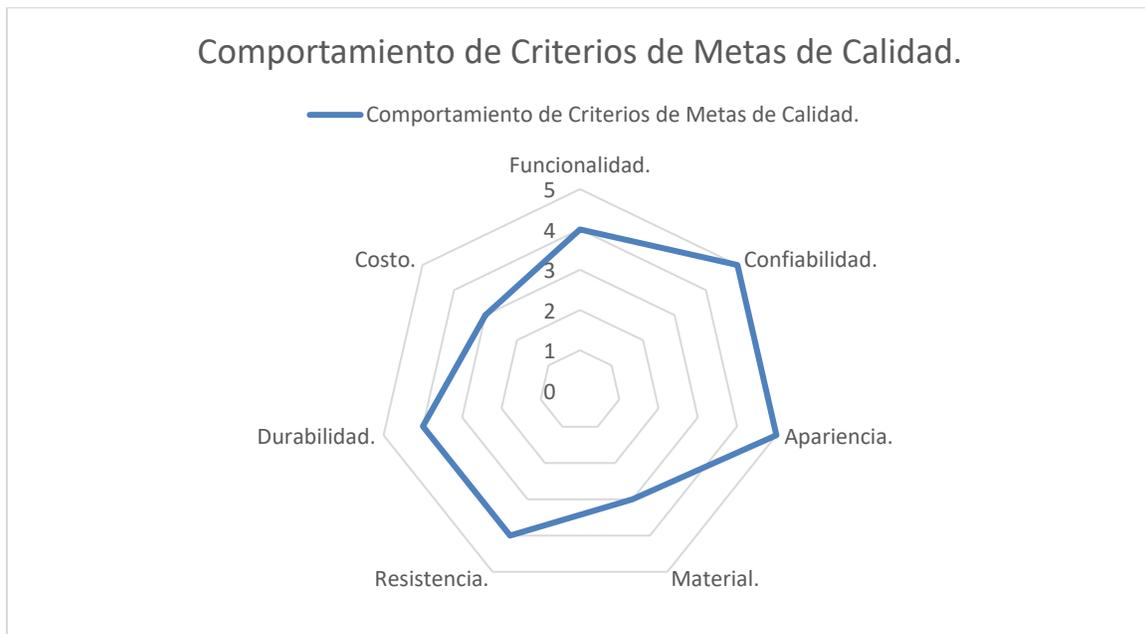
Tabla de criterios de metas de calidad en base a la función.

Metas de Calidad.	Valores de criterios establecidos para las Metas de Calidad.					
	Pésima (0)	Mala (1)	Regular (2)	Buena (3)	Muy buena (4)	Excelente (5)
Funcionalidad.					4	
Confiabilidad.						5
Apariencia.						5
Material.				3		
Resistencia.					4	
Durabilidad.					4	
Costo.				3		

Tabla 2.4 Criterios de metas de calidad en base a la función.

A continuación, se mostrarán los criterios de las metas de calidad en base a la función del prototipo 4, y poder analizar con una gráfica de radar el comportamiento de cada uno, se puede ver en la gráfica (2.1).

### 2.4.3 Grafica de Radar (Criterios de las Metas de Calidad).



Grafica 2.1 Criterios de metas de calidad.

Por lo tanto, las metas de calidad establecidas para el prototipo muestran las diferencias entre el desempeño que se quiere obtener de cada una, mostrando cuales tienen mayor peso y por lo tanto son prioridad. Cabe señalar que cada meta de calidad es importante para el diseño del transportador de botellas.

#### 2.4.4 Realización del AMEF de diseño en base al prototipo 4.

AMEF de diseño: es utilizado para analizar componentes de diseños. Se enfoca hacia los Modos de Falla asociados con la funcionalidad de un componente, causados por el diseño [15]. Se muestra en la tabla (2.5) el AMEF de diseño que se realizó para el último prototipo.

AMEF Análisis Modal de Fallos y Efectos Potenciales (Diseño).																
Nombre del sistema: Transportador de botellas.				Nombre del proveedor exterior:				Nombre/Firma: Zarur Ramirez Robles.								
Referencia subsistema: Sujetador de botellas.				Otros sectores involucrados:				Supervisor. Nombre/Firma: M. en I. Raymundo Medina Negrete.								
Modelo/ año: 2016.				Fecha de producción programada: Transportador # 1, 2016.				Fecha AMEF original: 27/07/2016. Revisión: 1								
Nombre Ref. de la pieza.	Función de la pieza.	Modo de fallo potencial.	Efecto potencial de fallo.	Causa potencial de fallo.	Condiciones Existentes.				Acción y estado recomendados.	Área responsable de la acción correctora.	Resultados.					
					Controles actuales.	Ocurrencia.	Gravedad.	Detección.			N° Prioridad de Riesgo (NPR).	Acción emprendida.	Ocurrencia.	Gravedad.	Detección.	N° de Prioridad de Riesgo (NPR).
Transportador.	Sujeta las botellas por el embudo.	Ruptura.	La botella se cae del transportador.	Mala elección de material.	Ninguno.	2	10	10	200	Buscar material adecuado.	Diseño.	Incorporar en especificación técnica del producto material idóneo.	1	10	10	100
				Espesor de material inadecuado.	Espesor verificado cada 15 minutos.	1	9	10	90	Inspección visual e piezas.	Calidad.	Incrementar diámetros en pieza.	1	9	6	54
				Defectos del material.	Verificar ficha técnica del material.	1	9	20	180	Inspección visual de piezas.	Calidad.	Secado de material.	1	9	8	72
		Deformación.	Demasiado peso, manejo incorrecto.	Pieza fuera de especificación.	Establecer medidas críticas en la pieza.	2	9	10	180	Inspección de medidas en dibujo técnico.	Diseño.	Inspección de medidas en CAD.	1	6	2	12
				Espesores inadecuados de la pieza.	Establecer espesores críticos de la pieza.	2	8	10	160	Inspección de espesores al 100%.	Calidad.	Inspección de espesores automáticos al 100%.	1	6	6	36

Tabla 2.5 AMEF de diseño en base al prototipo 4.

Los valores que se tomaron para evaluar el AMEF de diseño del prototipo 4, fueron tomados de acuerdo a las tablas de evaluación del AMEF de diseño que se muestran en la tabla (2.6).

## Tablas de evaluación de AMEF de Diseño.

Tabla de Evaluación de la Probabilidad de Ocurrencia de fallo "O"				Tabla de Evaluación de la Gravedad o severidad de fallo "G"		
Probabilidad de fallo		Indice Ocurrencia "O"	Promedio Ocurrencia	Gravedad	Indice de gravedad "G"	Criterio de gravedad
Remota	Es impensable esperar que se produzca un fallo, porque se tiene gran experiencia.	1	0 a <1 por millón	Menor	1	Escasa importancia. No influirá en el producto. El cliente no se percatará de su existencia.
Baja	Probabilidad de muy pocos fallos	2	$\geq 1$ y < 50 por millón	Baja	2	El cliente lo puede detectar pero apenas le causa molestias. No supone disminución de las prestaciones del producto.
		3	$\geq 50$ y < 250 por millón		3	
Moderada	Probabilidad moderada de que se produzcan fallos. Los fallos aparecen de forma ocasional.	4	$\geq 0,25\%$ y < 0,5%	Moderada	4	El cliente probablemente detectará el fallo y le provocará cierta molestia, aunque no es un rechazo total. Puede suponer ciertos gastos para eliminar el conflicto.
		5	$\geq 0,50\%$ y < 1%		5	
		6	$\geq 1\%$ y < 2%		6	
Alta	Probabilidad alta de que se produzcan fallos, puesto que el proceso no se encuentra bajo control y la capacidad no está asegurada.	7	$\geq 2\%$ y < 5%	Alta	7	Gran descontento por parte del cliente, ya que acarrea gastos de reparación altos y disminución de las prestaciones del producto.
		8	$\geq 5\%$ y < 12%		8	
Muy alta	Casi con toda seguridad se producirán fallos.	9	$\geq 12\%$ y < 50%	Muy alta	9	Fallo muy grave que aparece sin advertencia previa y puede originar graves problemas a los usuarios. Incumplimiento de Normas de seguridad, Reglamentos, etc.
		10	$\geq 50\%$		10	

Tabla de Evaluación de la Probabilidad de Detección de fallo "D"			
Probabilidad de fallo		Indice Ocurrencia "O"	Promedio Ocurrencia
Remota	Probabilidad remota de que el producto llegue al cliente con fallo. El fallo será DETECTADO con toda seguridad.	1	0 a < 4%
Baja	La probabilidad de no detectar el fallo es baja. Existen detectores que impiden que llegue el fallo al usuario.	2	$\geq 4\%$ y < 10%
		3	$\geq 10\%$ y < 20%
Moderada	Moderada probabilidad de que llegue el defecto al usuario. Normalmente se detecta pero puede pasar desapercibido.	4	$\geq 20\%$ y < 30%
		5	$\geq 30\%$ y < 40%
		6	$\geq 40\%$ y < 50%
Alta	Probabilidad elevada de que el defecto llegue al cliente. No existe diseño de control adecuado.	7	$\geq 50\%$ y < 60%
		8	$\geq 60\%$ y < 70%
Muy alta	Resulta muy difícil detectar el fallo, por lo tanto es muy probable que llegue al cliente.	9	$\geq 70\%$ y < 80%
		10	$\geq 80\%$

Tabla 2.6 Evaluación de AMEF de diseño.

## 2.5 Dibujo en CAD (SolidWorks).

El diseño de una pieza plástica utilizando el modelado en CAD (Computer Aided Design), con SolidWorks, consiste en crear una representación gráfica de un objeto físico en 3D, aportando soluciones que mejoren el proceso de diseño, dotando al diseño que se realiza de ventajas como: posibilidad de corregir errores en la fase de diseño, ahorro de tiempo y aumento de la productividad ante las posibles modificaciones de mejora de la pieza, facilidad de la herramienta, respecto a los sistemas de dibujo tradicional, mayor calidad y precisión en el producto, mejorando la imagen, mejorar la comunicación con el equipo de trabajo CAE, disminución de costes en la producción. Etapas de desarrollo de producto, formas, dimensiones, desarrollo de especificación técnica de producto, conceptos de diseño, funcionalidad [24].

En este punto se llevará a cabo el prototipo virtual, que el Método Innovador toma como punto importante, para poder eliminar la incertidumbre que surge al momento de plasmar la idea generada en los prototipos teóricos, y poder transmitir esa idea en un prototipo virtual, se puede ver en la figura (2.24),

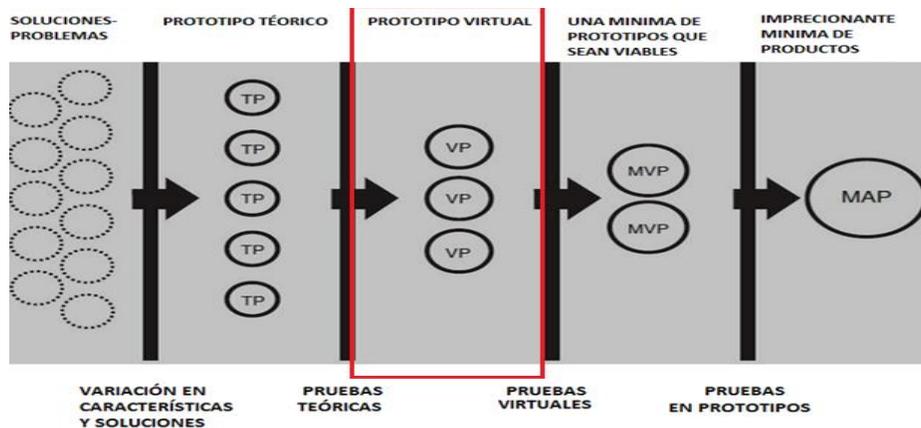


Figura 2.24 Prototipo virtual. The Innovator's Method: Bringing the Lean Startup Into Your Organization. N Furr, J Dyer, CM Christenses. (2014). Harvard Business Review Press.

### 2.5.1 Modelos propuestos.

#### Modelo 1.

Este modelo fue el inicial, partiendo de la necesidad que se tiene, sujetar las botellas, solamente es una representación de lo que se quiere realizar. Cabe señalar que no se hizo ningún tipo de estudio en el modelo, se puede ver en la figura (2.25).

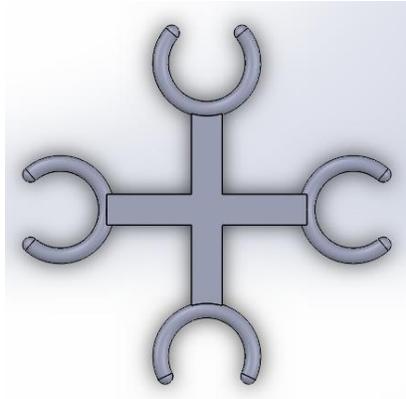


Figura 2.25 Modelo 1.

#### Modelo 2.

El segundo modelo es una representación del diseño de la pieza que se quiere tomar, las medidas no son especificadas, se cubrió la parte estética. Cabe señalar que no se hizo ningún tipo de estudio en el modelo, se puede ver en la figura (2.26).

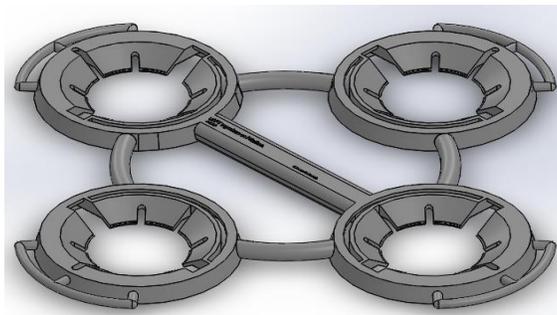


Figura 2.26 Modelo 2.

### Modelo 3.

En el modelo tres, se partió de las medidas necesarias que necesita la pieza, tomando medidas de botellas de 2 y 3 litros, se tomó el diámetro del embudo, como el diámetro en la parte más ancha de la botella, para que tengan espacio entre ellas. Cabe señalar que no se hizo ningún tipo de estudio en el modelo, se puede ver en la figura (2.27).

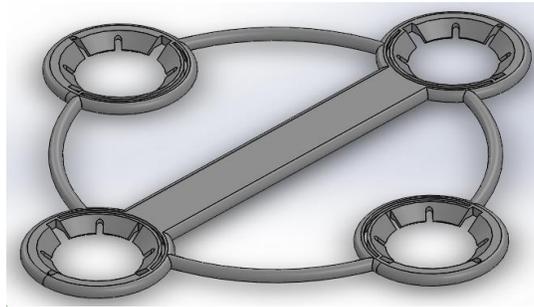


Figura 2.27 Modelo 3.

### Modelo 4.

En este modelo se empezó a trabajar con el diseño específico de la pieza, tratando de cubrir los espesores y dimensiones necesarias para que pueda resistir el peso, el diseño se hizo más robusto en algunas partes. Cuidando las medidas del embudo de la botella y la distancia que hay entre ellas. Cabe señalar que no se hizo ningún tipo de estudio en el modelo, se puede ver en la figura (2.28).

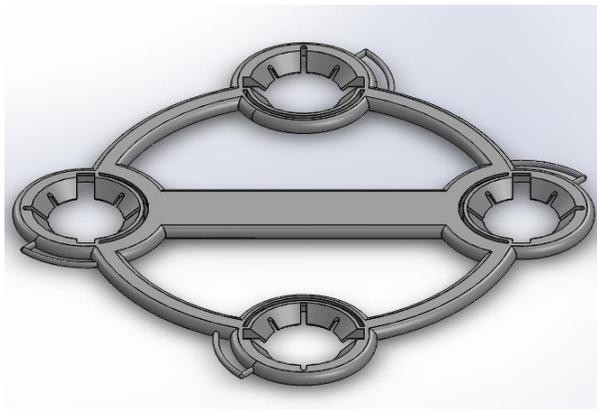


Figura 2.28 Modelo 4.

## Modelo 5.

Este modelo fue el último en proponerse, teniendo en cuenta que cumpla con forma y dimensiones que se requieren en el diseño. Se tomará este diseño como base para hacer las pruebas necesarias de carga-deformación y flujo de material, se puede ver en la figura (2.29).

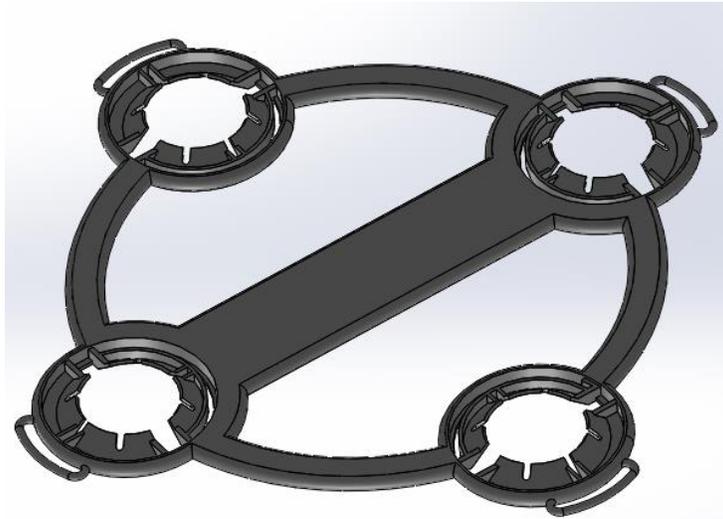


Figura 2.29 Modelo 5.

### 2.5.2 Modelo final de la pieza.

Se muestra en la tabla (2.7) el modelo final que fue seleccionado.

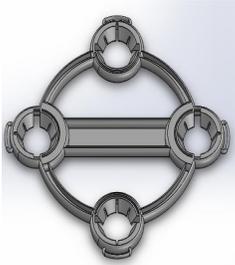
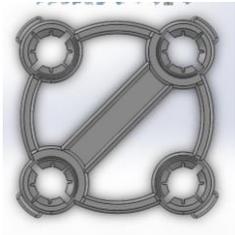
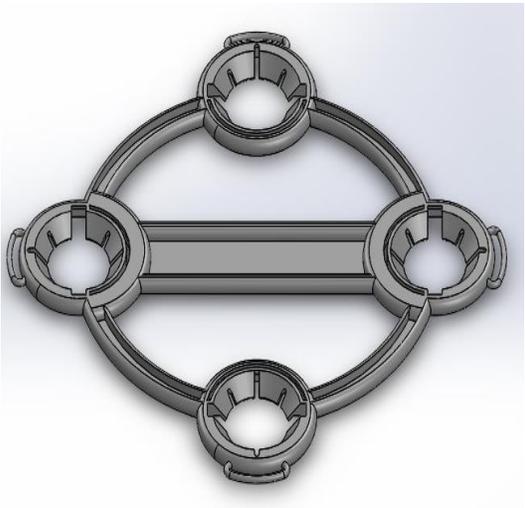
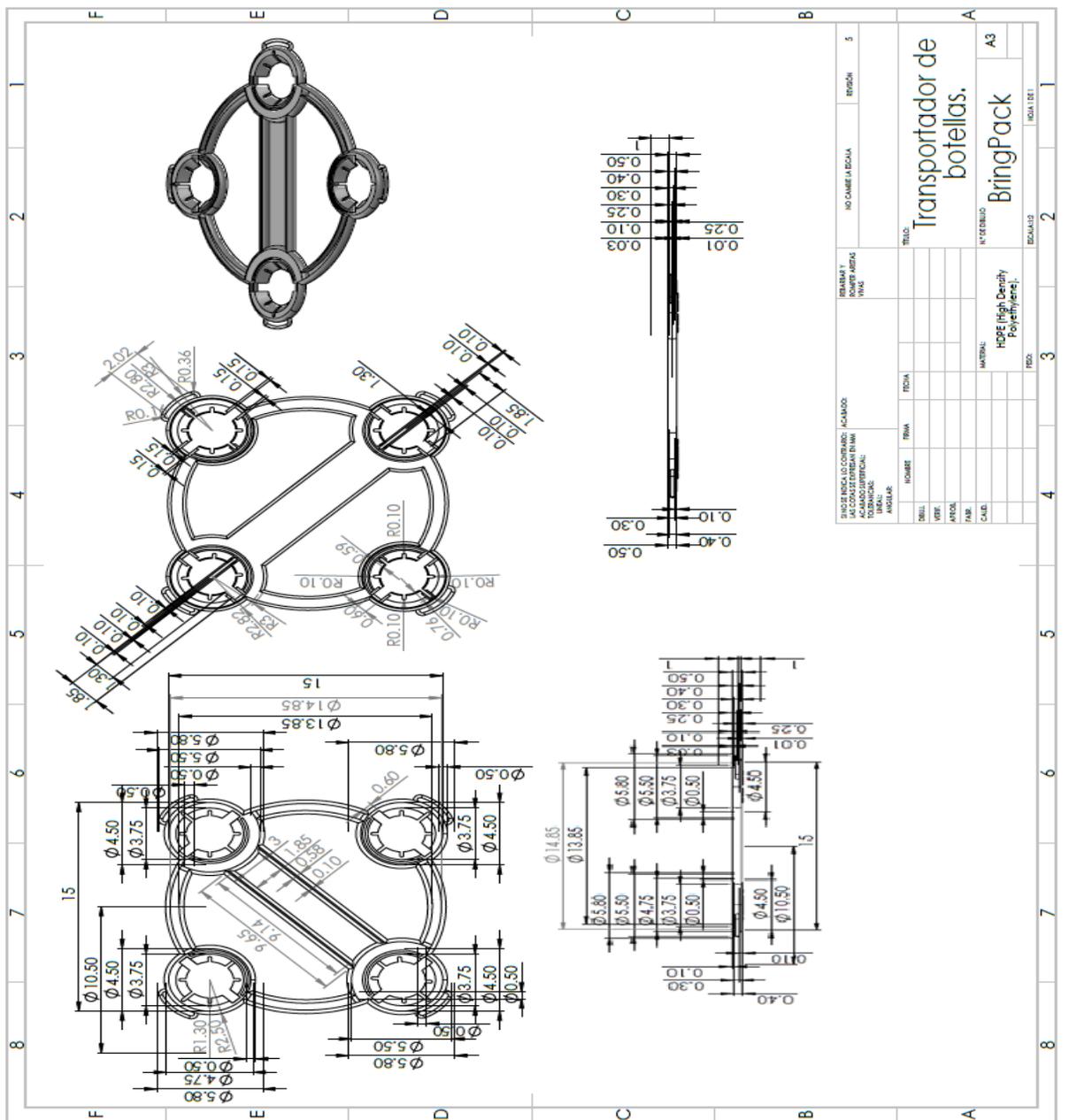
Referencia.	Referencia.	Tratado como.	Propiedades volumétricas.
Vista isométrica. 	Vista frontal. 	Sólido.	Volumen: 27.70 cm <sup>3</sup> Peso: 23.26 gm Dimensiones: X: 160.94 (mm) Y: 5.74 (mm) Z: 160.96 (mm)
Vista superior. 	Vista posterior. 		
Vista inferior. 	Vista izquierda. 		

Tabla 2.7 Modelo final de la pieza.

### 2.5.3 Especificación técnica del producto.

Se puede ver en la figura (2.30) la especificación técnica del producto, realizada con SolidWorks.



## **2.6 Aplicación de CAE para simulación del desempeño del producto.**

Es el uso de software computacional para simular desempeño y así poder hacer mejoras a los diseños de productos o bien apoyar a la resolución de problemas de ingeniería para una amplia gama de industrias. Esto incluye la simulación, validación y optimización de productos, procesos y herramientas de manufactura [16].

### **2.6.1 Análisis de carga deformación (SolidWorks, SimulationXpress).**

La mayoría de los problemas de análisis precisan la realización de un análisis detallado del producto con el fin de obtener simulaciones más precisas y acordes con la realidad antes que se decida el diseño final. SimulationXpress ayuda a predecir el comportamiento de una pieza bajo los efectos de una carga, así como a detectar posibles problemas en las etapas iniciales del ciclo de diseño [17].

En SimulationXpress, se aplican cargas y sujeciones a una pieza, especifica su material, la analiza y ve los resultados toda esta información se incluye en el estudio de simulación. De esta forma hace una evaluación utilizando Análisis de Elemento Finito, para mostrar el análisis de carga deformación que se necesita realizar. Es de gran importancia conocer las propiedades mecánicas del plástico que se utilizará y partir de ahí para poder interpretar los análisis que se mostrarán en la simulación de carga deformación. De esta forma se podrán analizar los estudios que se muestren en el análisis [17].

## Tabla esfuerzo-deformación de los polímeros.

Es importante recordar el diferente comportamiento de materiales termoplásticos y saber cómo se deforman bajo una acción de tensión. Una curva muy característica de un termoplástico se muestra en la tabla (2.8), que indica la forma en que las cadenas se mueven y que distingue a cada uno de esos materiales, especialmente cuando se compara esta gráfica con diferentes materiales. Cada polímero tiene un comportamiento distinto en la tabla de esfuerzo-deformación, en este caso nos centraremos en el HDPE (por sus siglas en inglés, High Density Polyethylene) o PEAD (polietileno de alta densidad), ya que es el polímero que se utilizará para el transportador de botellas, y nos interesa saber sus propiedades mecánicas para ver el comportamiento que tiene este material en las pruebas [7].



Tabla 2.8 Tabla esfuerzo-deformación de los polímeros. En “Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales”, Universidad Politécnica de Valencia, 2016, [http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15\\_3.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15_3.html). Copyright [2016] Universidad Politécnica de Valencia, España. Reimpresión. Autorizada.

## Tabla esfuerzo-deformación del HDPE (High Density Polyethylene).

Grado de cristalinidad: este factor afecta notablemente la resistencia, puesto que a medida que aumenta lo hace la resistencia a la tracción, su módulo de elasticidad (módulo de Young) y densidad cambia [7].

Se puede ver en la tabla (2.9), el diferente comportamiento del HDPE (High Density Polyethylene), contra el LDPE (Low Density Polyethylene) o PEBD (polietileno de baja densidad).

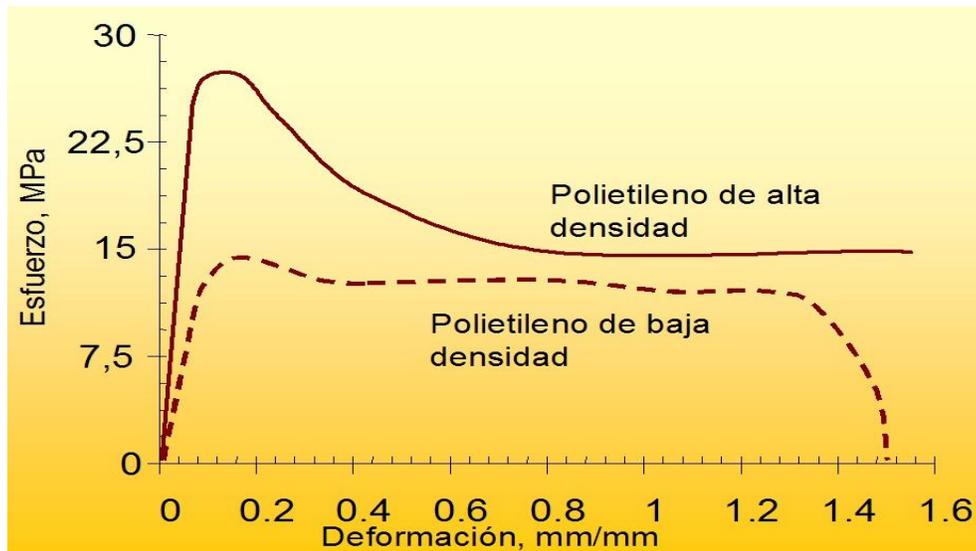


Tabla 2.9 Tabla esfuerzo-deformación del HDPE (High Density Polyethylene). En "Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales", Universidad Politécnica de Valencia, 2016, [http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15\\_3.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15_3.html). Copyright [2016] Universidad Politécnica de Valencia, España. Reimpresión. Autorizada.

El HDPE (High Density Polyethylene), es un polímero de cadena lineal no ramificada, por lo cual su densidad es alta y las fuerzas intermoleculares también, es un material termoplástico parcialmente amorfo y parcialmente cristalino. Su grado de cristalinidad depende del peso molecular, de la cantidad de comonomero presente y del tratamiento térmico aplicado. Presenta mejores propiedades mecánicas (rigidez, dureza y resistencia a la tensión) y mejor resistencia química y térmica que el LDEP (Low Density Polyethylene) debido a su mayor densidad. Además, es resistente a bajas temperaturas, impermeable, inerte (al contenido), con poca estabilidad dimensional y no tóxico. Es de un fácil procesamiento y buena resistencia al impacto y a la abrasión, larga vida útil,

menor costo de adquisición, algo que se quiere tener en el transportador de botellas. Por esa razón se ha seleccionado el HDPE (High Density Polyethylene), ya que es un material que se adapta a las necesidades del material que se busca.

Se realizarán los estudios de carga-deformación utilizando el software SolidWorks, en el cual se ocupará una de sus herramientas para hacer este tipo de análisis la cual hace una simulación de tensión de esfuerzo y deformación.

### **Análisis de simulación de esfuerzos estáticos bajo una carga (CAE).**

Estudios estáticos denominados también como estudios de tensión, calculan desplazamientos, fuerzas de reacción, deformaciones unitarias, tensiones y la distribución del factor de seguridad. La importancia de este análisis estático, es que puede dar los valores mínimos y máximos donde puede fallar el diseño y el material que se ha escogido, mostrando de esta manera los resultados de tensiones que exceden el límite elástico del material y las tensiones que se generan.

### **Sujeciones.**

Se deben aplicar distintas sujeciones en el sólido virtual para evitar que la pieza se mueva cuando se apliquen cargas. Las sujeciones aplicadas son lo más parecido a cómo se tomará la pieza cuando se utilice en un ambiente real, de esta forma se podrán analizar el comportamiento que tendrá al momento de utilizar.

Las sujeciones se establecerán en la parte que se muestra en la tabla (2.10).

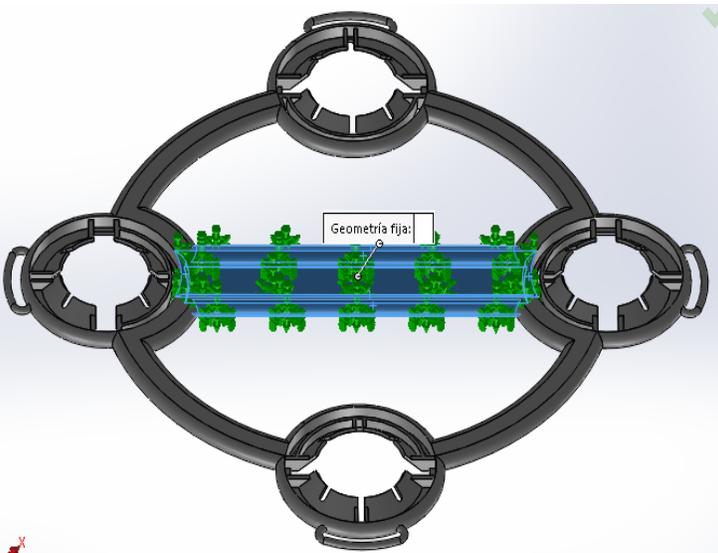
Nombre de sujeción.	Imagen de sujeción.	Detalles de sujeción.
Fijo – 1.		Entidades: 9 caras. Tipo: geometría fija.

Tabla 2.10 Sujeciones, en la parte que el usuario sujeta el transportador de botellas.

### Carga.

El transportador de botellas, está diseñado para sujetar 4 envases plásticos de 2 L cada uno, se contempla que pueda cargar 80 N, que son 8.1577 Kgf, pero se quiere tener un factor de seguridad que sea de 1.5, para que pueda sujetar botellas hasta de 2.5 L, por esa razón se decidió que fuera 120 N.

La carga que se utilizará para realizar el estudio será de 120 N, son 12.2365 Kg.

Se muestra en la tabla (2.11), donde se aplicaron las cargas, toda la parte de color azul es en donde actuara la fuerza, se invirtió la posición ya que la carga actuara de esa forma.

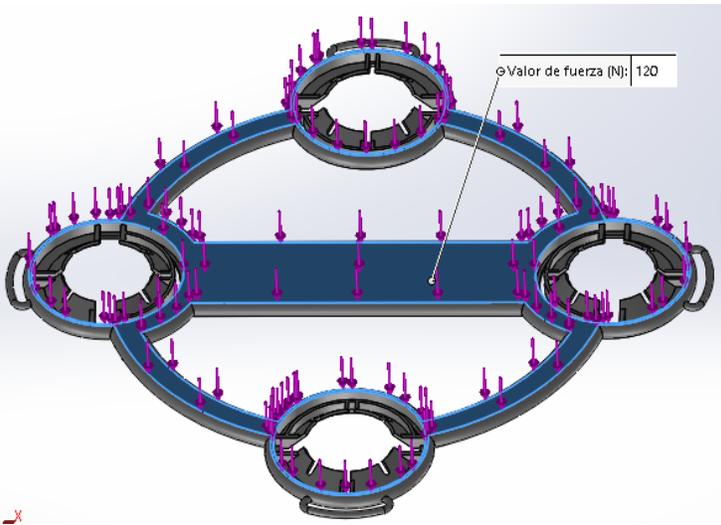
Nombre de carga.	Carga imagen.	Detalles de carga.
Fuerza – 1.		Entidades: 1 cara. Tipo: aplicar fuerza normal. Valor: 120 N.

Tabla 2.11 Cargas, de acuerdo a la función en la pieza.

### Material.

El tipo de material para la simulación fue seleccionado de la biblioteca de materiales que presenta SolidWorks, es un HDPE (High Density Polyethylene), de acuerdo a las propiedades mecánicas que presenta el material como (rigidez, dureza y resistencia a la tensión).

### Densidad de malla.

El FEA (Finite Element Analysis) o (análisis de elemento finito), proporciona una técnica numérica fiable para analizar los diseños de ingeniería. El proceso empieza con la creación de un modelo geométrico. A continuación, el programa subdivide el modelo en pequeñas porciones de formas (elementos) simples conectadas en puntos comunes (nodos). Los programas de análisis de elementos finitos consideran el modelo como una red de elementos discretos interconectados. FEM (Finite Element Method) o (método de elemento finito), predice el comportamiento del modelo mediante la combinación de la información obtenida a partir de todos los elementos que conforman el modelo [18].

El mallado es un paso crucial en el análisis de diseño, el mallador automático en el software genera una malla basándose en un tamaño de elemento global, una tolerancia

y especificaciones locales de control de malla. El control de malla le permite especificar diferentes tamaños de elementos de componentes, caras, aristas y vértices [9].

El software estima un tamaño de elemento global para el modelo tomando en cuenta su volumen, área de superficie y otros detalles geométricos. El tamaño de malla generada (número de nodos y elementos) depende de la geometría y las cotas del modelo, el tamaño de elemento, la tolerancia de la malla, el control de malla, y las especificaciones de contacto. En las primeras etapas del análisis de diseño donde los resultados aproximados pueden resultar suficientes, puede especificar un tamaño de elemento mayor para una solución más rápida. Para obtener una solución más precisa, es posible que sea necesario utilizar un tamaño de elemento más pequeño [9].

El mallado genera elementos sólidos tetraédricos en 3D, elementos de vaciado triangulares en 2D y elementos de viga en 1D. Una malla está compuesta por un tipo de elementos a no ser que se especifique el tipo de malla mixta. Los elementos sólidos son apropiados para modelos de gran tamaño, los elementos de vaciado resultan adecuados para modelar piezas delgadas (chapas metálicas) y las vigas y cabezas de armadura son apropiados para modelar miembros estructurales [9].

En la tabla (2.12, 2.13) se muestra la información y los detalles que SolidWorks genera del tipo de malla que genera el programa.

### Información de malla.

La calidad de malla que se utilizó es de elementos cuadráticos de alto orden, se define una malla solida basada en curvatura de 4 puntos, el tamaño de los elementos es de 0.185315 cm (valor muy fino), en la tabla (2.12, 2.13), se pueden ver todos los valores generados por el análisis de simulación de SolidWorks.

<b>Tipo de malla:</b>	Malla sólida.
<b>Mallado utilizado:</b>	Malla estándar.
<b>Transición automática:</b>	Desactivar.
<b>Incluir bucles automáticos de malla:</b>	Desactivar.
<b>Puntos jacobianos:</b>	4 puntos.
<b>Tamaño de elementos:</b>	0.185315 cm
<b>Tolerancia:</b>	0.00926577 cm
<b>Calidad de malla:</b>	Elementos cuadráticos de alto orden.

Tabla 2.12 Información de malla.

### Detalles de malla.

<b>Número total de nodos.</b>	83336
<b>Número total de elementos.</b>	43725
<b>Cociente máximo de aspecto.</b>	18.552
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3.</b>	96
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10.</b>	0.0412
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana).</b>	0
<b>Tiempo para completar la malla.</b>	00:00:40

Tabla 2.13 Detalles de malla.

## Malla de la pieza.

En la figura (2.31, 2.32) se muestra el tipo de malla generada en el sólido por SolidWorks.

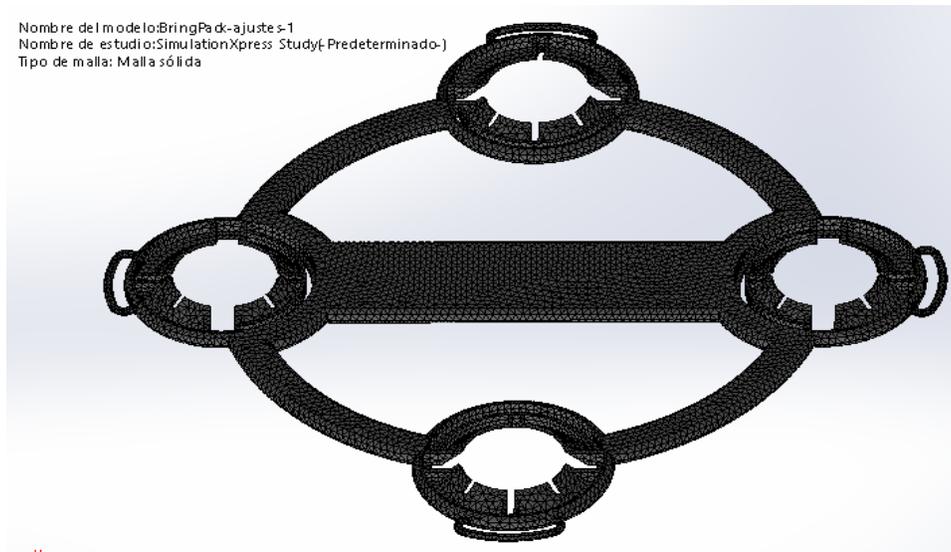


Figura 2.31 Malla de la pieza, generada en SolidWorks.

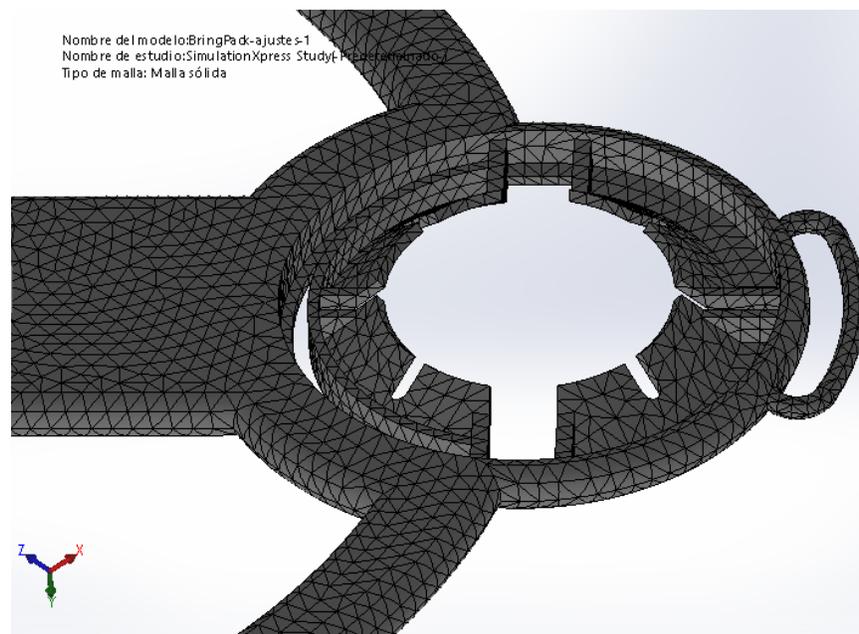


Figura 2.32 Malla de la pieza, generada en SolidWorks.

Después de introducir los parámetros que pide el programa, hace una animación previa para ver si el comportamiento de la pieza es el esperado, se puede ver en la figura (2.33).

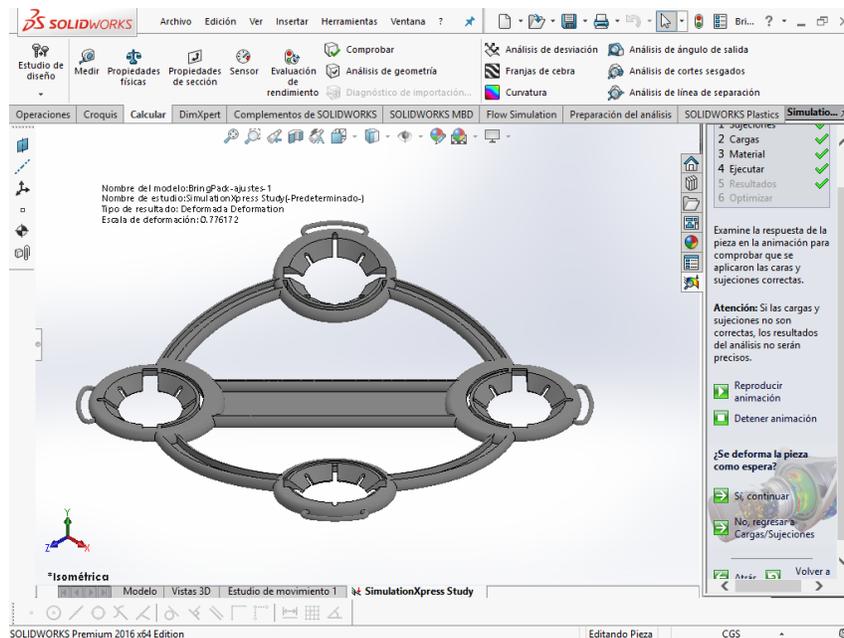


Figura 2.33 Animación previa generada en SolidWorks.

Si la animación de la pieza es el correcto, se empieza el análisis.

### Tensión de von Mises.

El criterio de máxima tensión de von Mises se basa en la teoría de von Mises-Hencky, también conocida como teoría de cortadura o teoría de energía de la distorsión máxima.

La teoría expone que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de von Mises es igual al límite de tensión. En la mayoría de los casos, el límite elástico se utiliza como el límite de tensión. Sin embargo, el software le permite utilizar el límite de tensión de tracción/ruptura o establecer su propio límite de tensión [8].

A continuación, se mostrarán los resultados del estudio efectuado en la pieza, tomando como base el estudio de von Mises que genera SolidWorks, el análisis se puede ver en la tabla (2.14).

**Análisis estructural del diseño (tensión máxima de von Mises).**

Nombre.	Tipo.	Min.	Max.
Stress.	Von: tensión de von Mises.	0.001071 MPa Nodo: 56656	24.06 (MPa) Nodo: 72018

Vista isométrica.

Nombre del modelo: BringPack-ajustes-1  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study(-Predeterminado-)  
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Stress  
 Escala de deformación: 0.776172

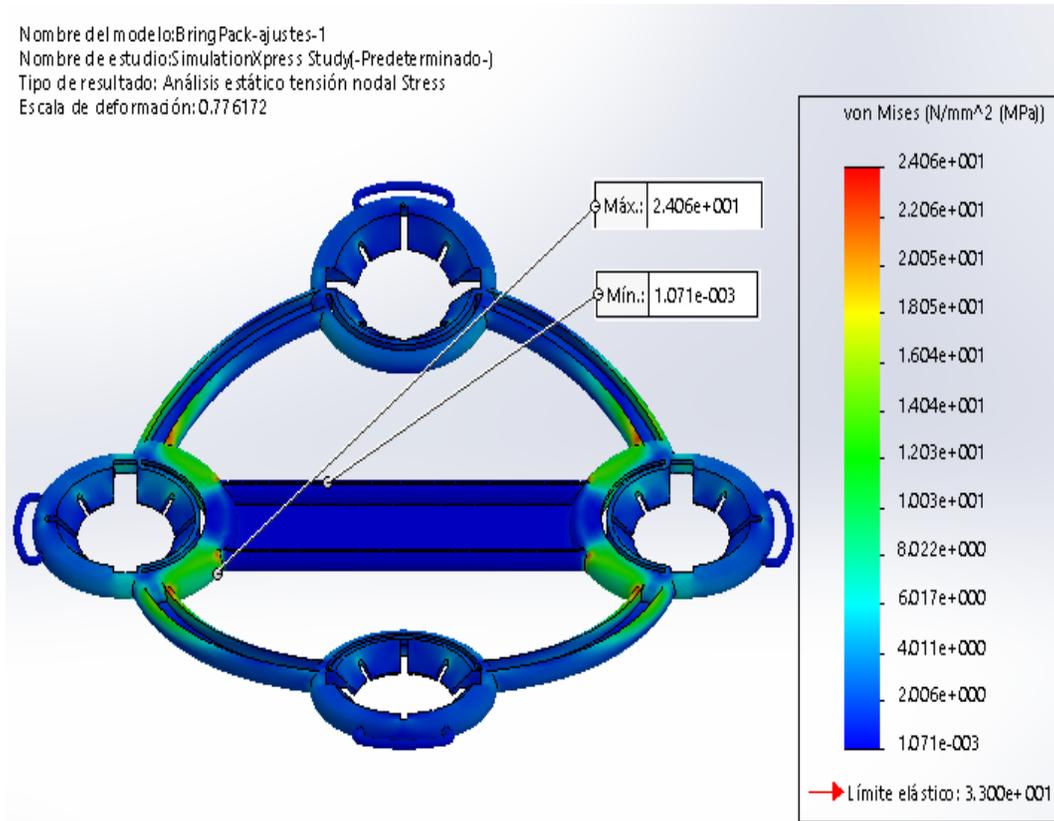


Tabla 2.14 Tensión máxima de von Mises.

## Resultados del Análisis de la estructura del diseño (tensión máxima de von Mises)

Se muestra a continuación en la tabla (2.15), la comparación del Módulo de Young y Límite Elástico del material, con respecto al análisis estructural del diseño.

HDPE alta densidad.		Tabla von Mises (N/mm <sup>2</sup> (MPa))	
Módulo de Young (elástico). GPa.	Límite elástico. MPa.	Límite de tensión de von Mises.	
		Máximo.	Mínimo.
1.09 GPa	33 MPa.	24.06 MPa	0.001071 MPa

Tabla 2.15 Resultado del análisis estructura del diseño.

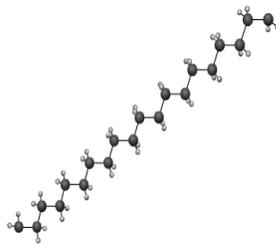
Se puede ver en la tabla (2.15) el análisis del estudio que se realizó con SolidWorks y la comparación del límite elástico del material, se puede concluir que el material que se escogió es apto para el diseño de la pieza, ya que tiene un límite elástico de 33 MPa y el límite de tensión de von Mises es de 24.06 MPa, está dentro del parámetro del límite elástico del HDPE (High Density Polyethylene).

## Validación de material.

Se puede concluir que el material HDPE (High Density Polyethylene), es apto para utilizarlo en la pieza, de esta manera se valida el material que se utilizará en el transportador de botellas.

Es importante escoger un material que cumpla con la función de la pieza, para poder asegurar el funcionamiento correcto del producto.

Ficha técnica del material.

<b>HDPE (High Density Polyethylene).</b>	
<b>Datos generales.</b>	
Nomenclatura.	HDPE
Composición química.	$(-CH_2-CH_2-)_n$
Materias primas.	HDPE, high-density-poly-Ethylene, polietileno rígido
<p>El HDPE tiene un grado de ramificación bajo, entre 1 y 10 ramas por cada 1000 átomos de carbono. Son ramificaciones con cadenas cortas. Tiene una elevada cristalinidad debido a su poca ramificación, y por tanto hay poca distancia entre macromoléculas vecinas haciendo que este polietileno tenga una elevada densidad y resistencia que le da el nombre <i>high-density-poly-Ethylene</i>. Se trata de un plástico con elevada dureza, pero tiene una baja resistencia al impacto y a la elongación.</p> 	
Densidad de masa.	0.000952 Kgf/cm <sup>3</sup>
Cristalinidad.	70 - 80 %
<b>Propiedades Mecánicas.</b>	
Módulo de Young (elástico).	1.07 - 1.09 GPa (10910.96347886 Kgf/cm <sup>2</sup> - 11114.90672146 Kgf/cm <sup>2</sup> ).
Límite elástico.	26-33 MPa.
Coeficiente de Poisson.	0.41 - 0.427
Módulo cortante.	3846.34612 Kgf/cm <sup>2</sup>
Límite de tracción.	225.35591 Kgf/cm <sup>2</sup>

Resistencia mecánica a la compresión.	18.6-24.8 MPa.
Resistencia mecánica a la flexión.	30.9-43.4 MPa.
Resistencia a la tensión.	20-37.2 MPa.
Tensión a la ruptura.	37 MPa.
<b>Propiedades Térmicas.</b>	
Coeficiente de expansión térmica.	-271.6 /°C
Conductividad térmica.	0.000539197 cal/(cm.s.°C)
Calor específico.	331.262 cal/(Kg.°C)
Temperatura de fusión.	130 - 137 °C
<b>Propiedades Químicas.</b>	
Resistencia a los ácidos.	Es muy resistente a ácidos débiles, pero menos resistente a ácidos fuertes
Resistencia a los álcalis.	Alta
Resistencia a los disolventes orgánicos.	Media.
Absorción de agua.	Resistencia muy pobre frente la oxidación a 500°C.
Resistencia al ozono.	Alta

Tabla 2.16 Ficha técnica del material.

### **Análisis de Simulación, Deformación estática (URES, Displacement).**

Una característica clave de SolidWorks te permite desarrollar pruebas de fuerza en objetos virtuales. Cuando se realiza una prueba de desviación, la superficie de los objetos se muestra como un gradiente de colores, con cada tonalidad representando un grado específico de desviación, de acuerdo con una escala en pantalla etiquetada "URES". Esto es llamado una trama de desplazamiento estático.

Así podemos analizar cuál es el desplazamiento máximo que soporta nuestra pieza, se puede ver en la tabla (2.17), los mayores desplazamientos están en las zonas rojas indicadas.

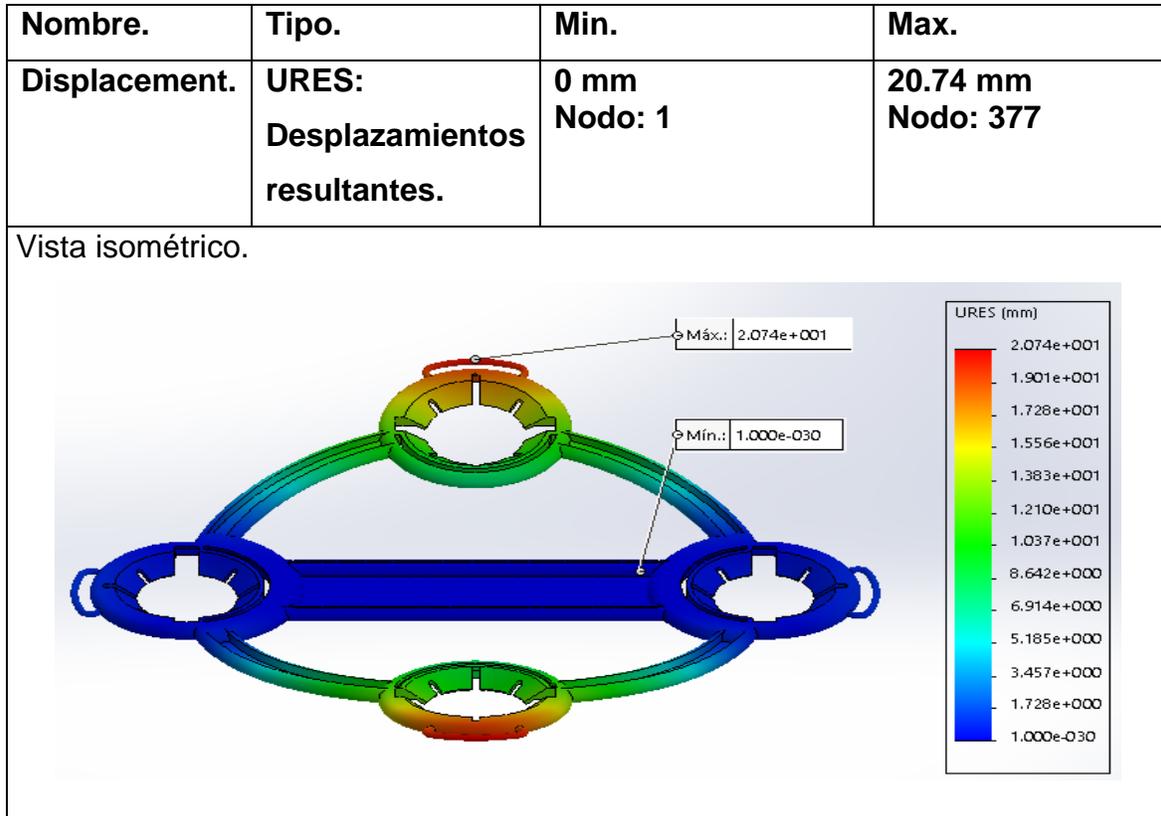


Tabla 2,17 Desplazamiento resultante en el análisis estructural de la pieza.

El resultado obtenido en la simulación muestra que las tensiones y deformaciones a las que se somete en transportador de botellas durante el estudio son los esperados y no genera ningún tipo de problema. El diseño se considera el adecuado, ya que mientras la tensión de von Mises del material no rebase su límite elástico, el desplazamiento puede tomarse como aceptable ya que no hay una fractura en el material.

## Factor de seguridad.

Es la máxima carga que puede soportar un elemento estructural o un componente de maquinaria en condiciones normales, su uso es considerablemente más pequeño que la última carga. Esa carga más pequeña se conoce como carga permisible y/o carga de trabajo de diseño. Así solo una fracción de la última capacidad de carga del elemento se utiliza cuando es aplicada la carga permisible. El remanente de la capacidad de carga se mantiene en reserva para asegurar que su desempeño sea seguro. A relación de la última carga y la carga permisible se denomina FOS (Factor Of Safety) o (factor de seguridad) [20].

Es muy importante analizar que la corrida de simulación nos diga que efectivamente se está cumpliendo el factor de seguridad en el transportador de botellas. El FOS (Factor Of Safety), es un cociente que nace del límite elástico del material entre el esfuerzo máximo de von Mises, y se puede ver en la figura (2.34), [20]:

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{\text{Límite Elástico del Material.}}{\text{Esfuerzo máximo de von Mises.}}$$

Figura 2.34 Factor de seguridad. ¿Cómo calcular el factor de seguridad con SolidWorks Simulation?. En "DMD, SolidWorks Authorized Reseller", Luis Manuel Ramírez, 2015, <https://www.youtube.com/watch?v=a7EHYC6C2IU>. Copyright [2015] SolidWorks Authorized Reseller. Reimpresión. Autorizada.

Se debe de tener en cuenta que no se debe de rebasar el límite elástico del material, ya que, si se pasa, el transportador de botellas no regresará a su posición original, debido a que la carga que se le aplique puede ser demasiada y sobrepase el límite elástico, y habrá una deformación.

Por lo tanto, se calculará el FOS (Factor Of Safety) y se comparará con el que da el estudio de SolidWorks.

## Cálculo de FOS (Factor Of Safety).

Se debe de asegurar que en el diseño tenga un factor de seguridad (FOS)  $\geq 1$  es muy importante señalar que hay dos tipos de cargas, una es la carga de diseño y la otra es una carga de operación. La carga de diseño es la que se debe considerar para que el diseño sea óptimo [19].

En este caso la carga de diseño es de 120 N, que son 12.2365 Kgf, sin embargo, la carga de operación es aquella que debe tener el transportador de botellas, en este caso es de 80 N, que son 8.1577 Kgf. Se quiere garantizar que el transportador de botellas aguante una y media más esa carga, eso significa que mi modelo como diseñador debe de tener un factor de seguridad de 1.5, por lo tanto, se está simulando el modelo con 120 N, y se cumple el factor de seguridad que se pretende.

La Fórmula para calcular el factor de seguridad (FOS), se muestra en l figura (2.35), [19].

$$\text{FOS} = \frac{\text{LE}}{\sigma \text{ von Mises}}$$

Figura 2.35 Formula para calcular Factor de seguridad. ¿Cómo calcular el factor de seguridad con SolidWorks Simulation? En "DMD, SolidWorks Authorized Reseller", Luis Manuel Ramírez, 2015, <https://www.youtube.com/watch?v=a7EHYC6C2IU>. Copyright [2015] SolidWorks Authorized Reseller. Reimpresión. Autorizada.

Se tiene que:

**FOS** = Factor de Seguridad.

**LE** = Limite Elástico del Material, HDPE (High Density Polyethylene), es de 33 MPa.

**$\sigma$  von Mises** = Esfuerzo Máximo de von Mises, (límite de tensión máximo de von Mises que presentó el estudio de SolidWorks es de 24.06 MPa.

### Cálculo de FOS (Factor Of Safety).

El factor de seguridad que se calculó, se puede ver en la figura (2.36).

$$\text{FOS} = \frac{33 \text{ MPa}}{24.06 \text{ MPa}} = 1.371$$

Figura 2.36 Calculo de Factor de Seguridad de la pieza.

A continuación, se muestra en la tabla (2.18), el resultado del factor de seguridad mínimo y máximo que dio el estudio de SolidWorks.

### Análisis de Simulación del Cálculo de Factor de Seguridad (FOS) por SolidWorks.

Nombre.	Tipo.	Min.	Max.
Factor of Safety,	Tensión de von Mises.	1.371 Nodo: 72018	30818.6 Nodo: 56656

Vista isométrica.

Nombre del modelo: BringPack-ajustes-1  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study(-Predeterminado-)  
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor of Safety  
 Criterio: Tensiones von Mises máx.  
 Rojo < FOS = 1 < Azul

Máx.: 3.082e+004  
 Mín.: 1.371e+000

Tabla 2.18 Calculo de Factor de Seguridad de la pieza, por SolidWorks.

### Comparación de Resultados del Análisis de Factor de Seguridad (FOS).

En la tabla (2.19) se muestra el resultado que fue calculado con la formula y el que genero el estudio de SolidWorks.

<b>Factor de seguridad calculado (FOS).</b>	<b>Factor de Seguridad calculado por SolidWorks (FOS).</b>
<b>1.371</b>	<b>1.371</b>

Tabla 2.19 Comparación de resultados de Factor de Seguridad.

Con esto se concluye que el Factor de Seguridad es ideal para el transportador de botellas, ya que es el mismo resultado que dio la simulación en SolidWorks, de esta forma se asegura que el diseño tiene un (FOS)  $\geq 1$ .

### Análisis estructural completo de la pieza.

En la tabla (2.20) se puede ver el análisis completo que genero SolidWorks.

<b>Von Mises.</b>	<b>Mínimo.</b>	<b>Máximo.</b>
<b>Limite elástico del HDPE</b>		33 MPa
<b>Tensión Máxima de von Mises en la pieza.</b>	0.001071 MPa	24.06 MPa
<b>Desplazamiento estático de la pieza.</b>	0 mm	20.74 mm
<b>Factor de Seguridad de la pieza.</b>	1.371	30818.6

Tabla 2.20 Análisis estructural completo de la pieza.

Con esto se concluye que el estudio realizado de von Mises en toda la pieza, es bueno, validando de esta manera el diseño propuesto, el material que se utilizará, y la forma de la pieza.

### Análisis de simulación estático bajo una carga en las uñas de sujeción.

Estudios estáticos denominados también como estudios de tensión, calculan desplazamientos, fuerzas de reacción, deformaciones unitarias, tensiones y la distribución del factor de seguridad. La importancia de este análisis estático, es que puede dar los valores mínimos y máximos donde puede fallar el diseño y el material que se ha escogido, mostrando de esta manera los resultados de tensiones que exceden el límite elástico del material y las tensiones que se generan.

### Sujeciones.

Se deben aplicar distintas sujeciones en el sólido virtual para evitar que la pieza se mueva cuando se apliquen cargas. Las sujeciones aplicadas son lo más parecido a como se tomará la pieza cuando se utilice en un ambiente real, de esta forma se podrán analizar el comportamiento que tendrá al momento de utilizar.

Las sujeciones se establecerán en la parte que se muestra en la tabla (2.21).

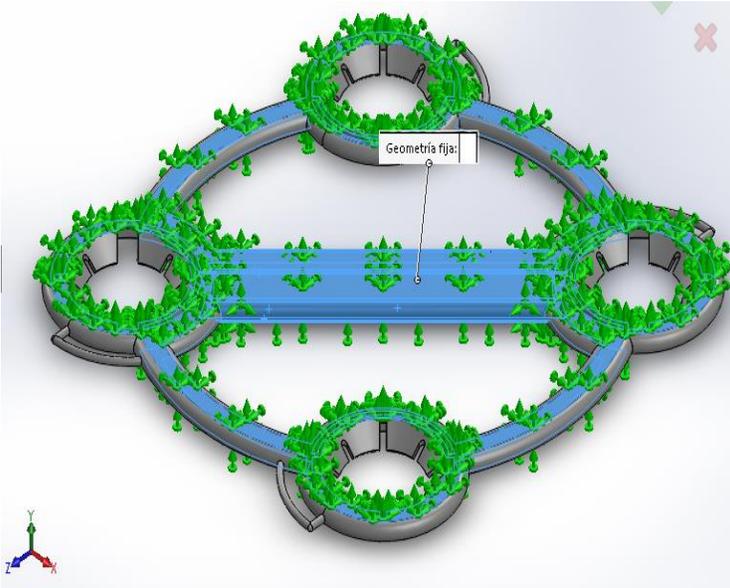
Nombre de sujeción.	Imagen de sujeción.	Detalles de sujeción.
Fijo – 1.		Entidades: 1 caras. Tipo: geometría fija.

Tabla 2.21 Sujeciones.

## Carga.

El transportador de botellas, está diseñado para sujetar 4 envases plásticos de 2 L cada uno, se contempla que pueda cargar cada uña de sujeción  $20 \text{ N/m}^2$ , que son  $2.0394 \text{ Kgf/m}^2$ , pero se quiere tener un factor de seguridad que sea de 1.5, para que pueda sujetar botellas hasta de 2.5 L, por esa razón se decidió que fuera  $25 \text{ N/m}^2$ .

La carga que se utilizará para realizar el estudio será de  $25 \text{ N/m}^2$ , son  $2.54929 \text{ Kgf/m}^2$ .

Se muestra en la tabla (2.22), donde se aplicaron las cargas, se invirtió la posición ya que la carga actuará de esa forma.

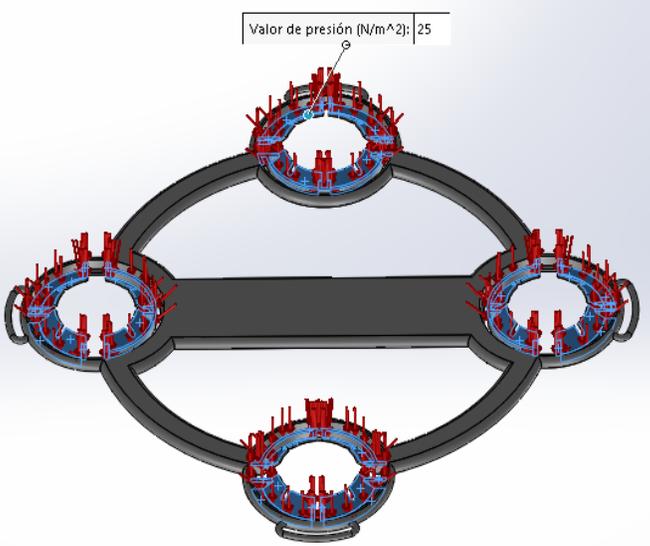
Nombre de carga.	Carga imagen.	Detalles de carga.
Presión – 1.	 <p>Valor de presión (N/m<sup>2</sup>): 25</p>	Entidades: 44 caras. Tipo: normal a cara seleccionada. Valor: $25 \text{ N/m}^2$ .

Tabla 2.22 Cargas.

## Material.

El tipo de material para la simulación fue seleccionado de la biblioteca de materiales que presenta SolidWorks, es un HDPE (High Density Polyethylene), de acuerdo a las propiedades mecánicas que presenta el material como (rigidez, dureza y resistencia a la tensión).

### Densidad de malla.

La calidad de malla que se utilizó es de elementos cuadráticos de alto orden, se define una malla solida basada en curvatura de 4 puntos, el tamaño de los elementos es de 0.185315 cm (valor muy fino), en la tabla (2.23, 2.24) se pueden ver todos los valores generados por el análisis de simulación de SolidWorks.

<b>Tipo de malla:</b>	Malla sólida.
<b>Mallado utilizado:</b>	Malla estándar.
<b>Transición automática:</b>	Desactivar.
<b>Incluir bucles automáticos de malla:</b>	Desactivar.
<b>Puntos jacobianos:</b>	4 puntos.
<b>Tamaño de elementos:</b>	0.185 315 cm
<b>Tolerancia:</b>	0.00926577 cm
<b>Calidad de malla:</b>	Elementos cuadráticos de alto orden.

Tabla 2.23 Densidad de malla.

### Detalles de malla.

<b>Número total de nodos.</b>	83336
<b>Número total de elementos.</b>	43725
<b>Cociente máximo de aspecto.</b>	18.552
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3.</b>	96
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10.</b>	0.0412
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana).</b>	0
<b>Tiempo para completar la malla.</b>	00:01:03

Tabla 2.24 Detalles de malla.

## Malla de la pieza.

En la figura (2.37), se muestra el tipo de malla generada en el sólido por SolidWorks.

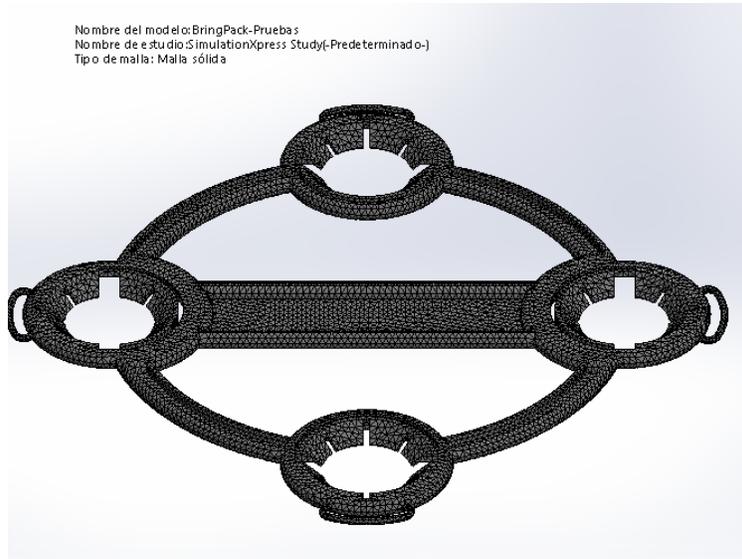


Figura 2.37 Malla de la pieza, generada en SolidWorks.

Después de introducir los parámetros que pide el programa, hace una animación previa para ver si se comporta la pieza como esperamos después de introducir los valores necesarios figura (2.38).

Animación previa del comportamiento de la pieza.

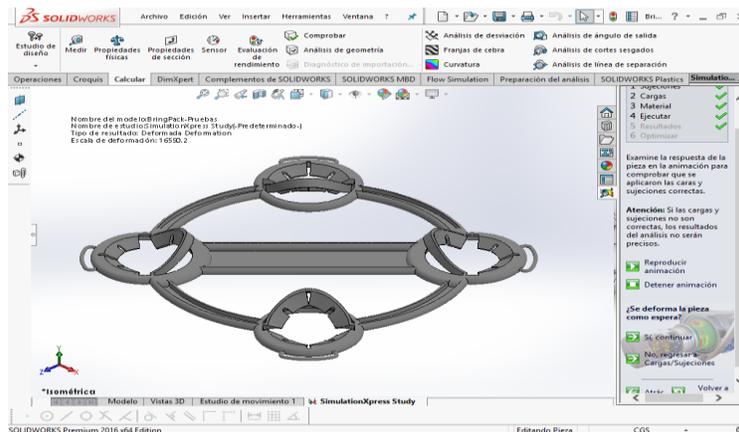


Figura 2.38 Animación previa, generada en SolidWorks.

## Tensión de von Mises.

El criterio de máxima tensión de von Mises se basa en la teoría de von Mises-Hencky, también conocida como teoría de cortadura o teoría de energía de la distorsión máxima.

La teoría expone que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de von Mises es igual al límite de tensión. En la mayoría de los casos, el límite elástico se utiliza como el límite de tensión. Sin embargo, el software le permite utilizar el límite de tensión de tracción/ruptura o establecer su propio límite de tensión [8].

A continuación, se mostrarán los resultados del estudio efectuado en la pieza, tomando como base el estudio de von Mises que genera SolidWorks, se puede ver en la tabla (2.25).

## Análisis estructural del diseño (tensión máxima de von Mises).

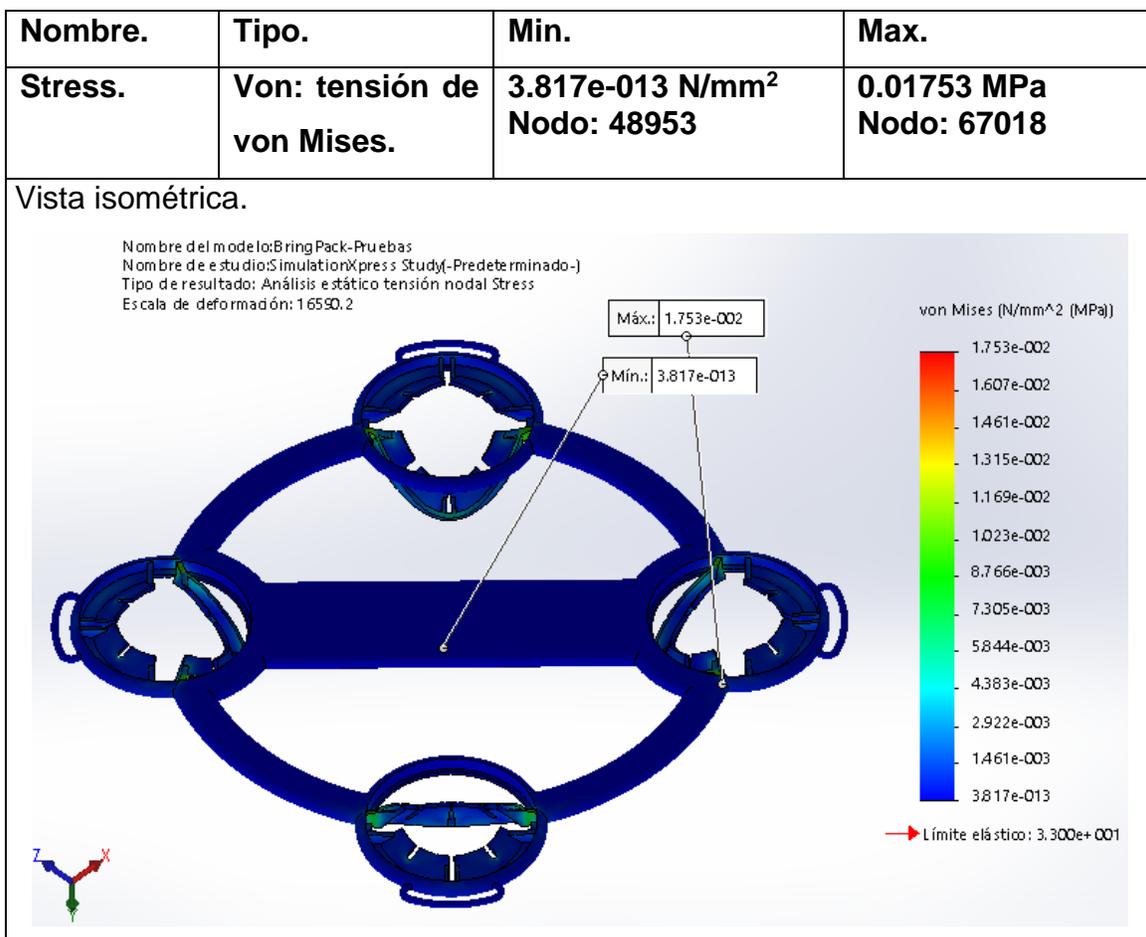


Tabla 2.25 Tensión máxima de von Mises.

**Resultados del Análisis estructural del diseño (tensión máxima de von Mises).**

Se muestra a continuación en la tabla (2.26), la comparación del Módulo de Young y Límite Elástico del material, con respecto al análisis estructural del diseño.

<b>HDPE (High Density Polyethylene).</b>		<b>Tabla von Mises (N/mm<sup>2</sup> (MPa))</b>	
<b>Módulo de Young (elástico). GPa.</b>	<b>Límite elástico. MPa.</b>	<b>Límite de tensión de von Mises.</b>	
		<b>Máximo.</b>	<b>Mínimo.</b>
1.09 GPa	33 MPa.	0.01753 MPa	3.817e-013 N/mm <sup>2</sup>

Tabla 2.26 Resultados del análisis estructural.

Se puede ver en la tabla (2.26) el análisis del estudio que se realizó con SolidWorks y la comparación del límite elástico del material, se puede concluir que el material que se escogió es apto para el diseño de la pieza, ya que tiene un límite elástico de 33 MPa y el límite de tensión de von Mises es de 0.01753 MPa, está dentro del parámetro del límite elástico del HDPE (High Density Polyethylene).

### **Validación de material.**

Se puede concluir que el material HDPE (High Density Polyethylene), es apto para utilizarlo en la pieza, de esta manera se valida el material que se utilizará en el transportador de botellas.

### **Análisis de Simulación de Deformación estática (Displacement).**

#### **Resultado de escala de desviación URES.**

Una característica clave de Solidworks te permite desarrollar pruebas de fuerza en objetos virtuales. Cuando se realiza una prueba de desviación, la superficie de los objetos se muestra como un gradiente de colores, con cada tonalidad representando un grado específico de desviación, de acuerdo con una escala en pantalla etiquetada "URES". Esto es llamado una trama de desplazamiento estático.

Así podemos analizar cuál es el desplazamiento máximo que soporta nuestra pieza, se puede ver en la tabla (2.27).

Nombre.	Tipo.	Min.	Max.
Displacement.	URES: Desplazamientos resultantes.	0 mm Nodo: 1	0.0009771 mm Nodo: 2532

Vista isométrico.

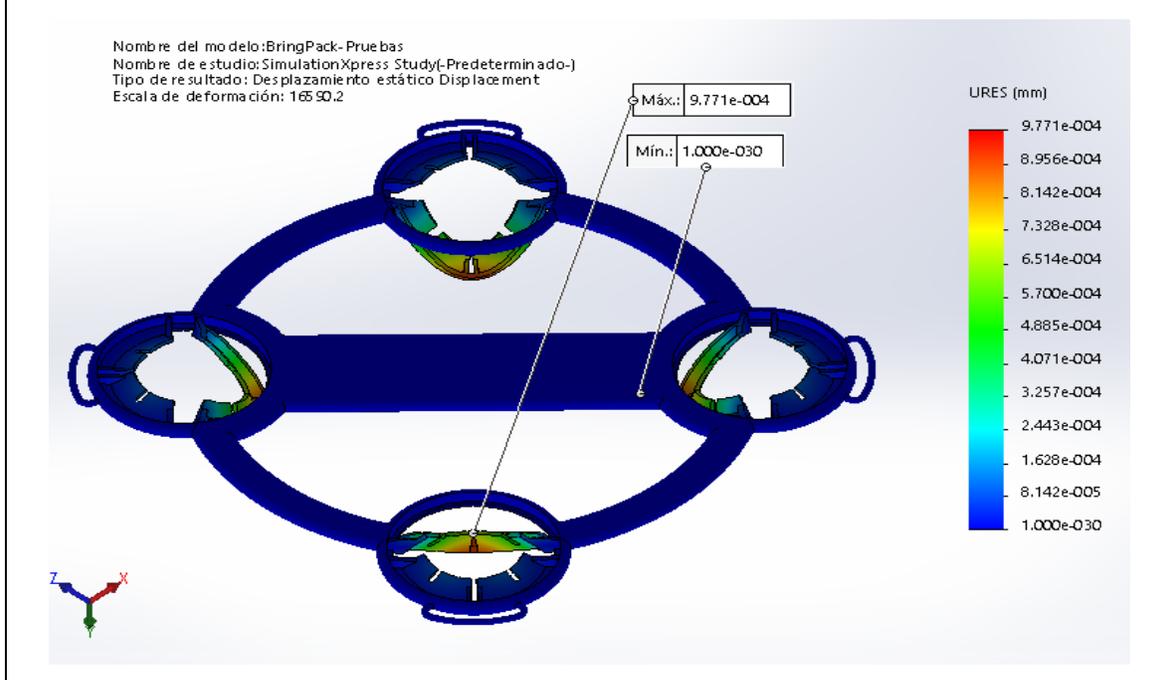


Tabla 2.27 Desplazamiento resultante en el análisis estructural de la pieza.

Se puede concluir que el desplazamiento que presenta el sólido con respecto al análisis de von Mises es aceptable, mostrando un desplazamiento de 0.0001364 mm.

### Factor de seguridad.

Es la máxima carga que puede soportar un elemento estructural o un componente de maquinaria en condiciones normales, su uso es considerablemente más pequeño que la última carga. Esa carga más pequeña se conoce como carga permisible y/o carga de trabajo de diseño. Así solo una fracción de la última capacidad de carga del elemento se utiliza cuando es aplicada la carga permisible. El remanente de la capacidad de carga se mantiene en reserva para asegurar que su desempeño sea seguro. A relación de la última carga y la carga permisible se denomina FOS (Factor Of Safety) [20].

Es muy importante analizar que la corrida de simulación nos diga que efectivamente se está cumpliendo el factor de seguridad en el transportador de botellas. El FOS (Factor Of Safety), es un cociente que nace del límite elástico del material entre el esfuerzo máximo de von Mises, y se puede representar de la siguiente forma [20]:

Fórmula para calcular el FOS (Factor Of Safety), se puede ver en la figura (2.39), [19].

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{\text{Límite Elástico del Material.}}{\text{Esfuerzo máximo de von Mises.}}$$

Figura 2.39 Factor de Seguridad. ¿Cómo calcular el factor de seguridad con SolidWorks Simulation?. En "DMD, SolidWorks Authorized Reseller", Luis Manuel Ramírez, 2015, <https://www.youtube.com/watch?v=a7EHYC6C2IU>. Copyright [2015] SolidWorks Authorized Reseller. Reimpresión. Autorizada.

Se tiene que:

**FOS** = Factor de Seguridad.

**LE** = Limite Elástico del Material, HDPE (High Density Polyethylene), es de 33 MPa.

**$\sigma$  von Mises** = Esfuerzo Máximo de von Mises, (límite de tensión máximo de von Mises que presentó el estudio de SolidWorks es de 0.01753 MPa.

#### **Calculo de factor de seguridad.**

Se debe de asegurar que en el diseño tenga un factor de seguridad (FOS)  $\geq 1$  es muy importante señalar que hay dos tipos de cargas, una es la carga de diseño y la otra es una carga de operación. La carga de diseño es la que se debe considerar para que el diseño sea óptimo [19].

En este caso la carga de diseño es de 25 N/m<sup>2</sup>, son 2.54929 Kgf/m<sup>2</sup>, sin embargo, la carga de operación es aquella que debe tener el transportador de botellas, en este caso es de sujeción 20 N/m<sup>2</sup>, que son 2.0394 Kgf/m<sup>2</sup>. Se quiere garantizar que el transportador de botellas aguante una y media más esa carga, eso significa que mi modelo como diseñador debe de tener un factor de seguridad de 1.5, por lo tanto, se están simulando

las uñas de sujeción del modelo con 25 N/m<sup>2</sup>, y se cumple el factor de seguridad que se pretende.

Calculo de FOS (Factor Of Safety), se muestra en l figura (2.40), [19].

$$\text{FOS} = \frac{33 \text{ MPa}}{0.01753 \text{ Mpa}} = 1882.487$$

Figura 2.40 Cálculo de Factor de Seguridad. ¿Cómo calcular el factor de seguridad con SolidWorks Simulation? En "DMD, SolidWorks Authorized Reseller", Luis Manuel Ramírez, 2015, <https://www.youtube.com/watch?v=a7EHYC6C2IU>. Copyright [2015] SolidWorks Authorized Reseller. Reimpresión. Autorizada.

Se muestra en la tabla (2.29), el resultado del factor de seguridad mínimo y máximo que dio el estudio de SolidWorks.

**Cálculo de Simulación del Factor de Seguridad (FOS) por SolidWorks.**

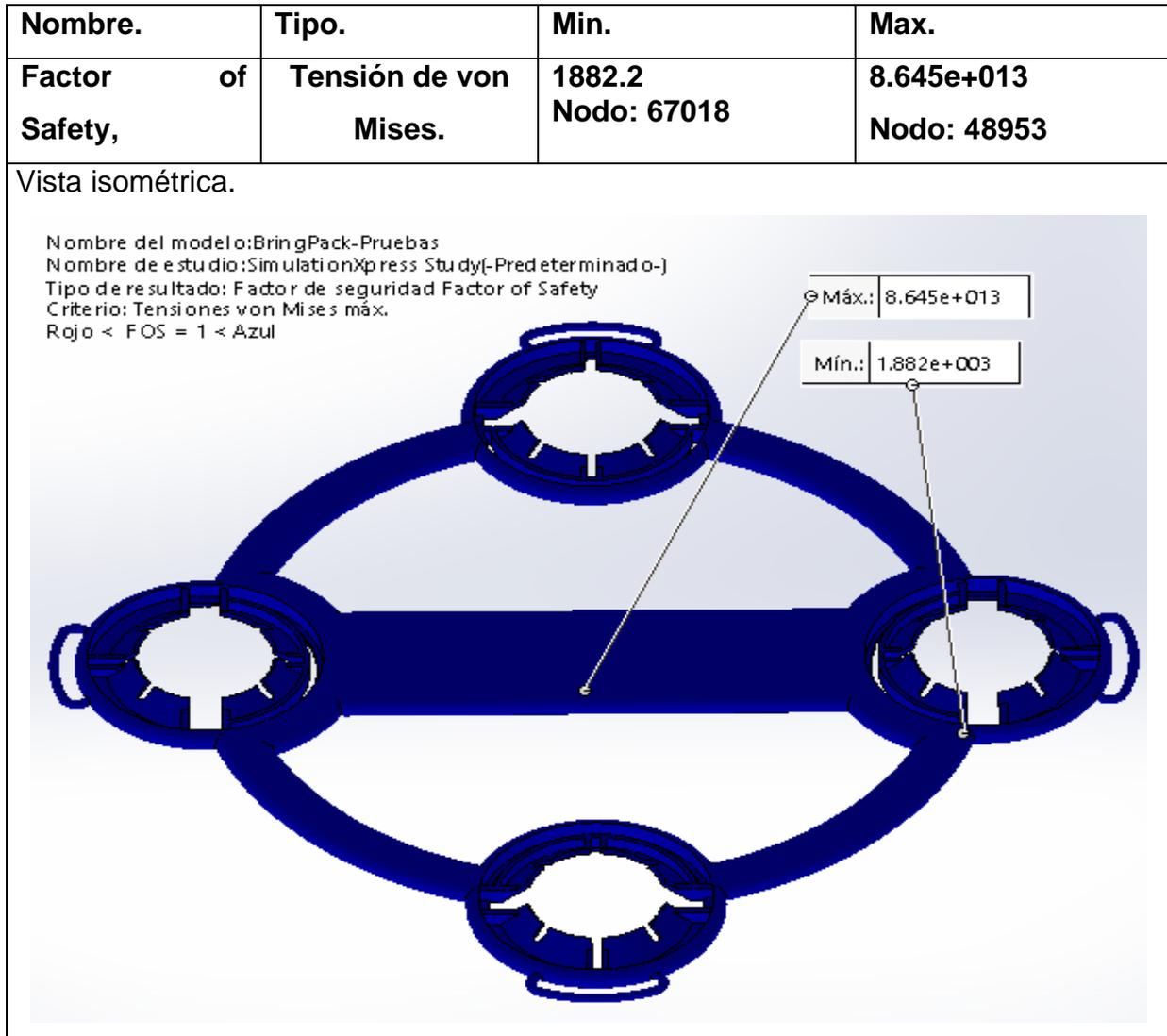


Tabla 2.28 Cálculo de simulación de Factor de Seguridad realizado por SolidWorks.

### Comparación de Resultados del Análisis de Factor de Seguridad (FOS).

En la tabla (2.29) se muestran los resultados de Factor de Seguridad, calculado, y el de SolidWorks.

<b>Factor de seguridad calculado (FOS).</b>	<b>Factor de Seguridad calculado por SolidWorks (FOS).</b>
<b>1882.487</b>	<b>1882.2</b>

Tabla 2.29 Comparación de resultados del análisis de Factor de Seguridad.

Con esto se concluye que el Factor de Seguridad es ideal para el transportador de botellas, ya que es el mismo resultado que dio la simulación en SolidWorks, de esta forma se asegura que el diseño tiene un (FOS)  $\geq 1$ .

### Análisis estructural completo de la pieza.

En la tabla (2.30) se puede ver el análisis completo que generó SolidWorks.

<b>Von Mises.</b>	<b>Mínimo.</b>	<b>Máximo.</b>
<b>Limite elástico del HDPE</b>		33 MPa
<b>Tensión Máxima de von Mises en la pieza.</b>	0.01753 MPa	3.817e-013 N/mm <sup>2</sup>
<b>Desplazamiento estático de la pieza.</b>	0 mm	0.0009771 mm
<b>Factor de Seguridad de la pieza.</b>	1882.2	8.645e+013

Tabla 2.30 Análisis estructural completo de la pieza.

Con esto se concluye que el estudio realizado de von Mises en las uñas de sujeción de la pieza, es bueno, validando de esta manera el diseño propuesto, el material que se utilizará, y la forma de la pieza.

### **2.6.2 Análisis de Simulación del comportamiento de flujo del material, dentro de la pieza, al momento de realizar la inyección (SolidWorks Plastics).**

El diseño de piezas de plástico y de moldes de inyección, SolidWorks Plastics proporciona simulaciones de modelado por inyección proporcionando resultados directos del estudio que se realice, así como análisis de CAE avanzados. Esta herramienta permite simular el flujo del material plástico fundido durante el proceso de moldeado de inyección para predecir posibles defectos en piezas y moldes asociados a la fabricación. De esta manera, se puede evaluar con rapidez la viabilidad de la fabricación mientras se diseña la pieza en CAD, y de esta manera se elimina el elevado costo de volver a realizar moldes, mejorar la calidad de la pieza y acelerar la comercialización [10].

El coste del cambio.

Aunque el coste de realizar cambios en las primeras fases de desarrollo del producto es bajo, su impacto es enorme. Cuanto antes se optimicen las piezas de plástico y los moldes de inyección para su fabricación, mejor. El reto en la producción de piezas de plástico consiste en determinar el impacto que tendrá el diseño de la pieza o del molde en la fabricación y, a su vez, el impacto que tendrá la fabricación en el diseño, para después transmitir dicha información rápida y frecuentemente a través de todo el proceso, desde el diseño hasta la fabricación [11].

SolidWorks Plastics proporciona las herramientas que permiten identificar los posibles problemas con rapidez, de modo que pueda realizar los cambios pertinentes en las primeras etapas del proceso del diseño. Los cambios de diseño en las primeras etapas de desarrollo de producto son menos costosos y tienen un mayor impacto en la mejora de la fabricación. El coste del cambio aumenta sustancialmente según se avanza en el proceso y puede conllevar retrasos importantes en el tiempo de comercialización, se puede ver un ejemplo en la tabla (2.31), [11].

## Proceso de Diseño de Producto.

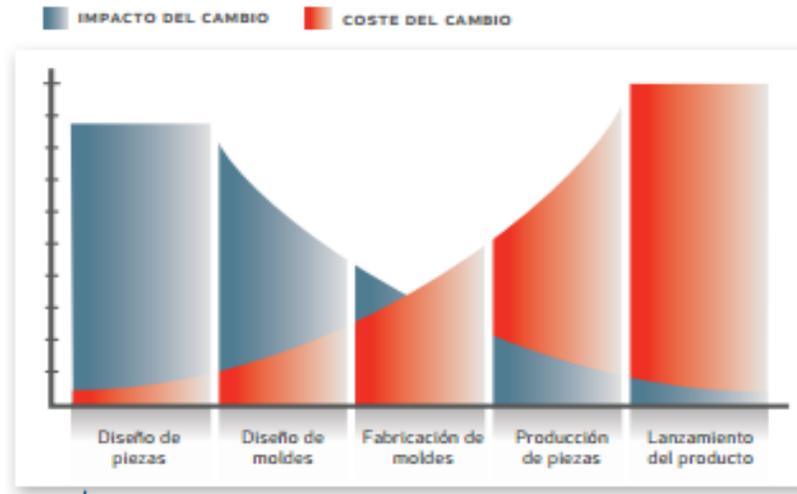


Tabla 2.31 Proceso de diseño de producto. Optimización del diseño de las piezas de plástico y de los moldes de inyección. En "SolidWorks Plastics", Dassault Systems, 1995-2016, [http://help.solidworks.es/sw/docs/SW2015\\_Plastics\\_DS\\_ESP.html](http://help.solidworks.es/sw/docs/SW2015_Plastics_DS_ESP.html). Copyright Dassault Systems® [1995-2016]. Dassault Systems. Reimpresión. Autorizada.

Es importante señalar que el estudio de flujo de material, no se realizará completo, ya que es muy amplio el análisis, por ese motivo sólo se tomarán algunos puntos importantes para analizar en el proyecto.

### Ángulos de salida.

Clasificación de caras.

Los resultados de análisis de ángulo de salida se muestran con un gráfico en base a la posición que tenga cada sección seleccionada, es importante saber si la pieza tiene sus ángulos de salida positivos.

Ángulo de salida positivo: Muestra cualquier cara con un ángulo de salida positivo, con base en el ángulo de salida de referencia que haya especificado. Un ángulo de salida positivo significa que el ángulo de la cara, con respecto a la dirección de desmolde, es mayor que el ángulo de referencia.

Ángulo de salida negativo: Muestra cualquier cara con un ángulo de salida negativo, con base en el ángulo de salida de referencia que haya especificado. Un ángulo de salida negativo significa que el ángulo de la cara, con respecto a la dirección de desmolde, es menor que el ángulo de referencia negativo.

Ángulo de salida necesario: Muestra cualquier cara que requiera ser corregida. Éstas son caras con un ángulo mayor que el ángulo de referencia negativo, y menor que el ángulo de referencia positivo.

A ambos lados: Muestra cualquier cara que contenga ángulos de salida de tipos negativo y positivo. Normalmente, éstas son caras que requieren la creación de una línea de partición [12].

Se puede ver en la tabla (2.32) que los ángulos de salida de la pieza son positivos, es apto para que tenga un buen desmolde.

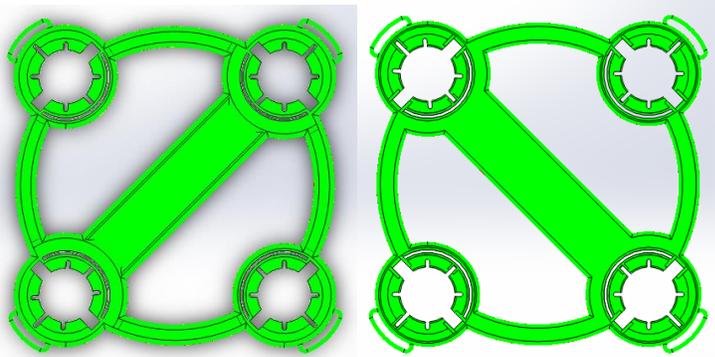
Pieza.	Criterios.
	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1065 1140 1325 1182">■ Ángulo de salida positivo</li> <li data-bbox="1065 1203 1325 1245">■ Ángulo de salida necesario</li> <li data-bbox="1065 1266 1325 1308">■ Ángulo de salida negativo</li> </ul>

Tabla 2.32 Ángulos de salida.

### Malla de la pieza.

El tipo de mallado de la pieza puede ser definido por el usuario dependiendo la calidad del estudio que se pretende generar, SolidWorks nos da la opción de generar la malla automáticamente o manualmente, según nuestra necesidad. En este caso la malla fue generada manualmente, se puede ver el tipo de malla en la figura (2.43).

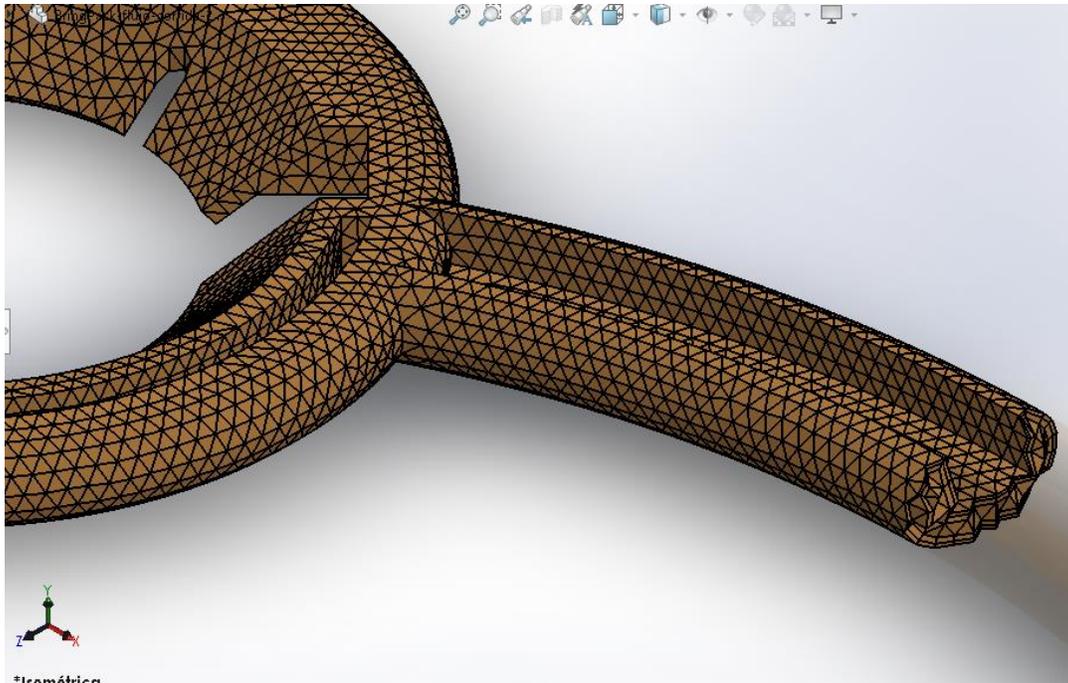


Figura 2.41 Malla de la pieza.

- El tipo de malla se generó mediante un mallado sólido manual, que SolidWorks Plastics tiene, en el cual recomienda de forma predeterminada la malla que se puede utilizar en la pieza, de acuerdo a sus características.
- SolidWorks Plastics tiene la opción de utilizar dos diferentes mallas, tetraédrica, hexaédrica, sólida o superficial, e híbrida, de acuerdo al tipo de análisis que se requiera.
- En este caso se generó una malla tetraédrica sólida híbrida. Por la complejidad de la pieza.

### **Material.**

El material que se utilizara es un HDPE (High Density Polyethylene), se ha escogido de la base de datos de los diferentes plásticos que tiene SolidWorks Plastics, en base a sus propiedades.

El análisis se realizó con dos diferentes materiales, y se eligió el que se muestra en el estudio, se hace mención de este punto ya que la propiedad de cada material es diferente y la temperatura de molde cambia de acuerdo a las propiedades del material, de acuerdo a los requerimientos de la pieza, se escogió el material que mejor se adapte al análisis de simulación de flujo, para tener un tiempo de llenado optimo, y bajar el costo de producción. El material escogido fue seleccionado ya que en la inyección de un material

es importante que tengan un índice de fluidez de 12 o se acerque a este para tener una inyección adecuada, esa fue la razón por la cual se seleccionó este material.

El material que se eligió para el estudio es un HDPE (High Density Polyethylene), HDPE Ticona / HOSTALEN GC 7260. Se seleccionó el material por el índice de fluidez que tiene el material, es el que mejor se adapta para realizar el análisis. A continuación, se muestra el análisis realizado.

#### HDPE Ticona / HOSTALEN GC 7260

<b>Temperatura de material</b>	<b>230 °C</b>
<b>Temperatura material Máx.</b>	<b>250 °C</b>
<b>Temperatura material Mín.</b>	<b>210 °C</b>
<b>Temperatura del molde</b>	<b>58 °C</b>
<b>Temperatura del molde Máx.</b>	<b>58 °C</b>
<b>Temperatura del molde Mín.</b>	<b>10 °C</b>
<b>Temperatura de eyección</b>	<b>112 °C</b>
<b>Temperatura de transición cristalina</b>	<b>134 °C</b>
<b>Viscosidad: 7-parametros</b>	<b>7.14e+016 Pa-s, 153.5 K, 0, 33.6, 51.6 K, 20570 Pa, 0.5118</b>
<b>PVT Modified Tait eqp</b>	<b>0.001261 Kg/m3,</b>
<b>Calor específico: constante</b>	<b>911 MPa</b>
<b>Conductividad térmica: constante</b>	<b>911 MPa</b>
<b>Coeficiente de Poisson: constante</b>	<b>Paralelo: 0.426, Normal: 0.426</b>
<b>Coeficiente de dilatación térmica: constante</b>	<b>Paralelo: 0.00015 1/°C, Normal: 0.00015 1/°C</b>
<b>Índice de fluidez</b>	<b>12.5 g/10 min</b>
<b>Tasa de cizallamiento máximo</b>	<b>40400 1/s</b>
<b>Tensión de cizallamiento máximo</b>	<b>198000 Pa</b>

Tabla 2.33 Material utilizado en la Simulación de inyección del plástico.

### Puntos de inyección.

La posición de punto de inyección es decisiva en la formación del frente de flujo y en la efectividad de la presión de mantenimiento y, como resultado, es importante para la resistencia y otras propiedades de la pieza inyectada.

El punto de inyección debe estar situado en la zona de mayor espesor de la pared de la pieza, no debe encontrarse en zonas con acumulación de tensiones, debe disponerse de manera que no presente obstáculos al avance del frente de flujo.

Se propuso utilizar un punto de inyección para la pieza, pero se realizará con dos puntos de inyección también para ver cual tiene el mejor desempeño. Se muestran en la tabla (2.34).

### Comparación de tiempo de llenado con 1 y 2 puntos de inyección.

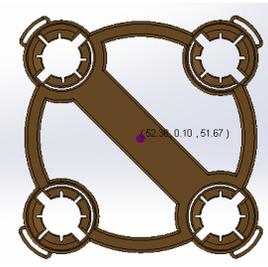
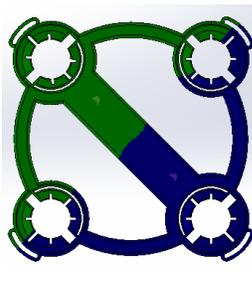
Puntos de Inyección	Soldaduras en la pieza.	Tiempo mínimo de llenado.	Tiempo máximo de llenado.
<b>1 Punto de Inyección.</b> 	<b>Soldadura.</b> 	<b>6.769e-005 seg</b>	<b>0.4197 seg</b>
<b>2 Puntos de Inyección.</b> 	<b>Soldadura.</b> 	<b>9.240e-005 seg</b>	<b>0.4590</b>

Tabla 2.34 Tiempo de llenado de la pieza, con uno y dos puntos de inyección.

El tiempo de llenado de la pieza es muy parecido con uno y dos puntos de inyección, pero es mejor con un punto de inyección, como se muestra en la tabla (2.34), por esa razón se hace el estudio con un solo punto de inyección. Es importante señalar que con dos puntos de inyección la contribución de llenado del material es diferente, se muestran soldaduras en la pieza en una zona importante, por ese motivo también se descartó el uso de dos puntos de inyección.

**Punto de inyección establecido para el análisis.**

El punto de inyección fue generado con la opción automática del programa, generando el punto óptimo para poder realizar el análisis de comportamiento de flujo de material. Se muestra en la tabla (2.35) la posición del punto de inyección.

Nombre.	Tipo.	Ubicación.
<b>Punto de inyección.</b>	<b>Modelo sombreado.</b>	(52.38, 0.10, 51.67) 6.0000 mm

Tabla 2.35 Punto de inyección establecido en el análisis.

El análisis de flujo es muy extenso, es necesario realizar un proyecto solamente de este punto, por esa razón solo se considerarán parámetros que son importantes para el tipo de análisis que se está realizando. El análisis está enfocado solamente al llenado de la pieza, por esa razón se tomaron puntos que puedan ayudar al análisis de este tipo.

**Los análisis que se tomarán en cuenta para este proyecto:**

- **(A) Flow / tiempo de llenado.**
- **(B) Flow / contracción de volumen al final del llenado.**
- **(C) Flow / vectores de velocidad al final de llenado.**
- **(D) Flow / líneas de soldadura.**
- **(E) Flow / atrapamiento de aire.**
- **(F) Flow / facilidad de llenado.**

**(A) Flow / tiempo de llenado.**

Esta pieza se puede llenar correctamente con una presión de inyección de 78.1 MPa (11323.81 psi). La presión inyectada necesaria para el llenado es inferior al 66% del límite de presión de inyección máxima especificado para este análisis. Esto significa que se encuentra dentro del límite especificado.

El trazo de tiempo de llenado muestra el perfil del material plástico cuando fluye a través de la cavidad de la pieza del molde durante la etapa del llenado del proceso de moldeo de inyección. Las zonas azules indican el comienzo o el inicio del frente de flujo. Las zonas rojas indican alguna de las siguientes opciones:

- La posición de frente de flujo en un determinado intervalo de tiempo durante una animación de la etapa de llenado.
- El final del llenado cuando el flujo se ha detenido.

Se puede ver en la tabla (2.36), el tiempo de llenado de la pieza.

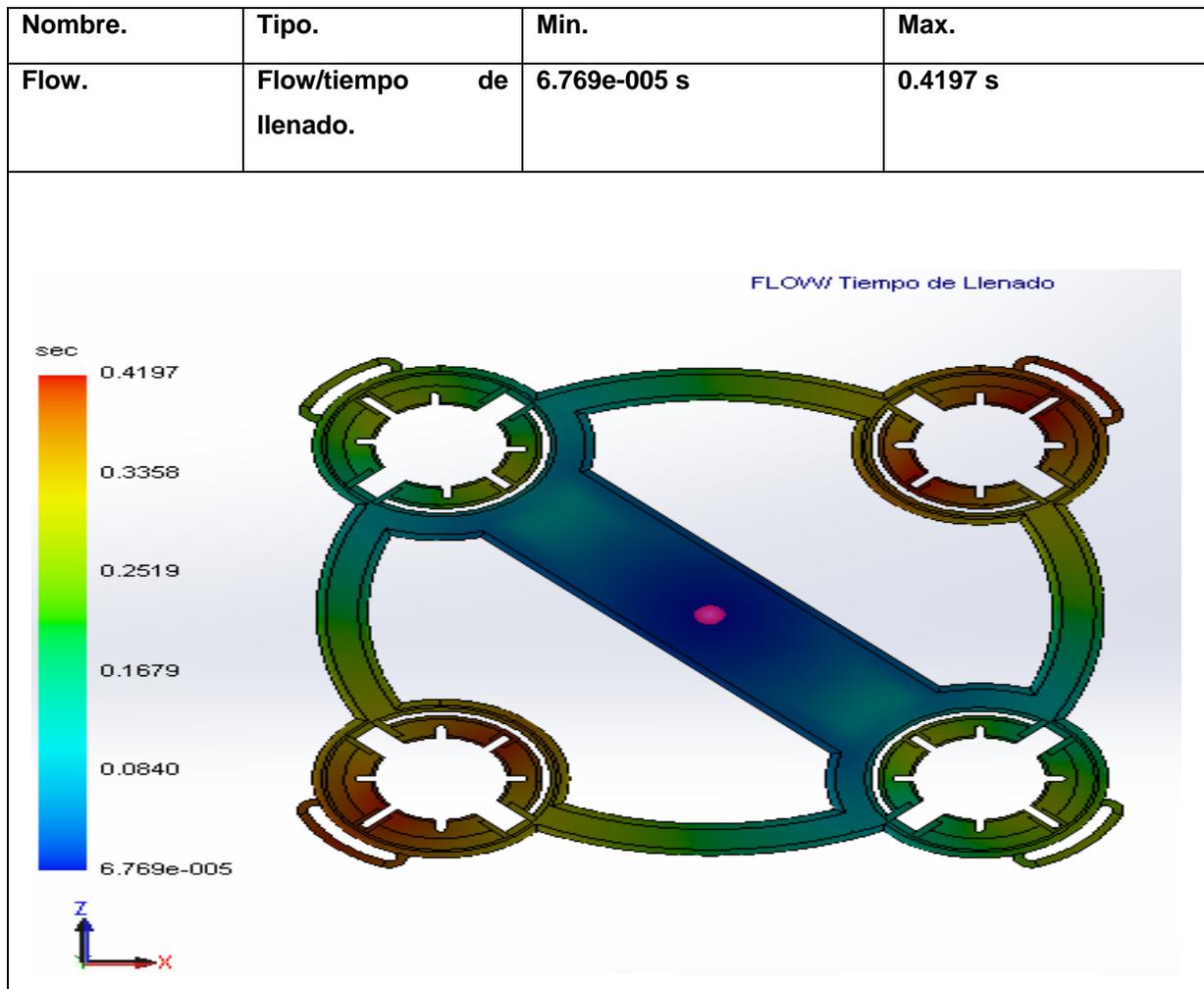


Tabla 2.36 Simulación de tiempo de llenado de la pieza.

El flujo que presenta el llenado de la pieza es aceptable, se llena por completo.

- El tiempo de ciclo total del proceso es de 16.74 seg.
- El tiempo de llenado = 0.42 seg.
- La presión máxima de inyección con la que se trabajó = 140 MPa. (203010 Psi), y puede llenar correctamente con una presión de inyección de 78.1 MPa (11323.81 psi). Esta al 66 % del límite de presión de inyección máxima especificado para este análisis
- El tipo de máquina no es especificada, SolidWorks tiene una lista de máquinas que pueden ser agregadas al análisis, pero no difiere en un mejor resultado, SolidWorks especifica que el ocupar una máquina en particular no cambia el análisis y el resultado que se realizará.

**(B) Flow / contracción de volumen al final del llenado.**

La contracción del volumen al final del llenado puede indicar áreas potencialmente problemáticas. Se producirán altas tasas de contracción en las secciones con más espesor de las piezas de plástico que no se sometan a una etapa de empaquetado suficiente durante el proceso de moldeo. Por ejemplo, si no se incluye una etapa de empaquetado suficiente, se producirán altas tasas de contracción en las ubicaciones indicadas en amarillo y rojo en el trazado de la contracción del volumen al final del llenado. La contracción del volumen al final del llenado puede indicar áreas potencialmente problemáticas. Se producirán altas tasas de contracción en las secciones con más espesor de las piezas de plástico que no se sometan a una etapa de empaquetado suficiente durante el proceso de moldeo. Por ejemplo, si no se incluye una etapa de empaquetado suficiente, se producirán altas tasas de contracción en las ubicaciones indicadas en amarillo y rojo en el trazado de la contracción del volumen al final del llenado. Se puede ver en la tabla (2.37) la contracción de volumen que tiene la pieza al final de llenado.

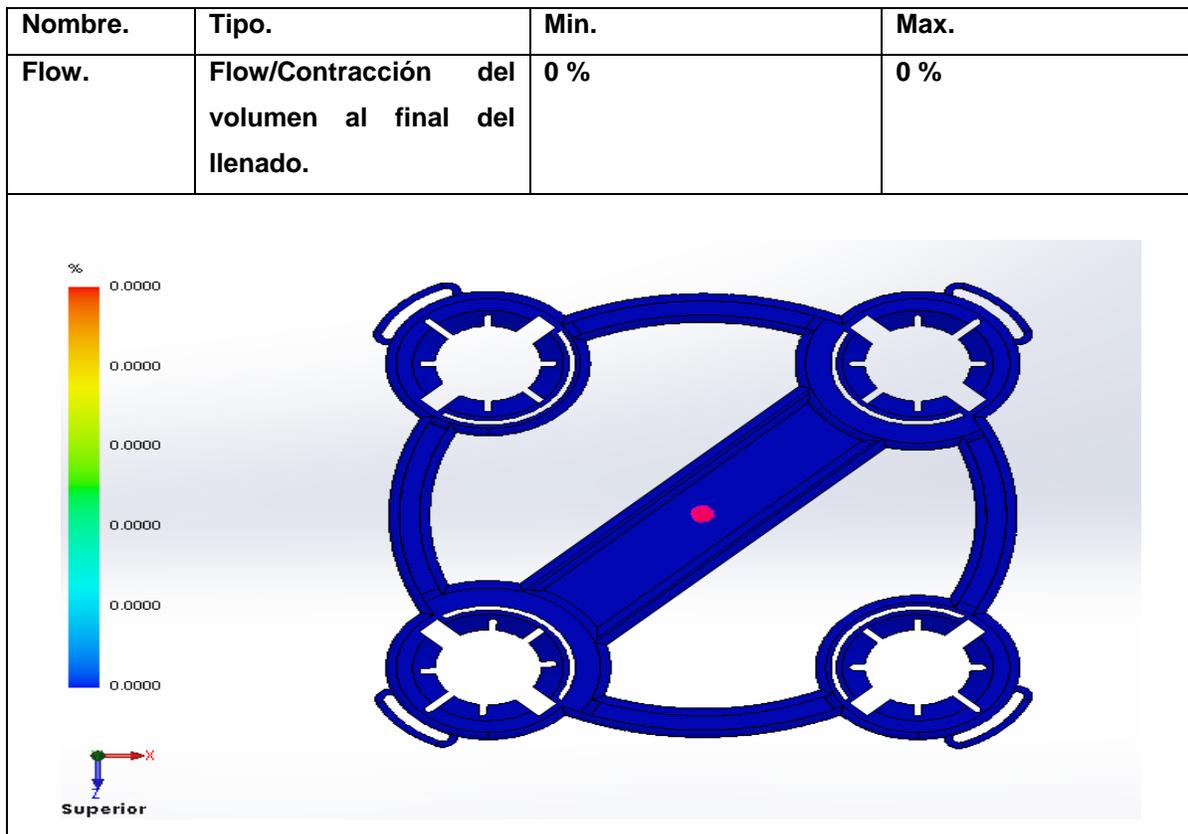


Tabla 2.37 Contracción de volumen al final de llenado en el análisis de flujo.

### (C) Flow / vectores de velocidad al final de llenado (orientación superficie).

El resultado de orientación de superficie proporciona una buena indicación de cómo se orientarán las moléculas en el exterior de la pieza, y muestra la dirección de alineación principal media para toda la superficie local al final de llenado.

Como la masa fundida se solidifica rápidamente cuando entra en contacto con el molde por primera vez, el vector de velocidad proporciona la orientación molecular más probable en la superficie.

La orientación en superficie se determina a partir del sentido de la velocidad cuando el frente de masa fundida llega a una ubicación determinada por primera vez.

Este resultado es útil para estimar las propiedades mecánicas de la pieza, como la resistencia al impacto, ya que suele ser más alta en la dirección de orientación molecular en la superficie, se puede ver los resultados de los vectores de velocidad en la tabla (2.38).

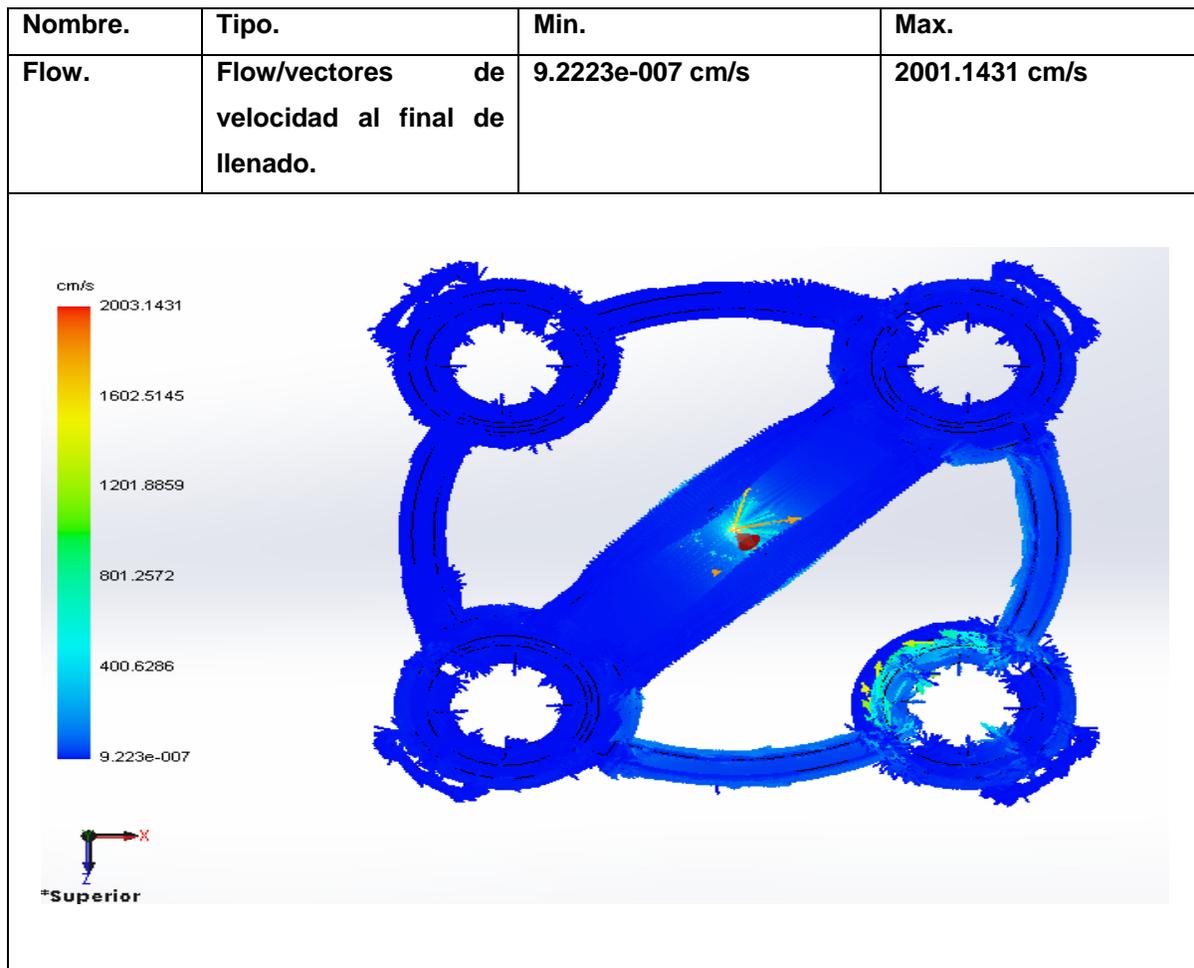


Tabla 2.38 Vectores de velocidad al final de llenado de la pieza.

### (D) Flow / líneas de soldadura.

El término “línea de soldadura” se suele usar para hacer referencia tanto a líneas de soldadura como a líneas de flujo. La única diferencia entre ellas es el ángulo en el que se forman; las líneas de soldadura se forman en ángulos más pequeños que las líneas de flujo. Las líneas de soldadura pueden provocar problemas estructurales y hacer que el aspecto de la pieza no sea aceptable, pero no inevitables, cuando el frente de flujo se divide y vuelve a juntarse alrededor de un orificio, o si la pieza tiene varias entradas.

El resultado de líneas de soldadura muestra el ángulo de convergencia cuando se encuentran dos frentes de flujo. La presencia de líneas de soldadura puede indicar fragilidad estructural o un efecto superficial. Las líneas de soldadura que se generaron en el análisis se pueden ver en la tabla (2.39).

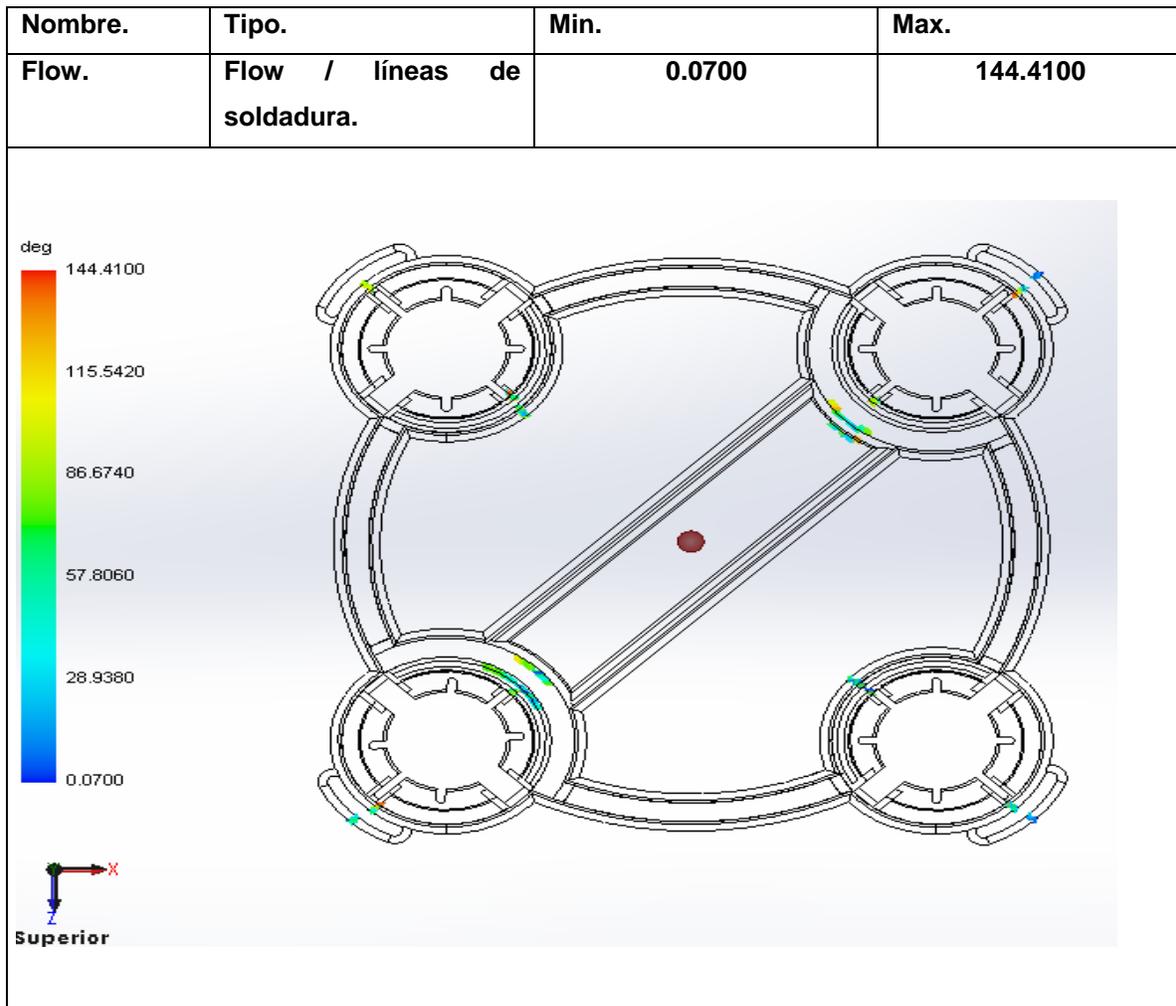


Tabla 2.39 Líneas de soldadura generadas en la simulación de inyección.

- Se pueden mover las líneas de soldadura cambiando el patrón de llenado para hacer que los frentes de flujo se encuentren en un lugar distinto.
- Para mover líneas de soldadura, se puede modificar las posiciones de entrada de material.
- Cambiar el espesor de la pieza.
- Para mejorar la calidad de las líneas de soldadura se puede aumentar la temperatura de masa fundida, la velocidad de inyección o la presión de compactación. Esto permitirá que los frentes de flujo se suelden de una manera eficaz.
- Se puede aumentar el diámetro de las entradas y canales, para facilitar la compactación de la pieza.
- Mover los puntos de inyección para hacer que las líneas de soldadura se formen más cerca de la entrada.

El resultado de las líneas de soldadura ayuda a identificar problemas estructurales (fractura o deformación en la pieza), y defectos visuales (muescas o cambios de color en la superficie).

### **(E) Flow / atrapamiento de aire.**

Un atrapamiento de aire se produce cuando la masa fundida atrapa y comprime una burbuja de aire o gas entre dos o más frentes de flujo convergentes, o entre el frente de flujo y la pared de la cavidad. Normalmente, el resultado es un agujero pequeño o un defecto en la superficie de la pieza. En casos extremos, la compresión aumenta la temperatura hasta un nivel que hace que el plástico se degrade o se queme.

Los atrapamientos de aire, a menudo causados por frentes de flujo convergentes, suelen deberse a patrones de llenado no uniformes o no lineales. Incluso cuando la pieza tiene rutas de flujo equilibradas, una salida de aire inapropiada puede causar atrapamientos de aire al final de las rutas de flujo.

El resultado de atrapamientos de aire indica la gravedad de los atrapamientos de aire y donde es probable que se produzca en la pieza. Los atrapamientos de aire pueden ser aceptables si se producen en una superficie cuya apariencia no tiene que ser perfecta.

El resultado de tiempo de llenado se usa junto con el resultado de atrapamiento de aire para confirmar el comportamiento de llenado y evaluar la probabilidad de que surjan atrapamientos de aire. Puede verse en la tabla (2.40) los resultados de atrapamiento de aire.

Nombre.	Tipo.	Min.	Max.
Flow.	Flow/atrapamiento de aire.		

Tabla 2.40 Atrapamiento de aire en la pieza.

Los resultados de atrapamiento de aire pueden generar los siguientes problemas de la pieza:

- Marcas de quemaduras producidas por un atrapamiento de aire.
- Inyectadas cortas causadas por el llenado incompleto de la pieza.
- Defectos superficiales en la pieza.

Se pueden utilizar los siguientes puntos para evitar el atrapamiento de aire:

- Usar guías de defectos de flujo.
- Aumentar la velocidad de inyección para eliminar los atrapamientos de aire.
- Reducir la velocidad e inyección para disminuir los atrapamientos de aire causados por una salida de aire deficiente y evitar marcas de quemadura.
- Disminuir la proporción de espesor de la pieza.
- Mover los puntos de inyección.

### (F) Flow / facilidad de llenado.

Puede emplear el trazado de facilidad de llenado para determinar si las cavidades se rellenan correctamente. Las zonas verdes señalan las áreas que se pueden rellenar con presiones de inyección normales. Las zonas amarillas señalan las áreas donde la presión de inyección supera el 70 por ciento de la presión de inyección máxima de la máquina. Las zonas rojas señalan las áreas donde la presión de inyección supera el 85 por ciento de la presión de inyección máxima de la máquina. Se muestra en la tabla (2.41) la facilidad de llenado de la pieza.

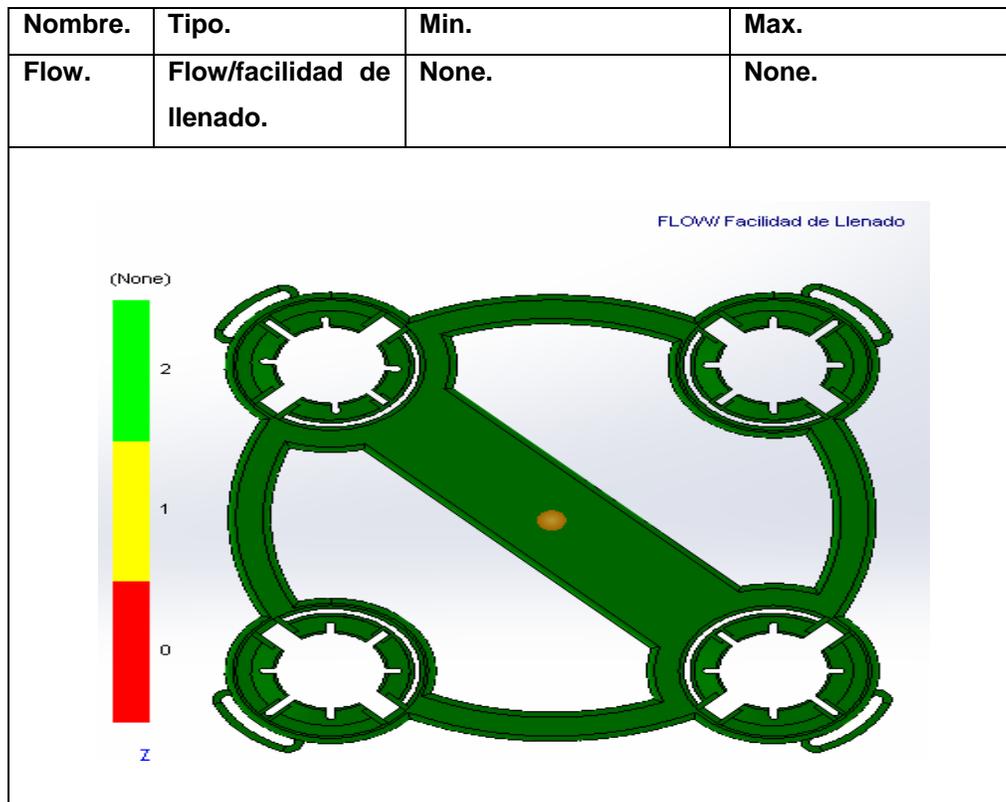


Tabla 2.41 Facilidad de llenado en la pieza.

**Resultado final del Análisis del comportamiento de flujo del material, dentro de la pieza, al momento de realizar y terminar la inyección.**

En la figura (2.42) se puede ver el resultado generado del análisis de SolidWorks.

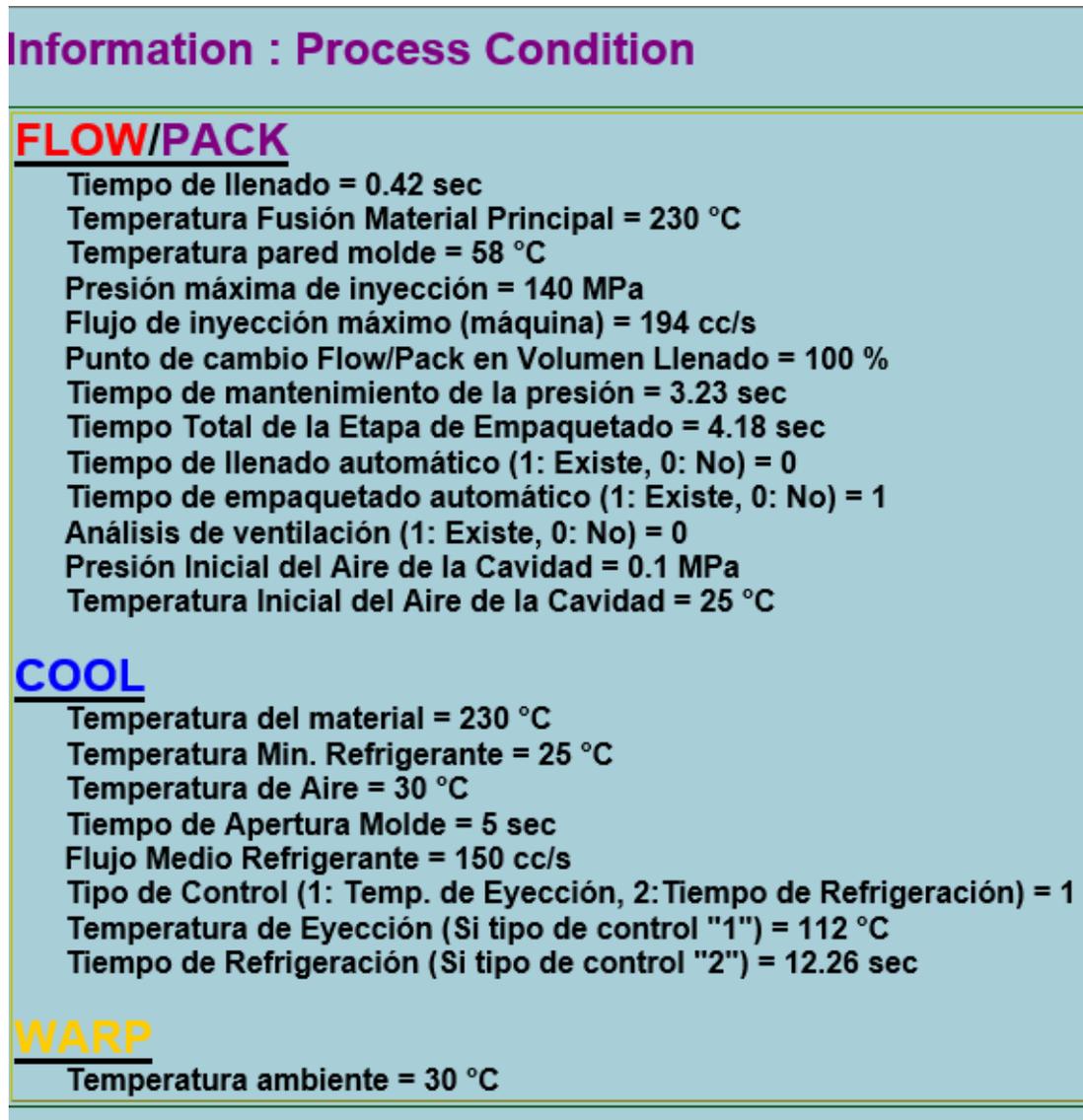


Figura 2.42 Resultado final del Análisis de Comportamiento de Flujo del Material dentro de la pieza, al momento de realizar y terminar la inyección.

### **CAPITULO 3. Confirmación de la especificación técnica (Lote “C”, prototipo).**

Un prototipo es un objeto que sirve como referencia para futuros modelos en una misma cadena de producción, un prototipo es el primer dispositivo que se fabrica y del cual se toman las ideas más relevantes para la construcción de otros diseños en el cual se representan todas las ideas en cuanto a diseño, soporte y tecnología que puedan ser útiles para la creación de un producto. En la fabricación, el prototipo es como un lienzo para técnicos y diseñadores, quienes prueban los avances que realizan en su construcción. Por lo general un prototipo tiene nombres en clave como medida de seguridad y estos no puedan ser expuestos por otras personas [21].

La impresión 3D es una técnica capaz de generar un objeto solido tridimensional mediante la adición de material. Los métodos de producción tradicionales son sustractivos, es decir, generan formas a partir de la eliminación de exceso de material. Las impresoras 3D se basan en modelos diseñados en CAD en los cuales se puede representar un objeto en 3D de forma virtual, y de esta manera poder imprimirlo.

Los materiales que pueden utilizarse para imprimir objetos son variados y lo cierto es que influyen bastante en el coste de la impresora. Cualquier impresora de bajo costo suele funcionar con termoplásticos como el PLA o ABS. Pero nos encontramos con impresoras que son capaces de trabajar con otros materiales, como es el metal, fotopolímeros, o resinas líquidas [22].

En este proyecto se ha utilizado la impresión con un fin de poder ver y analizar la importancia de un prototipo antes de poner en marcha la producción del producto, y así poder evitar gastos innecesarios si se tienen que realizar cambios en el diseño.

La realización de prototipos en 3D es importante, ya que se puede trabajar en un producto las ocasiones que sean necesarias sin incrementar el costo de producción

### 3.1 Prototipo físico final.

El prototipo se realizó en una impresora Prusiano i3, con un material PLA. El volumen de la pieza es de 28.57 cm<sup>3</sup>, el peso total es de 24 g, sus dimensiones en el plano X: 154.43 (mm), Y: 5.74 (mm), Z: 167 (mm), y tardó en realizarse 7 horas la impresión en 3D.

#### Prototipo 5.



Figura 3.1 Prototipo 5, impresión 3D.



Figura 3.2 Prototipo 5, impresión 3D.

El prototipo impreso en 3D que se muestra en la figura (3.1,3.2), presenta el diseño esperado, validando el diseño de esta forma, el tipo de material que se utilizó para realizar el prototipo es PLA, cambiando por completo las propiedades mecánicas que se tienen contempladas para este producto, por lo tanto, el material es frágil.

## Pruebas.

Las botellas pueden ser colocadas de una manera uniforme, pueden ser introducidas en las uñas de sujeción sin ningún problema, y expulsarse de la misma forma, el prototipo no se mueve en lo absoluto, es de fácil uso, puede sujetarse bien, se siente confiable al momento de caminar con las botellas, no es pesado, el prototipo cumple con lo esperado, puede verse en la figura (3.3, 3.4, 3.5).



Figura 3.3 Prueba 12.



Figura 3.4 Prueba 13.



Figura 3.5 Prueba 14.

### 3.1.2 Comparación de prototipos.

En la tabla (3.2), se muestran los prototipos que se realizaron, comparándolos con el ultimo prototipo impreso en 3D. Es importante analizar este aspecto ya que se muestra el avance que se tuvo en base a los prototipos propuestos.

Se desarrolló una tabla de atributos para hacer una evaluación preliminar, comparativa de los prototipos desarrollados, por las características de los mismos, no hay una que sirva de referencia, con dicha tabla se propone una manera de llevar acabo la evaluación.

Los valores se propusieron de acuerdo a los atributos o propiedades de cada prototipo al momento de realizarlos y hacer las pruebas, se puede ver en la figura (2.10, 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18, 2.19, 2.20, 2.21, 3.3, 3.4, 3.5).

En la tabla (3.1) se pueden ver los valores de los atributos o propiedades que se han asignado, para realizar la comparación de cada prototipo.

Atributos.	Valor.
Pésima	0
Mala	1
Regular	2
Buena	3
Muy buena	4
Excelente	5

Tabla 3.1 Valor de atributos.

### Tabla de comparación de prototipos.

Atributos o propiedades del	Prototipo 1					Prototipo 2					Prototipo 3					Prototipo 4					Prototipo 5									
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
Capacidad de agarre del usuario.	X							X						X							X									X
Facilidad de traslado del usuario.	X							X						X							X									X
Facilidad de uso del usuario.	X							X						X							X									X
Capacidad de agarre de botellas.	X							X						X							X									X
Diseño.	X							X						X							X									X
Apariencia.	X							X						X							X									X
Material.	X							X						X							X						X			

Tabla 3.2 Comparación de prototipos.

Se puede ver en la tabla (3.2), la diferencia que hay entre los primeros prototipos y el que se realizó mediante CAD, y fue impreso en 3D, sus atributos o propiedades cambiaron completamente, los atributos muestran una mejora significativa, ya que el diseño cambio completamente, de acuerdo a las mejoras realizadas en cada prototipo, sus propiedades cambiaron mejorando estas significativamente en cada prototipo, las pruebas realizadas en cada prototipo dieron los valores correspondientes que se pueden ver en la tabla (3.2), en la cual se puede ver la mejoría del prototipo 5, es importante mencionar que el material ocupado para el prototipo no es el indicado, es frágil, si se utiliza el material que es indicado como en las pruebas de esfuerzo deformación, hay una mejora significativa en este punto.

Los Criterios de metas de calidad en base a la función se han cumplido en su totalidad. Cumpliendo con las metas de calidad que se establecieron en este producto. Las metas de calidad establecidas se pueden ver en la tabla (2.4 Criterios de metas de calidad en base a la función).

Por lo tanto, la pieza es óptima, con los estudios realizados en el proyecto, de esta manera se valida el diseño, el material, y la pieza.

### **3.2 Gasto de producción.**

Es importante saber el precio de producción de una pieza, para tener una idea si es rentable producirla o no. Por esa razón se estima el costo del transportador de botellas, este análisis se realizó con la ayuda de una empresa privada. Por razones de seguridad se pidió que no se dieran datos de referencia de la empresa, como nombre y razón social. La empresa dio el costo estimado de producción de una pieza con características similares con el transportador de botellas, no tienen el mismo uso ni la función, pero son de dimensiones y peso parecidos, se realiza mediante un proceso de inyección, el motivo de pedir ayuda fue para conocer el costo total que tienen en gastos indirectos al momento de realizar una pieza. Es importante tener en cuenta algunos puntos que afectan directamente al precio de producción de una pieza, los cuales muchas empresas no tienen en cuenta, al momento de estimar su precio final.

#### **Principales costos que afectan el precio de una pieza.**

De acuerdo al estudio realizado por la empresa estos son los puntos necesarios para calcular el precio de una pieza. La información del tipo de máquina que se necesita para hacer la pieza y los costos que afectan directamente al precio, fueron brindados por la empresa.

- Tipo de máquina: es importante indicar el tamaño de la máquina donde se realizará la inyección, por el peso de la pieza debe ser aproximadamente entre 90 a 110 toneladas de cierre y claro que la capacidad de la máquina influye en el costo de la pieza, por esa razón es importante determinar en qué tipo de máquina se realizara el trabajo. Como regla general se calcula el tipo de máquina en toneladas por cada gramo de peso de la pieza, como el peso es solo 24 gramos

y queriendo asegurar un llenado sin problemas, deberá realizarse en una máquina por lo menos de 90 toneladas de capacidad de cierre.

Si el tamaño de la máquina es de 90 toneladas, el costo de la pieza se ve afectado en un 10% (se tiene que ver la depreciación de la máquina y el número total de piezas que se fabricaran por año, ya que la maquinaria se deprecia anualmente.

- El precio del plástico que se utilizará es un factor que va ligado al precio final de la pieza, en este caso se utilizó un HDPE (High Density Polyethylene), por sus propiedades mecánicas que presenta este tipo de material, el precio de venta por kilogramo de material virgen es de \$30.00 y molido es de \$20.00. Para cada tipo de proceso se utilizan plásticos que se adapten a cada uno, teniendo en cuenta la función específica que se quiere tener para un producto, en cada proceso de transformación de plásticos, depende mucho el grado de flujo del material, en inyección es recomendable que el grado de fluidez del material sea de 12, o este cercano a este, para que la inyección del plástico sea buena.
- El tiempo de total de ciclo de inyección determina el costo de la pieza, es uno de los factores con importancia en el proceso de realizar una pieza, el tiempo total de inyección va ligado al costo de la pieza. Ya que de este depende el precio de la pieza, y entre más corto sea la inyección, el precio de producción disminuye. En este caso en la simulación que se realizó el tiempo de ciclo total del transportador de botellas, se realizó en 16.74 s.

### Principales costos que afectan el precio de una pieza.

Máquina de 90 toneladas.	10%	\$0.161
Energía.	10%	\$0.161
Mano de obra.	10%	\$0.161
Materia prima.	50%	\$0.805
Desperdicio.	2%	\$0.0322
Transporte.	3%	\$0.0483
Empaque	8%	\$0.1288
Gastos financieros.	3%	\$0.0483
Otros	4%	\$0.0644
Total.	100%	\$1.6094

Tabla 3.3 Principales costos que afectan el precio de una pieza.

Realizando el cálculo de la pieza debería cotizarse aproximadamente y tomando en consideración una utilidad del 35% sería de \$ 1.61 por pieza, con una máquina de 90 toneladas, el costo es una aproximación solamente ya que para realizar un estudio exacto tendría que realizarse un proyecto solamente de esta parte ya que es muy extenso y se tienen que analizar factores que varían, como los costos que afectan al precio de una pieza.

Si se realizara en una de 110 toneladas el precio subiría a \$1.95 por pieza.

Estos datos fueron proporcionados por la empresa, para tener una idea de cuánto cuesta producir una pieza con las dimensiones y peso del transportador de botellas. Los resultados pueden variar dependiendo del tipo de pieza que quiera realizarse.

## CAPITULO 4. Conclusiones.

En este último capítulo se presentan las conclusiones, del análisis previo de los resultados obtenidos en cada uno de los capítulos.

### 4.1 Hipótesis.

Por lo tanto, es claro que ocupando una metodología para el diseño y desarrollo de un nuevo producto se puede desarrollar de manera óptima, logrando los objetivos de diseño establecidos. Obteniendo resultados favorables y aptos para el desarrollo de un nuevo producto. El resultado del producto final se puede ver en la gráfica (4.1), superando criterios de Metas de Calidad establecidos en la gráfica (2.1).

Se desarrolló una tabla para la evaluación de las metas de calidad, para hacer una evaluación preliminar, comparativa, de los criterios de metas de calidad en base a su función, por las características de las metas de calidad establecidas no hay una que sirva de referencia, con dicha tabla se propone una manera de llevar acabo la evaluación. Valor de atributos, para evaluar las metas de calidad pueden verse en la tabla (2.3).

Tabla de criterios de metas de calidad en base a la función.

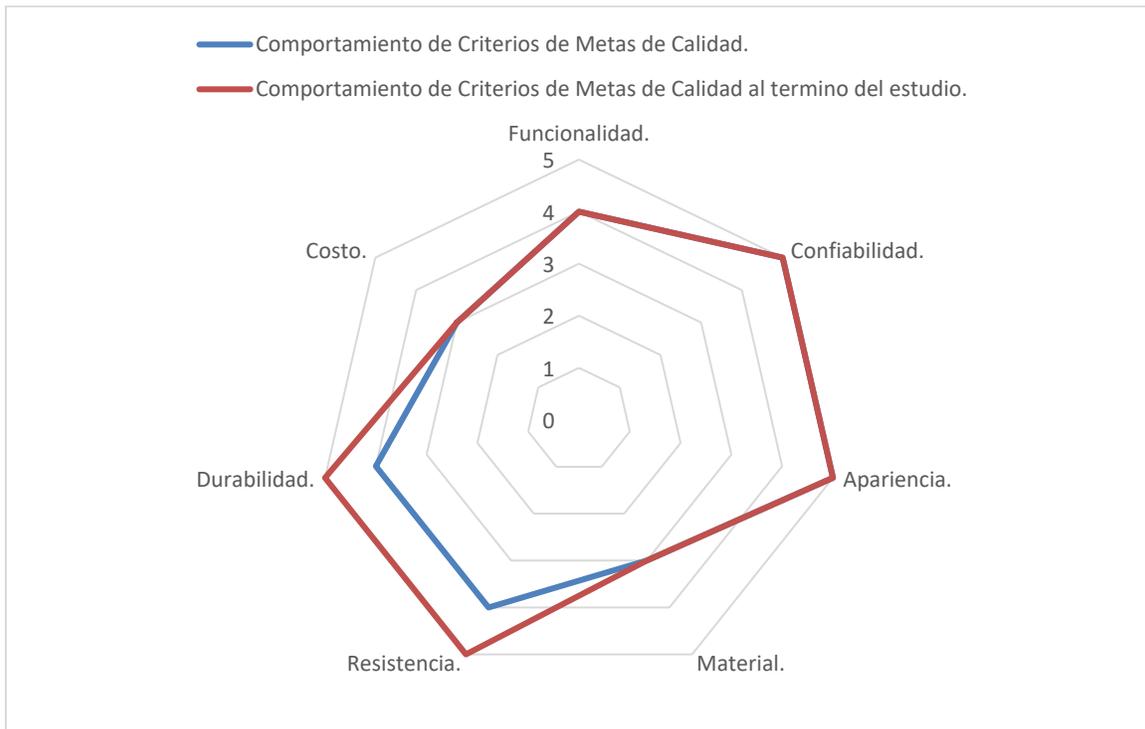
Metas de Calidad.	Valores de criterios establecidos para las Metas de Calidad.					
	Pésima (0)	Mala (1)	Regular (2)	Buena (3)	Muy buena (4)	Excelente (5)
Funcionalidad.					4	
Confiability.						5
Apariencia.						5
Material.				3		
Resistencia.						5
Durabilidad.						5
Costo.				3		

Tabla 4.1 Criterios de metas de calidad en base a la función.

A continuación, se mostrarán los criterios de las metas de calidad en base a la función del prototipo 5, y poder analizar con una gráfica de radar el comportamiento de cada uno,

se puede ver en la gráfica (2.1) y en la gráfica (4.1), la comparación que hay entre el prototipo 4 y el prototipo 5, se puede ver en la tabla (4.1) que varios criterios de metas de calidad establecidos rebasaron la expectativa que se tenía para para el estudio.

**Grafica de Radar (Criterios de las Metas de Calidad).**



Grafica 4.1 Comparación de Criterios de metas de calidad.

**4.2 Uso de Metodología.**

La implementación del Método Innovador incidió positivamente en la aplicación de una metodología para diseñar un producto plástico, de esta manera se puede validar un diseño rápidamente y eliminar la incertidumbre que surge al momento de desarrollar un nuevo producto. Así se puede probar y validar una visión creativa para no perder los recursos de fabricación y lanzamiento del producto, de esta forma se simplifica el proceso de diseño de una pieza o de un nuevo producto plástico. Es importante tener en cuenta que el Método Innovador reduce el tiempo de diseño, eliminando partes que no son necesarias y centrándose en puntos clave que maximizan el desempeño de un equipo de trabajo, por lo tanto, el tiempo de concepción de un producto es menor, y se eliminan

costos innecesarios en la creación de un producto. la implementación del Método Innovador fue de gran ayuda en la realización de este proyecto.

#### **4.3 Diseño en CAD.**

La implementación del CAD (Computer Aided Design), incidió positivamente en la aplicación para el diseño en 3D de la pieza, de esta manera se validó el diseño de una manera rápida. Se determinó que el uso de tecnologías de diseño como SolidWorks, son de gran ayuda para el diseñador, creando la representación gráfica del objeto físico que se está realizando ya sea en 2D o 3D, y minimizando el tiempo de diseño de la pieza. La importancia de utilizar este tipo de tecnología en la concepción de un nuevo producto es de gran importancia, ya que los costos de desarrollo son menores, de esta manera se aumenta la productividad, se mejora la calidad del producto, y su tiempo de lanzamiento es menor.

#### **4.4 Simulación CAE.**

La implementación de CAE (Computer Aided Engineering), fue de gran ayuda para realizar los estudios de simulación que se realizaron en los análisis de esfuerzo-deformación, y análisis de flujo con el FEA (Finite Element Analysis) incorporar tecnologías de este tipo para hacer análisis de simulación es de gran ayuda para minimizar tiempo de simulación en un producto, de esta manera se reduce el costo de simulación con FEA (Finite Element Analysis), aumentando la productividad en los análisis y mejorando la calidad del producto y disminuyendo su tiempo de lanzamiento al mercado. Es importante señalar que utilizando tecnologías de este tipo se tienen menos gastos al momento de realizar un producto.

El prototipo que se realizó mediante impresión 3D fue de gran ayuda para analizar partes importantes en el diseño, y modificar su forma y dimensión, de esta manera se redujo tiempo en la investigación y se validó la pieza, cumpliendo con las metas de calidad establecidas para este producto. Sin un prototipo es difícil de analizar el modelo en CAD diseñado y ver si cumple con las especificaciones que debe de tener, de esta manera es posible ver si tiene algún defecto o no cumple con los parámetros establecidos, en este caso la función. Es importante trabajar con prototipos en un proyecto enfocado a diseño de alguna pieza, ya que con este se puede descubrir si hay partes de la pieza que no

cumplen con lo establecido, ahorrando tiempo en diseño y reduciendo el costo en la creación de un producto.

#### **4.5 Mercadotecnia.**

La estimación del cálculo del transportador de botellas es buena, ya que se encuentra en un rango aceptable para producirla, es importante tener en cuenta aspectos como el ciclo de inyección, ya que entre más bajo sea disminuye el precio de la pieza, hay que saber cuánto cuesta el material que se pretende utilizar y ver si sus características se acoplan a las propiedades mecánicas que pretende tener la pieza y en el proceso, los costos de producción indirectos son un factor clave para darse una idea del costo total del producto, el estudio que se realizó para saber el precio estimado de producción del transportador de botellas fue de gran ayuda para saber si es factible realizar la pieza a gran escala.

## BIBLIOGRAFÍA.

- [1] N Furr, J Dyer, CM Christenses. (2014). The Innovator's Method: Bringing the Lean Startup Into Your Organization. Harvard Business Review Press.
- [2] Salinas, Oscar (1992). Historia del Diseño Industrial. Editorial Trillas, Ciudad de México.
- [3] Andrés García Higuera, Fernando J. Castillo García (2007). CIM. El computador en la automatización de la producción. Ediciones de la Universidad de Castilla La Marcha. Primera Edición Tirada.
- [4] SolidWorks. "CAD/CAE" [en línea] < <http://www.cad-cae.com/analisis02.html> > (SolidWorks®2016) [Consulta: 26 de abril de 2016].
- [5] MDI, Diego Hurtado. "Concepto y Diseño" [en línea] < [http://prototipod.blogspot.mx/2016/11/ventana-concepto-y-diseo\\_16.html](http://prototipod.blogspot.mx/2016/11/ventana-concepto-y-diseo_16.html) > (Copyright®2010 prototipo I Desing by Dzignine) [Consulta: 12 de julio de 2016].
- [6] Emprendedores. "¿Cómo se elabora un modelo Canvas?" [en línea] < <http://www.emprendedores.es/gestion/modelo-3> > (Copyright®2016 Hearts, España S.L.) [Consulta: 12 de julio de 2016].
- [7] Polímeros termoplásticos. "Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales" [en línea] < [http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15\\_3.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15_3.html) > (Universidad Politécnica de Valencia, 2016, España) [Consulta: 16 de agosto de 2016].
- [8] SolidWorks "Criterios de máxima tensión de von Mises" [en línea] < [http://help.solidworks.com/2010/spanish/SoliWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Checking\\_stresses/prot\\_vonm.html](http://help.solidworks.com/2010/spanish/SoliWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Checking_stresses/prot_vonm.html) > (Dassault Systems®1995-2016) [Consulta: 16 de agosto de 2016].
- [9] SolidWorks "Antecedentes sobre mallado" [en línea] < [http://help.solidworks.com/2013/spanish/SolidWorks/cworks/c\\_Background\\_on\\_Meshing.html](http://help.solidworks.com/2013/spanish/SolidWorks/cworks/c_Background_on_Meshing.html) > (Dassault Systems®1995-2016) [Consulta: 17 de agosto de 2016].

[10] SolidWorks “SolidWorks Plastics” [en línea] < [http://help.solidworks.com/2013/spanish/SolidWorks/cworks/c\\_Background\\_on\\_Meshing.html](http://help.solidworks.com/2013/spanish/SolidWorks/cworks/c_Background_on_Meshing.html) > (Dassault Systems®1995-2016) [Consulta: 24 de agosto de 2016].

[11] SolidWorks Plastics “Optimización del diseño de las piezas de plástico y de los moldes de inyección” [en línea] < [http://help.solidworks.es/sw/docs/SW2015\\_Plastics\\_DS\\_ESP.html](http://help.solidworks.es/sw/docs/SW2015_Plastics_DS_ESP.html) > (Dassault Systems®1995-2016) [Consulta: 24 de agosto de 2016].

[12] SolidWorks “Perspectiva general de análisis de ángulos de salida” [en línea] < [http://help.solidworks.com/2010/spanish/SolidWorks/cworks/legacyhelp/sldworks/Mold/Draft\\_Analysis\\_Overview.html](http://help.solidworks.com/2010/spanish/SolidWorks/cworks/legacyhelp/sldworks/Mold/Draft_Analysis_Overview.html) > (Dassault Systems®1995-2016) [Consulta: 24 de agosto de 2016].

[13] NISSAN MEXICANA S.A. DE C.V. (1992). MANUAL DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD, PARA PROVEEDORES DE PARTES. Departamento de Aseguramiento de la calidad y Departamento de Planeación de calidad. NISSAN. Manual.

[14] Hirus “La importancia de desarrollar prototipos” [en línea] < <http://hirus.com/2012/09/la-importancia-de-desarrollar-prototipos-en-la-ux/> > (Copyright©2011-2016) [Consulta: 31 de agosto de 2016].

[15] Lean Solutions “Análisis del Modo y Efecto de Falla (AMEF)” [en línea] < <http://www.leansolutions.co/conceptos/amef/> > (Copyright © 2011-2016, Lean Solutions) [Consulta: 31 de agosto de 2016].

[16] Graficación por Computador “CAE/Ingeniería Asistida por Computador” [en línea] < <https://sites.google.com/site/grafcomputacional/estereoscopia/cae-ingenieria-asistida-por-ordenador> > (Copyright © 2012, José Luis Prado) [Consulta: 1 de septiembre de 2016].

[17] SolidWorks “Simulation Xpress” [en línea] < <http://www.solidworks.es/sw/products/simulation-xpress.html> > (Dassault Systems®1995-2016) [Consulta: 1 de septiembre de 2016].

**[18]** SolidWorks “Análisis por Elemento Finito” [en línea] < <http://www.solidworks.es/sw/products/simulation/finite-element-analysis.html> > (Dassault Systems®1995-2016) [Consulta: 1 de septiembre de 2016].

**[19]** SolidWorks “Comprobación de Factor de Seguridad” [en línea] < [http://help.solidworks.com/2013/spanish/SolidWorks/cworks/c\\_Factor\\_of\\_Safety\\_Check.html](http://help.solidworks.com/2013/spanish/SolidWorks/cworks/c_Factor_of_Safety_Check.html) > (Dassault Systems®1995-2016) [Consulta: 1 de septiembre de 2016].

**[20]** Luis Manuel RAMIREZ [DMD, SolidWorks Authorized Reseller]. (12 de mayo de 2015). ¿Cómo calcular el factor de seguridad con SolidWorks Simulation? [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=a7EHYC6C2IU>

**[21]** Concepto definición “Prototipo” [en línea] < <http://conceptodefinicion.de/prototipo/> > (Venemedia©2014. Todos los derechos reservados) [Consulta: 4 de octubre de 2016].

**[22]** Impresoras 3D “¿Qué es una impresora 3D?” [en línea] < <http://www.3dimpresoras3d.com/que-es-una-impresora-3d> > (Copyright©2016 3d impresoras 3e. All rights Reserved) [Consulta: 4 de octubre de 2016].

**[23]** Gestión de proyectos basados en PMI “Gestión de la Calidad” [en línea] < [http://gpuacm.blogspot.mx/2012\\_11\\_01\\_archive.html](http://gpuacm.blogspot.mx/2012_11_01_archive.html) > (Atziri Ramos UACM©2012, All Rights Reserved) [consulta: 4 octubre de 2016].