



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Rediseño de sensores  
infrarrojos (IR) de seguridad  
para puertas de garaje**

**TESINA**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Mecánico**

**P R E S E N T A**

Alejandro Dapa de la Garza

**DIRECTOR(A) DE TESINA**

Dr. Adrián Espinosa Bautista



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

<b>Glosario</b> .....	1
<b>Objetivos</b> .....	2
<b>Introducción</b> .....	3
<b>1. Diseño y desarrollo de productos</b> .....	5
1.1. Panorama general del diseño internacional y nacional.....	8
1.1.1. Internacional.....	10
1.1.2. México.....	11
1.2. Concepto de Diseño.....	15
1.3. Ingeniería de diseño.....	17
<b>2. Chamberlain Group - Empresa especializada en la fabricación de abridores de garaje</b> .....	19
2.1. Departamento de Sustaining.....	21
2.2. Departamento de Manufactura.....	26
2.3. Problemática en el área de manufactura de los <i>IRS</i> .....	27
2.4. <i>IRS</i> .....	28
2.4.1. Diseño actual de los <i>IRS</i> .....	29
2.4.2. Proceso actual de manufactura.....	36
2.5. Normas de seguridad.....	38
2.6. Pruebas de rendimiento mecánico.....	39
<b>3. Rediseño carcasas del sistema de sensores de seguridad para puertas de garaje</b> .....	40
3.1. Metodología de diseño.....	40
3.2. Herramientas.....	56
3.3. Rediseño conceptual.....	63
<b>Conclusiones</b> .....	93
<b>Anexos</b> .....	97
<b>Glosario de figuras</b> .....	103
<b>Índice de tablas</b> .....	105
<b>Referencias</b> .....	106

## Glosario

<b>BOM</b>	Bill of Materials, registro que alberga los elementos necesarios para la construcción de una pieza, ensamble o producto final.
<b>CAS</b>	Comercial Access Solutions, área designada a la producción de GDOs para industrias y negocios.
<b>CEO</b>	Chief Executive Officer, persona que tiene la mayor responsabilidad directiva en una empresa.
<b>CGI</b>	Chamberlain Group Incorporated.
<b>ECN</b>	Engineering Change Request, transacción que notifica la aprobación del cambio solicitado en el ECR.
<b>ECR</b>	Engineering Change Request, transacción para solicitar la revisión a una propuesta de cambio de ingeniería en manufactura o diseño.
<b>GAS</b>	Garaje Access Systems, área designada a la producción de GDOs para viviendas.
<b>GDO</b>	Garage Door Opener, denominación para definir cualquier abridor para puertas de garaje.
<b>IRS</b>	Infra Red Sensors, denominación en planta para definir el sistema de sensores de seguridad para puertas de garaje.
<b>ISSUE</b>	Requerimiento de servicio o atención ingenieril al departamento de Sustaining.
<b>PCB</b>	Printed Circuit Board, es una placa o superficie, que soporta y conecta los componentes electrónicos en este caso de los IRS, permitiendo su correcto su funcionamiento.
<b>RAS</b>	Residential Access Solutions, área designada a la producción de GDOs para residencias.
<b>SCRAP</b>	Piezas sin utilidad, pueden ser para pruebas de ingeniería, para desperdicio o por desecho en la mala calidad de la pieza.

## Objetivos

### Objetivo general

Rediseñar las carcasas del sistema de sensores infrarrojos de seguridad para puertas de garaje de Chamberlain Group Inc., en un lapso de 15 semanas considerando las normas de rendimiento mecánico establecidas por la empresa.

### Objetivos secundarios

- Definir las dimensiones de la nueva PCB.
- Reducir al máximo el volumen de las carcasas de los *IRS*.
- Sujetar la PCB en posición vertical dentro de las carcasas.
- Garantizar el rendimiento mecánico en las pruebas de seguridad.
- Conservar el sistema de acoplamiento de la carcasa superior al bracket.
- Conservar el haz de luz del LED, visible al usuario, al momento de acoplar los *IRS* al bracket.
- Generar un ahorro mínimo de \$ 200, 000 USD anuales en la producción de las carcasas de los *IRS*.

## Introducción

La empresa ofrece una oportunidad única en la cual durante cinco meses se nos capacita y asesora con el fin de diseñar o rediseñar algún producto de la empresa. Al tratarse de una maquiladora que cuenta con más de 4,000 empleados y produce más de 6,000 unidades diarias, día a día se detectan oportunidades de mejora o fallas en el área de producción siendo el departamento de Sustaining el que se encarga de atender estos inconvenientes. Atendiendo una de estas oportunidades de mejora, fue que se optó por realizar el rediseño del sistema de sensores de seguridad para puertas de garaje.

Por lo tanto el tema de tesina comprende el rediseño de las carcasas de los sensores de seguridad para puertas de garaje. Para dar cumplimiento con los requisitos de diseño mecánico, manufactura y producción, fue necesario:

- Definir las dimensiones de la nueva PCB.
- Reducir al máximo el volumen de las carcasas de los *IRS*.
- Sujetar la PCB en posición vertical dentro de las carcasas.
- Garantizar el rendimiento mecánico en las pruebas de seguridad.
- Conservar el sistema de acoplamiento de la carcasa superior al bracket.
- Conservar el haz de luz del LED, visible al usuario, al momento de acoplar los *IRS* al bracket.
- Generar un ahorro mínimo de \$ 200, 000 USD anuales en la producción de las carcasas de los *IRS*.

La estructura del presente trabajo comprende 3 capítulos y un apartado de anexos donde se observan algunas cotizaciones y fichas técnicas.

En el primer capítulo expongo el panorama actual global y nacional en materia de diseño.

El segundo capítulo comprende descripción detallada del funcionamiento de Chamberlain Group como empresa manufacturera de abridores de garaje con el fin de ofrecer un panorama de los procesos requeridos para la elaboración de los *IRS*.

Además, presento brevemente mi experiencia dentro de empresa, así como las responsabilidades que se me asignaron en mi estancia.

En el tercer y último capítulo expongo el rediseño de las carcasas y cada uno de los elementos que las conforman y describo la metodología y herramientas utilizadas para su elaboración.

## 1. Diseño y desarrollo de productos

La ingeniería en el diseño y desarrollo de productos es el área que impulsa la innovación del producto desde la idea del producto a lo largo de todo el ciclo de vida del mismo (diseño, desarrollo, fabricación, uso y reciclaje o eliminación).

Para comprender las limitaciones de los nuevos productos y obtener una imagen más clara, es necesario definir, qué caracteriza a la innovación de productos. Los impulsores para la innovación y para los nuevos productos son avances tecnológicos, cambios en las necesidades de los clientes, tendencias sociales y económicas, etc.

Al desenvolverme profesionalmente en el diseño y desarrollo de productos dentro de la empresa Chamberlain Grupo Inc., sigo desarrollando mis habilidades y aptitudes que me permiten desempeñar un mejor papel como ingeniero. Hoy en día tengo un panorama más amplio de los grandes desafíos a los que nos enfrentamos como humanidad y las necesidades que estas van generando.

De acuerdo con Ulrich y Eppinger (2010), el desarrollo de productos es una actividad interdisciplinaria que requiere de la colaboración de casi todas las áreas de trabajo de una empresa; no obstante, tres son esenciales en un proyecto de desarrollo de productos:

- **Mercadotecnia**

Su función es ser un intermediario entre los clientes y la empresa, por lo que se encarga de la comunicación con clientes, establecer el precio del producto además de supervisar el lanzamiento y promoción del este.

Es usual que este departamento facilite la identificación de oportunidades de productos y necesidades del cliente, asimismo de definir los segmentos de mercado.

- **Diseño**

Este departamento se encarga de definir la forma física del producto satisfaciendo o superando las necesidades del cliente.



En contexto, el área de diseño está compuesta por dos disciplinas. El diseño industrial y el diseño de ingeniería.

A su vez, el diseño de ingeniería se subdivide en los diferentes campos de estudio de esta ciencia, de las cuales destacan la ingeniería mecánica, eléctrica y computacional.

- **Manufactura**

Responsable del diseño, operación y/o coordinación del sistema de producción del producto.

Otras áreas como finanzas y ventas, también participan con frecuencia en el desarrollo de un nuevo producto. Fuera de estas áreas funcionales, los quipos de trabajo y desarrollo del proyecto dependen de las características particulares del producto.

Además, de acuerdo con Richard Budynas y Keith Nisbeth (2015) en su libro "*Shigley's Mechanical Engineering Design*" y con Lom, et.al, (2009) en su libro "Áreas integrales de diseño industrial. Percepción, metodologías, manufactura y ergonomía". Se puede expresar que el área de diseño se subdivide en el área de diseño en ingeniería y el área de diseño industrial. En el área de diseño en ingeniería se encuentran diversas ramas de la ingeniería como son la mecánica, la eléctrica, la informática, entre otras.

Agrupando lo anterior, presento la siguiente imagen (Figura 1.1) que muestra las disciplinas que conforman el diseño y desarrollo de los productos.

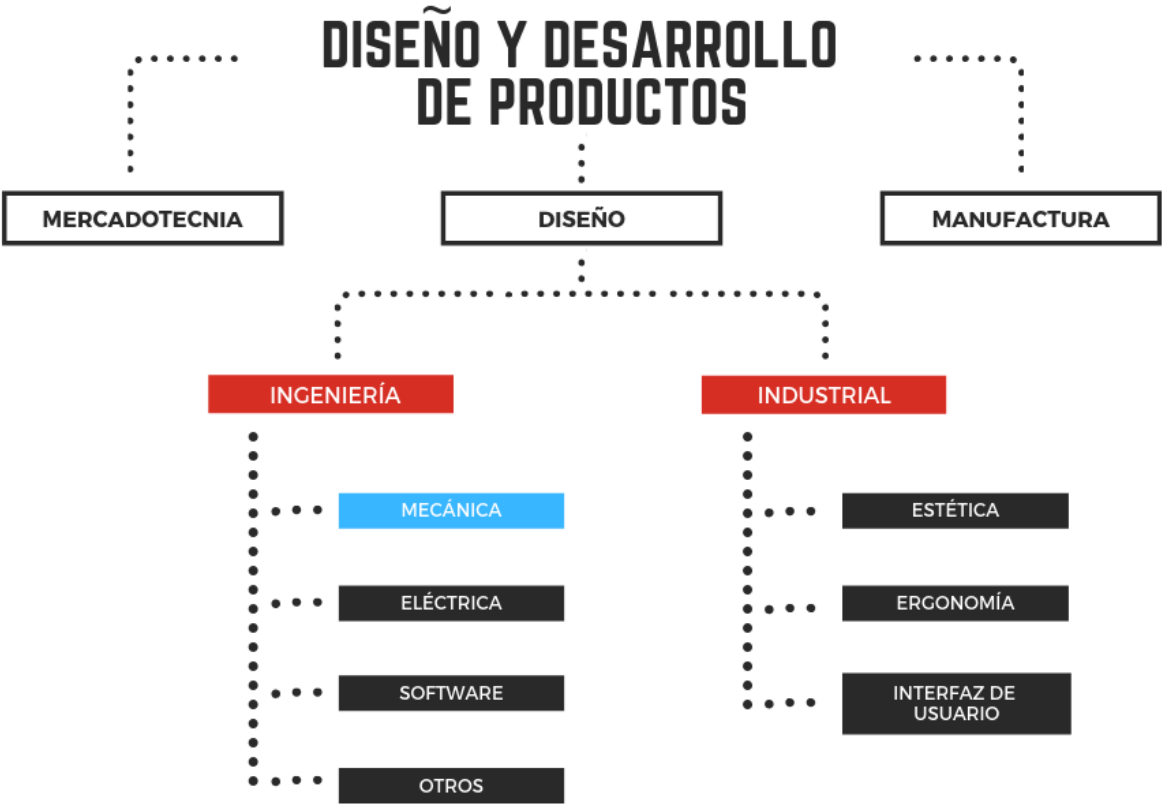


Figura 1.1 Disciplinas que conforman el diseño y desarrollo de productos.

A continuación, expongo un panorama general con el objetivo de mostrar la relevancia del diseño desde el punto de vista internacional y nacional. Para este apartado tome en cuenta el “Diagnostico sectorial 2015, innovación y diseño” [5] ya que es el último estudio que presenta un panorama general del uso del diseño y la innovación nacional e internacional.

## 1.1. Panorama general del diseño internacional y nacional

De acuerdo con Padilla, Josefa (2015), en el “Diagnostico sectorial 2015, innovación y diseño”. El diseño es el generador de valor agregado en la economía de muchos países. Este funciona como un diferenciador en un entorno altamente competitivo y globalizado. Muchas empresas reflejan su identidad local y nacional a través del diseño de sus productos y servicios, con lo cual logran posicionarse en los mercados a partir de su innovación y capacidad de adaptación al cambio.

El diseño redefine la manera en la que se abordan los problemas, se identifican oportunidades para la acción y, ayuda a proporcionar soluciones más completas y flexibles. Esto solo es posible cuando el diseño se integra en el ADN de las organizaciones.

El diseño busca generar una visión para resolver problemas, identificar oportunidades y encontrar soluciones productivas. Esto puede llegar a consolidarse cuando el diseño se une a la misión de la organización.

El diseño es la aplicación de diferentes herramientas y técnicas para la conceptualización e implementación de iniciativas de cara al cliente de negocios, dicho enfoque ha demostrado ser particularmente exitoso cuando los objetivos estratégicos de la empresa son la innovación, el posicionamiento competitivo, la diferenciación de marca, eficiencia de costos y calidad.

A nivel mundial, el sector de diseño se ha consolidado con mayor fuerza, como un elemento competitivo de alto impacto, impulsor de agentes económicos como la innovación, a través de la cual se crean márgenes mayores de valor agregado y utilidad.

El diseño es una disciplina transversal que aporta valor a cualquier sector o empresa en su aplicación, por el factor de innovación que involucra. El diseño consiste en centrarse para integrar utilidades funcionales, emocionales y sociales a un servicio y/o producto.

En muchas ocasiones, el diseño responde a las necesidades de innovación de la sociedad y de la industria, así como los avances de investigación y desarrollo (I+D), por lo que se comporta y percibe como un importante motor de la competitividad empresarial.

El diseño abarca esencialmente a la industria cultural y a la economía basada en el conocimiento. En la primera categoría se encuentran el diseño, el arte y la arquitectura y en la segunda sobresalen la educación y la investigación y desarrollo. Richard Florida (2010), el creador de la teoría de la clase creativa, sostiene que la importancia de la economía creativa radica en que la creatividad humana es el mayor recurso económico

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco, 2013) define a las industrias creativas como: sectores productivos donde se conjugan creación, producción y comercialización de bienes y servicios basados en contenidos intangibles de carácter cultural, generalmente protegidos por el derecho de autor. En este sentido, las industrias creativas logran interacciones entre la cultura, la economía y la tecnología, proceso que se encuentra en evolución y en diferentes niveles en los países y, forja sus alcances y estrategias especialmente en políticas públicas.

### 1.1.1. Internacional

Después de casi una década de progresos desiguales, ahora se ha implementado un impulso de crecimiento económico global de base amplia. El desafío actual es que la economía global alcance una velocidad de crucero cómoda que pueda mantenerse durante los próximos años.

En este contexto, existe una necesidad renovada de priorizar políticas que fomenten nuevas fuentes de crecimiento impulsado por la innovación. Las inversiones en innovación son centrales en este objetivo. Según las estimaciones del Índice de Innovación Global 2018, el crecimiento interanual del gasto corporativo y público en investigación y el desarrollo (I+D) sigue siendo en su mayoría más bajo de lo que era antes. Sin embargo, el panorama global de la inversión en ciencia y tecnología, así como en educación y capital humano, ha experimentado importantes cambios positivos en las últimas tres décadas.

Hoy en día, la innovación, la investigación y el desarrollo son una ambición política seria en las economías más desarrolladas y en desarrollo y en todas las regiones del mundo. Los gastos mundiales en I+D han seguido aumentando, más que duplicándose en el período de 20 años entre 1996 y 2016; Cada vez más las empresas representan la mayoría de las inversiones en I&D.

En 2016, el gasto total mundial en I+D creció un 3%. Los documentos de propiedad intelectual (IP) también han alcanzado niveles récord en 2016; Ese crecimiento es impulsado principalmente por China.

Otro mensaje positivo se puede encontrar en el frente de negocios. El gasto mundial en I+D en negocios aumentó a un ritmo más rápido en 2016 (4,2%) que en 2015. Las 1.000 empresas más importantes de I+D aumentaron sus gastos en I+D entre 2015 y la primera mitad de 2017.

Existen países característicos del diseño en el mundo, que por su trayectoria más que por su clasificación oficial, son reconocidas como ciudades referentes de diseño y son respetadas y reconocidas por su aportación a la cultura global, utilizando la innovación y el diseño como diferenciadores y generadores de valor económico y

cultural, de acuerdo al ranking del Índice de Innovación Global 2018 los siguientes países son las mejores en materia de diseño e innovación, ver figura 1.2.

Country/Economy	Score (0–100)	Rank
Switzerland	68.40	1
Netherlands	63.32	2
Sweden	63.08	3
United Kingdom	60.13	4
Singapore	59.83	5
United States of America	59.81	6
Finland	59.63	7
Denmark	58.39	8
Germany	58.03	9
Ireland	57.19	10

*Figura 1.2 Top 10, países líderes en materia de diseño e innovación (Global Innovation Index, 2018)*

### 1.1.2. México

De acuerdo con el reporte de “Economía creativa en América Latina y el Caribe” (Lázaro Rodríguez, 2018), la “participación económica del sector en el PIB nacional” fue de 3,3% en 2016, a partir de un cambio de año base en 2013, según la Cuenta Satélite de Cultura del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. La participación sectorial en el PIB fue: medios audiovisuales (37,7%), artesanías (17,8%), producción cultural de los hogares (17,5%), **diseño y servicios creativos** (8,3%), artes escénicas y espectáculos (5,5%), formación y difusión cultural en instituciones educativas (4,8%), libros, impresiones y prensa (3,9%), patrimonio material y natural (1,7%), artes visuales y plásticas (1,5%), y música y conciertos (1,2%) (INEGI, 2017). Según la misma fuente, en 2016, estos sectores tuvieron 1.359.451 puestos de trabajo ocupados.

México es un gran competidor potencial en el ámbito del diseño, debido a que cuenta con una amplia variedad de actividades económicas y del ciclo de desarrollo de un producto, que van desde la concepción y el diseño, hasta la ingeniería, la manufactura y los servicios. También tiene un alto contenido tecnológico en los productos que fabrica y exporta, así como una sólida plataforma de talento.

A continuación expongo algunos ejemplos de la competitividad y capacidad de diseño en México.

*Tabla 1.1 Ejemplos de la competitividad y capacidad de diseño en México [5].*

<b>Diseñador</b>	<b>Empresa</b>	<b>Actividades</b>
<b>Jordi Muñoz</b>	3D Robotics	Desarrollo y exportación de software para drones y drones
<b>Daniel Chinchilla Ochoa</b>	Design4Motion	Estudio de diseño que crea productos de diseño a medida para sus clientes.
<b>Miguel Calderón Aguilar</b>	General Motors (GM)	Diseño automotriz.
<b>Ezequiel Farca</b>	Ezequiel Farca + Cristina Grappin	Estudio de diseño que se especializa en diseño de productos, diseño de interiores y arquitectura.

Así mismo, empresas como Skyworks Solutions, Inc. e Intel Corporation, dedicadas a la innovación tecnológica, realizan procesos de diseño e innovación de alto valor en México.

Estos son solamente algunos ejemplos de la aplicación del diseño en una empresa en diferentes sectores económicos, por medio del cual cada uno de los casos de éxito ha incrementado los márgenes de utilidad y el posicionamiento de su marca.

De acuerdo al Índice Global de Innovación 2018, México se posiciona en el lugar 56, lo que representa un avance de cinco posiciones frente a la del 2016. En materia de insumos a la innovación, nuestro país se coloca en la posición 54, representando otro avance de cinco posiciones en comparación con el 2016. Por otro lado, en innovación, se ubica en el lugar 12 de entre las 34 economías emergentes más importantes; mientras que ocupa el 3er puesto en la región de América Latina.

Hoy en día, en las universidades e instituciones de educación superior, el diseño ya no es visto como un concepto creativo. Actualmente se están integrando a los planes de estudio diversas materias que cumplen con las necesidades del mercado nacional e internacional, por lo que el diseño se ha convertido en una herramienta para la vida cotidiana. El diseño incide en la productividad y en el óptimo funcionamiento de las cosas.

El diseño como un componente clave dentro de la innovación ha venido evolucionando a través del tiempo hasta el punto en el que se involucra más allá de la conformación de objetos y comunicaciones visuales, adicionando el planteamiento de estrategias innovadoras que apoyen el desarrollo de empresas e instituciones.

Desde esta perspectiva es posible afirmar que el ejercicio profesional de la innovación y el diseño en México se encuentran en un momento en el que apuntan a la necesidad de desarrollar conocimientos y habilidades que sobrepasen el concepto de "dominio del oficio" para profundizar en el pensamiento estratégico que, con base en habilidades de investigación y análisis, permita a los profesionistas no trabajar para la "solución de problemas", sino para la generación de propuestas innovadoras que den nuevos enfoques, estrategias, productos y servicios a la sociedad y, que permitan a las empresas e instituciones realizar esfuerzos de proactividad para el desarrollo holístico de sus compañías.

Es por lo anterior que México reconoce la necesidad de migrar a este enfoque, en el cual se viva una cultura de innovación y en donde el diseño tenga un papel prioritario canalizando esfuerzos en el impulso de clústeres y agrupaciones en torno



al diseño en cualquiera de sus áreas, desde el creativo-conceptual hasta la ingeniería y manufactura avanzada.

De tal manera se consolida el diseño como una clara vocación productiva en México, por medio de la optimización del uso de equipos de alta tecnología, innovación y talento especializado permitiendo la independencia y el liderazgo internacional a mediano y largo plazo.

## 1.2. Concepto de Diseño

El diseño se ha conceptualizado para diferentes disciplinas:

En la arquitectura, en el diseño gráfico, en la moda y en la ingeniería, sin embargo, es importante dar una definición general para posteriormente ubicar el diseño en la ingeniería en el subcapítulo 1.3 donde se profundizara el concepto en la ingeniería tema que compete al presente trabajo de investigación.

“De acuerdo con el Diccionario de la Real Academia Española: Etimológicamente la palabra “diseño” tiene varias acepciones del término anglosajón design (Del, referente al signo, signar, señalar, señal indicación gráfica de sentido o dirección). Del término italiano Disegno, diseño, dibujo, designio, signare, signado “lo por venir”, el porvenir, visión representada gráficamente del futuro, lo hecho es la obra, lo por hacer es el proyecto, el acto de diseñar como prefiguración es el proceso previo en la búsqueda de una solución o conjunto de las mismas”. Real Academia Española. (2010) Diccionario de la lengua española. (22nd. Ed.).

“La difusión es indispensable para que se realice el proceso de promoción cultural y surge de un proceso comunicativo estableciendo estrategias y acciones pues es una actividad que requiere de organización, planeación y gestión”. (Lom, et.al, 2009)

Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema específico. El diseño es un proceso innovador y altamente iterativo.

También es un proceso de toma de decisiones. En ocasiones, las decisiones deben tomarse con muy poca información, ocasionalmente con la cantidad correcta de información o con un exceso de información parcialmente contradictoria. Las decisiones a veces se toman de manera tentativa, con el derecho reservado para ajustarse a medida que más se conoce. El punto es que el diseñador de ingeniería debe sentirse personalmente cómodo con el rol de toma de decisiones y resolución de problemas.

El diseño es una actividad de comunicación intensiva en la que se utilizan palabras e imágenes, y se emplean formas escritas y orales. Los ingenieros tienen que

comunicarse eficazmente y trabajar con personas de muchas disciplinas. Estas son habilidades importantes, y el éxito de un ingeniero depende de ellas. Los recursos personales de un diseñador son la creatividad, capacidad comunicativa y habilidad para resolver problemas que se entrelazan con los conocimientos técnicos y tecnológicos de un ingeniero.

Las herramientas de ingeniería como son matemáticas, estadística, informática, computo e idiomas, que se combinan para producir un producto funcional, seguro, confiable, competitivo, utilizable, manufacturable y comercializable, independientemente de quien lo construye o quien lo usa.

La ONU en el “Creative Economy Report (2013)” considera al “Diseño” como un elemento dentro de las industrias creativas, y ha estudiado como estas tienen un gran impacto económico en la economía mundial y, como se ha incrementado de manera notoria su utilización con el paso del tiempo.

Los consumidores quieren que los productos contengan más elementos culturales. El “valor de uso” de los bienes de consumo ya no es el principal foco de atención; Los consumidores están prestando más atención al diseño, empaque y marca de los productos. Se sienten atraídos por valores simbólicos, como el gusto, la emoción y las historias.

Mientras las personas tengan mayor poder adquisitivo, más atención prestan a las consideraciones emotivas detrás de sus actividades de ocio, entretenimiento, cultura y salud. Los consumidores están buscando productos que expresen su filosofía personal y su estatus social. En la sociedad actual, el consumo ya no es un medio para satisfacer necesidades básicas.

Por ejemplo, empresas como Coca cola, Apple, Facebook solo por mencionar algunas, no satisfacen alguna necesidad, más bien estas la generan con alguno de sus productos logrando que los usuarios se identifiquen con la marca, ya sea por alguna experiencia, sensación o por formar parte de algún estatus social.

### 1.3. Ingeniería de diseño

Los ingenieros mecánicos están asociados con el diseño y desarrollo de productos donde proporcionan los medios de producción, las herramientas de transporte y las técnicas de automatización. La base de conocimientos y habilidades son extensas; entre las bases disciplinarias se encuentran la mecánica de sólidos y fluidos, el transporte de masa y momento, los procesos de fabricación y la teoría de la información.

El diseño de ingeniería mecánica involucra todas las disciplinas de la ingeniería mecánica. Los problemas reales resisten a la compartimentación. Un simple cojinete liso involucra flujo de fluidos, transferencia de calor, fricción, transporte de energía, selección de materiales, tratamientos termomecánicos, descripciones estadísticas, etc.

La palabra diseño es simplemente un descriptor de producto. De manera similar, hay frases como diseño de máquinas, diseño de elementos de máquinas, diseño de componentes de máquinas, diseño de sistemas y diseño de energía de fluidos. Todas estas frases son ejemplos un tanto más específicos del diseño de ingeniería mecánica. Todos se basan en los mismos cuerpos de conocimiento, están organizados de manera similar y requieren habilidades similares.

La mayoría de los diseños de ingeniería se pueden clasificar como invenciones: dispositivos o sistemas creados por el esfuerzo humano y que no existían antes o son mejoras respecto de los dispositivos o sistemas existentes. Las invenciones, o diseños, son el resultado de reunir tecnologías para satisfacer las necesidades humanas o para resolver problemas. Un diseño es el resultado de alguien que intenta hacer una tarea de forma más rápida o eficiente.

Describimos a los ingenieros principalmente como solucionadores de problemas. Lo que distingue al diseño de otros tipos de resolución de problemas es la naturaleza tanto del problema como de la solución. Los problemas de diseño son de naturaleza abierta, lo que significa que tienen más de una solución correcta.

Los problemas de diseño usualmente se definen más vagamente que los problemas de análisis. Supongamos que se le pide que determine la altura máxima de una bola de nieve dada una velocidad inicial y una altura de liberación. Este es un problema de análisis porque tiene una sola respuesta. Si cambia la declaración del problema para que lea "Diseñe un dispositivo para lanzar una bola de nieve de 1 libra a una altura de al menos 160 pies", este problema de análisis se convierte en un problema de diseño. La solución al problema de diseño es un sistema que tiene propiedades específicas, mientras que la solución al problema de análisis consistía en las propiedades de un sistema dado. La solución a un problema de diseño es, por lo tanto, abierta, ya que hay muchos dispositivos posibles que pueden lanzar una bola de nieve a una altura determinada. El problema original tenía una única solución: la altura máxima de la bola de nieve, determinada a partir de las condiciones iniciales especificadas.

Es decir, la solución de problemas de diseño suele ser un proceso iterativo: a medida que la solución a un problema de diseño evoluciona, se encuentra refinado continuamente. Al implementar la solución a un problema de diseño, es posible que descubra que la solución que ha desarrollado no es segura, es demasiado costosa o no funcionará. Luego, "regresa al tablero de dibujo" y modifica la solución hasta que cumpla con sus requisitos. Por ejemplo, el avión de los hermanos Wright no voló a la perfección la primera vez. Comenzaron un programa para construir un avión realizando primero pruebas con cometas y luego planeadores. Antes de intentar el vuelo con motor, resolvieron los problemas esenciales de controlar el movimiento de un avión al ascender, descender y girar. No construyeron un avión motorizado hasta después de realizar más de 700 vuelos de planeador exitosos. Por lo tanto, la actividad de diseño es cíclica o iterativa, mientras que la resolución de problemas de análisis es principalmente secuencial.

La solución a un problema de diseño no aparece repentinamente en un vacío. Una buena solución requiere una metodología o proceso. Probablemente hay tantos procesos de diseño como ingenieros. El proceso descrito en este trabajo es general, y puede ser adaptarlo a cualquier problema que se esté tratando de resolver.

## 2. Chamberlain Group - Empresa especializada en la fabricación de abridores de garaje.

Andrew M. Chamberlain fundó Waterloo Rope Belt Co., que más tarde pasó a llamarse Chamberlain Machine Works y finalmente Chamberlain Manufacturing Company.

Su producto principal eran cinturones de cuerda usados para alimentar separadores de crema.

Posteriormente, Chamberlain adquirió Perma Power, que fabricaba abridores de garaje, una línea de productos que actualmente sigue siendo el núcleo de la empresa.

Hace 40 años se comenzó la red global abriendo una planta manufacturera en Nogales, Sonora, México. Hoy en día Chamberlain Group tiene sedes en Estados Unidos, México, Alemania, Australia y China.



*Figura 2.1 Presencia de Chamberlain a nivel mundial.*

Chamberlain Group Incorporated (CGI) es un líder global en soluciones y productos de acceso, mediante el diseño y creación de abridores de puertas de garaje doméstico, residencial o comercial. CGI es la empresa matriz corporativa de LiftMaster, Chamberlain, Merlin y Grifco.

Chamberlain Group ofrecen en algunos de sus productos innovadora tecnología, que permite a los usuarios controlar o monitorear sus puntos de entrada a través del acceso a teléfonos inteligentes. También son la empresa matriz de Controlled Products Systems Group, el mayor distribuidor mayorista de equipos de control de acceso perimetral en los EE. UU. Y una filial de Systems, Inc., uno de los principales fabricantes de niveladores de muelles de Norteamérica.

## Organigrama empresarial

A continuación presento un breve organigrama de la empresa en el cual se muestra mi posición dentro de Chamberlain Group.

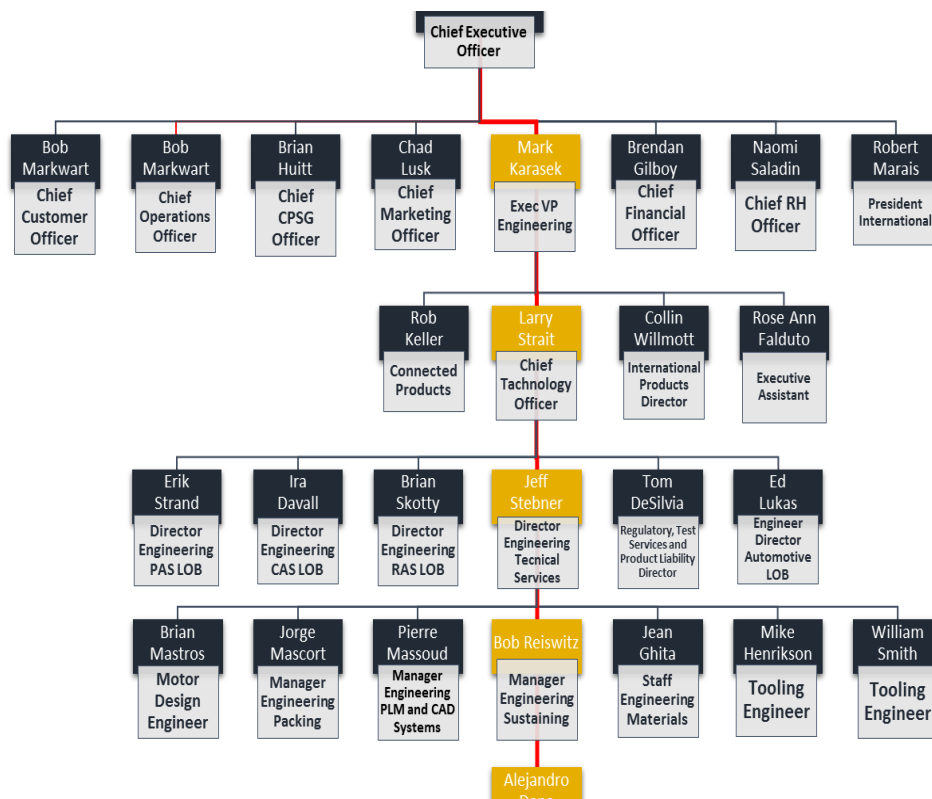


Figura 2.2 Organigrama empresarial

## 2.1. Departamento de Sustaining

Este departamento de ingeniería se encarga de dar solución a los problemas que surgen en producción o bien a realizar cambios en alguna pieza, ensamble o producto dependiendo de la oportunidad o falla que se haya detectado.

El departamento de Sustaining está dividido en dos equipos de ingeniería: eléctrica y mecánica. Estos departamentos han ido creciendo y a su vez se les han ido proporcionado nuevos retos, de ahí nace el programa DEAP por sus siglas en inglés (Design Engineering Apprentice Program), el cual tiene como objetivo capacitar a las futuras generaciones que trabajaran en el primer centro de diseño fuera de EE.UU. que Chamberlain Group planea establecer en la planta de Nogales, Sonora.

Cada semestre ambos equipos reclutan un pequeño grupo de estudiantes de ingeniería mecánica, mecatrónica y eléctrica de la UNAM con el fin de capacítalos durante 5 meses en el diseño y desarrollo de productos, en este tiempo los alumnos se familiarizan con la planta y desarrollan un proyecto que se les asigna.

En el departamento de Sustaining únicamente laboran ingenieros mecánicos, mecatrónicos o eléctricos de acuerdo al área de trabajo, los cuales en conjunto atienden las tres áreas de producción *CAS*, *RAS* y *GAS*.

El puesto como intern dentro de Sustaining mecánica requiere de vastos conocimientos de ingeniería mecánica. Como ingeniero mecánico enfocado al diseño y desarrollo de productos se requiere de conocimientos de sólidos de diseño y manufactura entre las cuales destacan:

- Diseño del producto.
- Dibujo y simulación de piezas asistido por computadora.
- Tolerancias y ajustes.
- Procesos de manufactura.
- Propiedades mecánicas de polímeros y metales.
- Selección de materiales.
- Prototipado rápido.
- Administración de proyectos.

En mi estancia como intern en el departamento de Sustaining mecánica desempeñé las siguientes actividades en *CGI* (ver Tabla 3.1), las cuales dividí en 4 etapas:



Tabla 2.1 Actividades despeñadas en CGI.

Actividad	Etapa
Atender <i>issues</i> de baja y media importancia.	1.- Familiarización con el personal, procesos y maquinaria de CGI.
Realizar cambio en los CADs y planos de los productos.	
Auxiliar a los compañeros de Sustaining en la atención de <i>issues</i> de alta importancia.	
Actualizar el <i>BOM</i> en caso de haberse realizado un cambio en producción.	
Asignación de equipos.	2.- Asignación de proyecto
Selección de proyecto de diseño.	
Comprender el proceso de manufactura del producto a rediseñar.	3.- Desarrollo del proyecto
Diseño conceptual.	
Prototipado rápido y prototipado funcional.	
Análisis económico de producción.	
Presentación al corporativo de CGI en Chicago.	4.- Resultados del proyecto

La primera etapa fue la más extensa debido a que las actividades a desempeñar tenían como objetivo que mis compañeros y yo nos familiarizáramos con el personal, procesos y maquinaria de la planta, para así poder tener más recursos al momento de trabajar en el proyecto que se nos asignara más adelante además siempre había pequeñas tareas que debíamos atender como parte de la capacitación del programa. Posteriormente, se me asignó en conjunto a Luis Gustavo García Conejo el proyecto que desarrollamos, el cual presento en el último subcapítulo y expongo mis aportaciones al proyecto.

Es importante señalar que durante el desarrollo del proyecto a mis compañeros y a mí se nos asignaron algunos *issues* que tuvimos que atender, puesto que estábamos cumpliendo con dos puestos

A continuación expongo algunos ejemplos de las actividades realizadas:

### Ejemplo 1

Es importante que los planos de los productos de *CGI* coincidan con lo establecido en el sistema de SAP ya que es de aquí donde se tiene control del número de piezas necesarias para la producción de un kit de servicio de cualquier producto.

En este caso en particular se omitió la pieza G76LM el número de parte 202A0045 la cual corresponde a una cinta que se solicita en el dibujo y no se encontraba presente en el *BOM* (Ver Figura 2.3).

Material		G76LM			
Plant/Usage/Alt.		2000 / 1 / 01			
Description		LIGHTED PUSH BUTTON LM			
Base Qty (EA)		1			
Reqd Qty (EA)		1			
L	Component number	Quantity	Object description	Revision Level	Sort String
	1_001A5577-1	1,000	HSG-ASSY,W/PCB,MFG,DOORBELL,1-BTN,MERIK	A	100
	1_039A0195	0,118	RIBBON,PRINTING,LABELS,WAX,ZEBRA#140 x 1	D	0
	1_114A3222B-1	1,000	INSTR,INSTALL,G76LM,LIGHTED-DOOR,CTL	B	104
	1_132A2161	0,021	LBL,BLANK,4.000" X 6.000",WHT,THERMAL	M	108
	1_141A0880	0,018	PCKG,FILM,STRETCH,20"W X 5000",ROLL	C	0
	1_141A1528	0,083	PCKG,CRTN,2" X 4" X 6",WHT/KRAFT,200LBS	D	101
	1_141A2544-1	0,001	PCKG,POLY-SHEET,PALLET,48" X 60"	A	0
	1_141B1248	0,001	PCKG,SHEET,PALLET,SEPARATOR,48"X40"	E	0
	1_141C1138	0,001	PCKG,PALLET,WOOD,LM,40" X 48"	P	0
	1_188A1253 PDM 000 00	1,000	SPEC,PCKG,LIGHTD PUSH ACCY MST		0
	1_188C1077 PDM 000 00	1,000	SPEC,PCKG,LIGHTED PUSH BUTTON		990
	1_195A3150 PDM 000 00	1,000	SPEC,LBL,UPC,BAR-CODE,SVC-KITS		990
	1_195A3151 PDM 000 00	1,000	SPEC,LBL,UPC,BAR-CODE,ITF-14,SVC-KITS		990
	1_202A0016	0,054	TAPE,KRAFT,GUM,.005" x 3",REINFORCED	G	106
	1_132A2185	1,000	LBL,BLANK,0.750" X 1.500",WHT,W/ADH	C	115
	1_141C1267	0,010	PCKG,CRTN,SHIPPING,MASTER-PACK,G712CB	B	103
	1_132A2150	0,083	LBL,BLANK,4.000" X 2.500",WHT,BARCODE	AE	102

Figura 2.3 BOM de la pieza G76LM visto en SAP.

Para anexar el elemento al *BOM*, solicite la modificación mediante un ECR en el cual describí la omisión del elemento y anexé la cantidad que se requería de este elemento. Es importante mencionar que el cálculo de la cantidad de requerida de cualquier elemento debe ser calculada cuidadosamente ya que el más pequeño error en dado caso podría requerir más o menos material del necesario esto se resume en pérdidas para la empresa.

Este cálculo se efectúa en base a un master pack, esto es la cantidad de productos finales que se empaacan en una misma caja y estos a su vez se envían con más master packs al distribuidor.



*Figura 2.4 Master Pack de un producto final.*

## **Ejemplo 2**

En planta existen 2 motores que a simple vista lucen igual, sin embargo, un motor es de 0.75 [HP] y el otro de 0.5 [HP], ver figura 2.5.



*Figura 2.5 Motores utilizados en planta.*

Este provocaba confusión en los nuevos empleados de producción ya que no podían distinguirlos con exactitud.

Para solucionar este problema un empleado de la línea de producción propuso que se distinguieran por el color de su etiqueta. Atendiendo el *issue* tuve que hablar con personal del área de marketing y con el proveedor de los motores. Se determinó que una etiqueta sería de fondo color blanco y letras amarillas mientras que la segunda etiqueta tendría fondo de color amarillo, ver figura 2.6. La selección de estos colores fueron sugeridos por el proveedor de los motores al momento de comentarle la problemática. El departamento de marketing autorizó continuar con el cambio y pude reanudar el proceso para el cambio de la etiqueta.

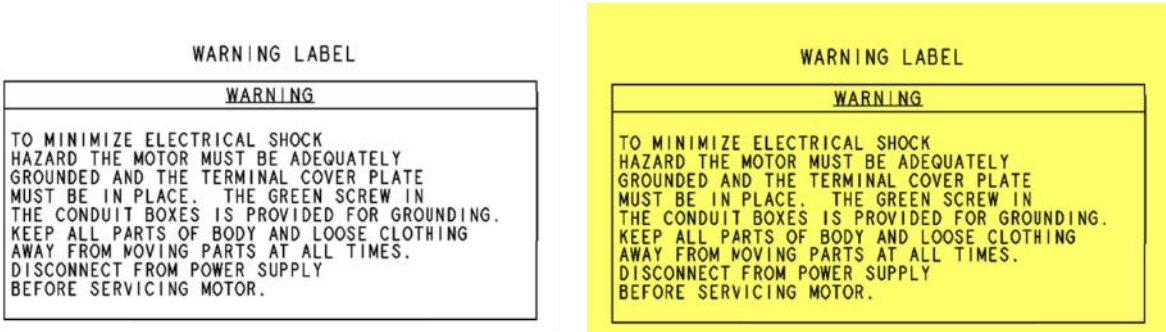


Figura 2.6 Etiquetas advertencia para cada motor.

Para cualquier cambio es indispensable generar un *ECR* en el cual se analiza la propuesta de cambio. Una vez aprobado el cambio se genera un *ECN* que debe ser aprobado por todos los encargos de las áreas relacionadas al producto en cuestión.

Al igual que los dos ejemplos anteriores, se me asignaron otros *issues* de similar dificultad, en algunos había que tomar pequeñas decisiones y para otros únicamente había que realizar actualizaciones en los planos y/o en la base de datos de SAP.

El dominio del idioma inglés fue indispensable para que pudiera realizar muchas de las tareas encomendadas ya que muchas de las llamadas telefónicas y presentaciones, así como el material que proporciona la empresa, se realizan en este idioma.

## 2.2. Departamento de Manufactura.

El departamento de manufactura es el más grande de todo *CGI* ya que cuenta con más de 4,000 empleados en México, divididos en una jornada laboral de 3 turnos al día y fabricando los 7 días a la semana.

Los operadores se encargan de la producción de todos los productos vendidos por *CGI* en EE.UU. Al día se producen hasta 15,000 unidades *GDO* entre productos finales y sus refacciones y más de 6,000 *IRS*. La demanda estimada de *IRS* para el 2018 era de 2,194,539 piezas.

Este departamento trabaja de la mano al de Sustaining ya que este último además de ser el intermediario entre el corporativo y la fábrica, es donde se atienden los problemas de producción. Día a día surgen dificultades que se deben atender así como se hallan oportunidades de mejora en los procesos de manufactura actuales, tal es el caso en el proceso manufactura de los *IRS* donde se detectaron algunas problemáticas y oportunidades de mejora.

### 2.3. Problemática en el área de manufactura de los IRS.

Debido a la alta demanda de los IRS y su actual diseño, han surgido algunas quejas por parte de los empleados de manufactura. Ya que el ensamble del producto no es tan amigable para el operador.

En el proceso de fabricación de los IRS resulta incómodo para el operador apretar las carcasas debido al diseño actual, esto puede traer a largo plazo lesiones en sus empleados y pérdidas en personal de producción.



*Figura 2.7 Operador de CGI tratando de ensamblar las carcasas de los IRS.*



*Figura 2.8 Desperdicio de carcasas de los IRS por día.*

Además se detectó que ha aumentado el SCRAP por desperdicios generados en fallas al momento del ensamble, aportando pérdidas para la empresa.

Al día se llegan a generar hasta 200 piezas sin utilidad, de las cuales es complicado recuperar parte de los componentes electrónicos que aún se encuentran en condiciones para reutilizarse.

## 2.4. IRS.

Por sus siglas en ingles *IRS* o Infrared Safety Sensor son un sistema de sensores infrarrojos de seguridad para puertas de garaje, estos están compuestos por un circuito emisor y un receptor. Su función es la siguiente:

Siempre que haya una obstrucción en la puerta del garaje, esta se invertirá automáticamente antes de causar daños. La figura 2.9 muestra cómo trabajan los *IRS* una vez instalados.



*Figura 2.9 IRS en funcionamiento.*

Estos sensores junto con otros elementos conforman el kit de sensores de seguridad que Chamberlain Group vende. Este kit esta compuesto por los siguientes elementos:

1. *IRS* receptor.
2. *IRS* emisor.
3. Brackets (2)
4. Cable de instalación.
5. Tuerca de mariposa (2)
6. Tornillo de cabeza redonda ¼-20" (2).





Figura 2.10 IRS (emisor y receptor) y sus accesorios.

Cada IRS está compuesto por diferentes elementos, en el siguiente apartado describo cada uno de estos elementos.

#### 2.4.1. Diseño actual de los IRS

El primer diseño del sensor se desarrolló hace 30 años en el corporativo de Chicago, EE.UU. y de acuerdo a los avances tecnológicos hoy en día es necesario desarrollar una nueva propuesta.

A continuación indicó los elementos que componen a los IRS y sus respectivas características:

#### Circuito emisor

El circuito eléctrico del sensor, que emite el haz de luz infrarrojo se compone de 34 elementos y tiene una área de  $1.684 [in^2]$ .



Figura 2.11 Vista superior e inferior de la PCB del circuito eléctrico emisor.



## Circuito Receptor

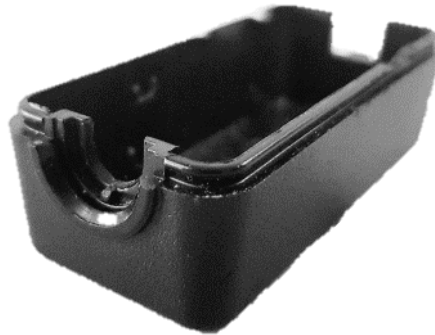
El circuito eléctrico del sensor receptor, está compuesto por 21 elementos y una área de 1.684 [in<sup>2</sup>].



*Figura 2.12 Vista superior e inferior de la PCB del circuito eléctrico receptor.*

## Carcasa Inferior

Se caracteriza por sujetar la PCB y fijar en posición de ensamble al lente y los cables.



*Figura 2.13 Vista isométrica de la carcasa inferior.*

Las dimensiones de la carcasa inferior son las siguientes:

Alto: 0.650 [in]

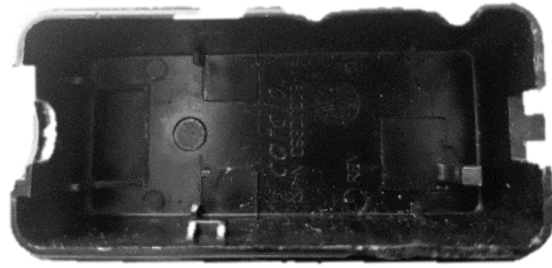
Ancho: 1.162 [in]

Longitud: 2.480 [in]

Espesor: 0.08 [in]

El cuerpo tiene un volumen de 0.5 [in<sup>3</sup>] y es fabricado en material plástico de tipo NORYL (Anexo 1).

Al interior cuenta con un grupo de pestañas que sujetan la PCB y un par de costillas que se sujetan a la carcasa superior al momento del ensamble.



*Figura 2.14 Vista superior de la carcasa inferior.*

### **Carcasa superior**

Se caracteriza por ensamblar al bracket además de estar diseñado para mostrar al usuario el LED indicador.



*Figura 2.15 Vista isométrica de la carcasa superior.*

Las dimensiones de la carcasa superior son las siguientes:

Altura: 0.563 [in]

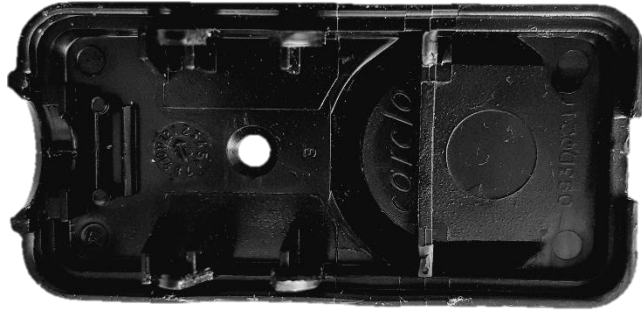
Ancho: 1.170 [in]

Largo: 2.472 [in]

Espesor: 0.08 [in]

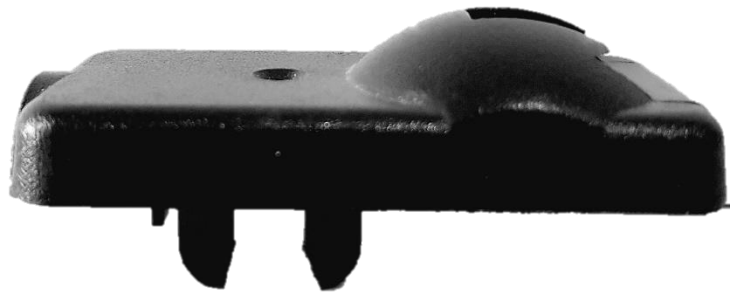
El cuerpo tiene un volumen  $0.378 \text{ [in}^3\text{]}$  y es producido en material plástico de tipo NORYL (Anexo 1).

En esta pieza destacan el hueco para el LED que tiene como función mostrar al usuario que sensor es el receptor y cual el emisor e indicar cuando los sensores se encuentran alineados y en función.



*Figura 2.16 Vista inferior de la carcasa superior.*

Se puede observar que el diseño cuenta con una pequeña esfera en la parte de arriba (ver figura 2.17) la cual tiene como función albergar el tornillo con el cual se sujeta al bracket y este a su vez al riel de la puerta de garaje, además la geometría esférica permite la movilidad deseada al momento de alinear los sensores.



*Figura 2.17 Vista lateral de la carcasa superior.*

El sistema mediante el cual se ensamblan las carcasas y la PCB a la carcasa inferior, es conocido como "Press fit", las pestañas que tiene la carcasa superior ensamblan por presión a las costillas de la carcasa inferior, véase la figura 2.18. Este asegura que las piezas sujetas mantengan su posición, además de proporcionar un aislamiento al interior de los plásticos.

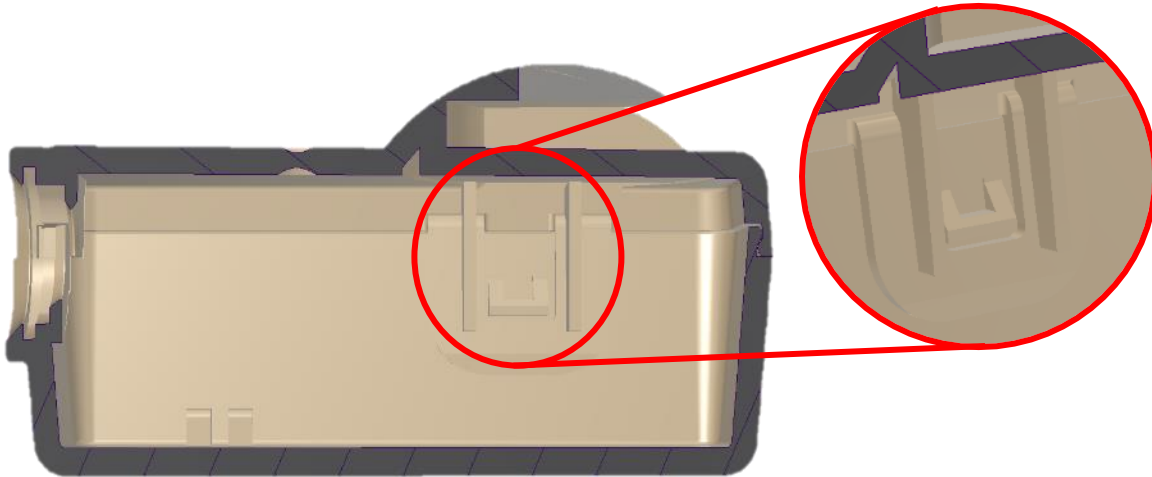


Figura 2.18 Corte lateral del IRS.

### Lente

Este elemento únicamente está presente en el IRS receptor ya que el lente cuenta con propiedades ópticas que permiten concentrar el haz de luz infrarrojo en el sensor.

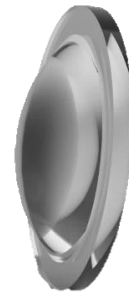


Figura 2.19 Vista isométrica del lente.

Las dimensiones del lente son:

Radio de curvatura: 0.298 [in]

Espesor: 0.030 [in]

Diámetro: 0.500 [in]

Asimismo el lente tiene definida una distancia focal de 0.5363 [in] +- 3%, esto nos indica la distancia a la que debe encontrarse el sensor del lente (ver Figura 2.20).

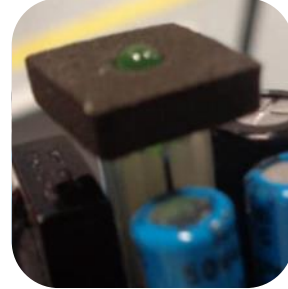


Figura 2.20 Vista superior de la carcasa inferior sujetando la PCB.

Este elemento se caracteriza por estar fabricado de acrílico y poseer propiedades ópticas. Por otra parte el *IRS* emisor utiliza un acrílico plano sin propiedades ópticas con el fin de cubrir el espacio del lente.

### **Empaque**

Este elemento es una pequeña esponja fabricada de foam que cubre el LED y se ajusta a la carcasa superior impidiendo que exista algún espacio entre los elementos mencionados.



*Figura 2.21 Empaque sobre el LED.*

Las dimensiones del empaque son las siguientes:

Alto: 0.100 [in]

Ancho: 0.400 [in]

Largo: 0.400 [in]

### **Brackets**

Estos elementos se encargan de albergar los *IRS* para posteriormente ser instalado en los rieles de la puerta del garaje y ser alineados.



*Figura 2.22 Vista isométrica del bracket.*

Cada bracket tiene las siguientes dimensiones:

Altura: 3.95 [in]

Ancho: 2 [in]

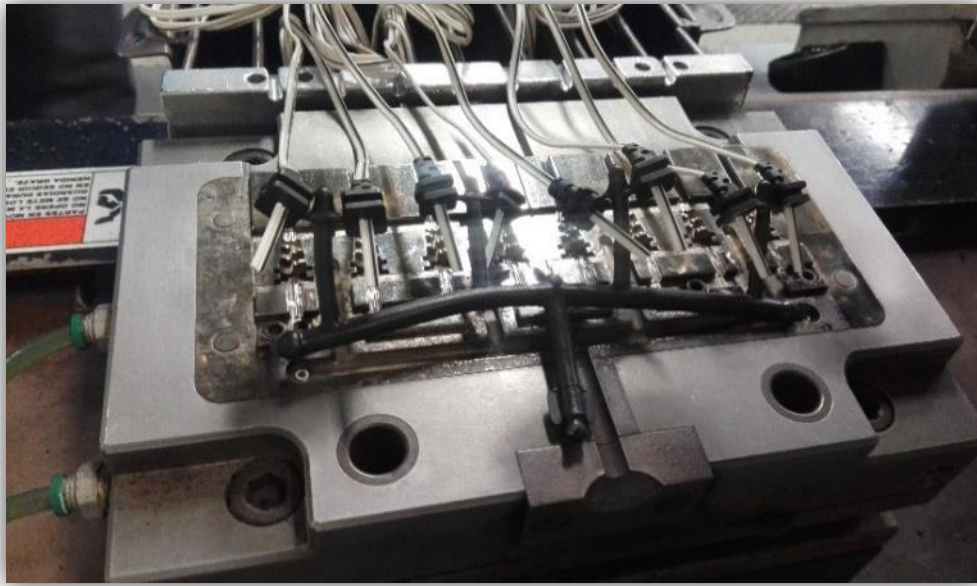
Largo: 2.52 [in]

Espesor: 0.041 [in]

Estos elementos están fabricados de un acero al carbono 1050.

## Cable y aliviador de tensión

El cable encargado de conectarse al *GDO* y energizar la PCB tiene una extensión 18 [in], el cual se encuentra sujeto a un accesorio estándar para cables eléctricos que tiene como función aliviar el estrés de las conexiones de los cables para evitar que se rompan, este elemento es conocido como aliviador de tensión o *strain relief* y es manufacturado por inyección de plástico.



*Figura 2.23 Manufactura del aliviador de tensión.*



#### 2.4.2. Proceso actual de manufactura

En la actualidad el proceso de manufactura de los *IRS* (figura 2.24) necesita de 4 empleados por línea de producción. El proceso cumple con las normas establecidas por la empresa sin embargo debido a lo expuesto en apartados anteriores se consideró importante plantear nuevas alternativas para el rediseño de los *IRS*.

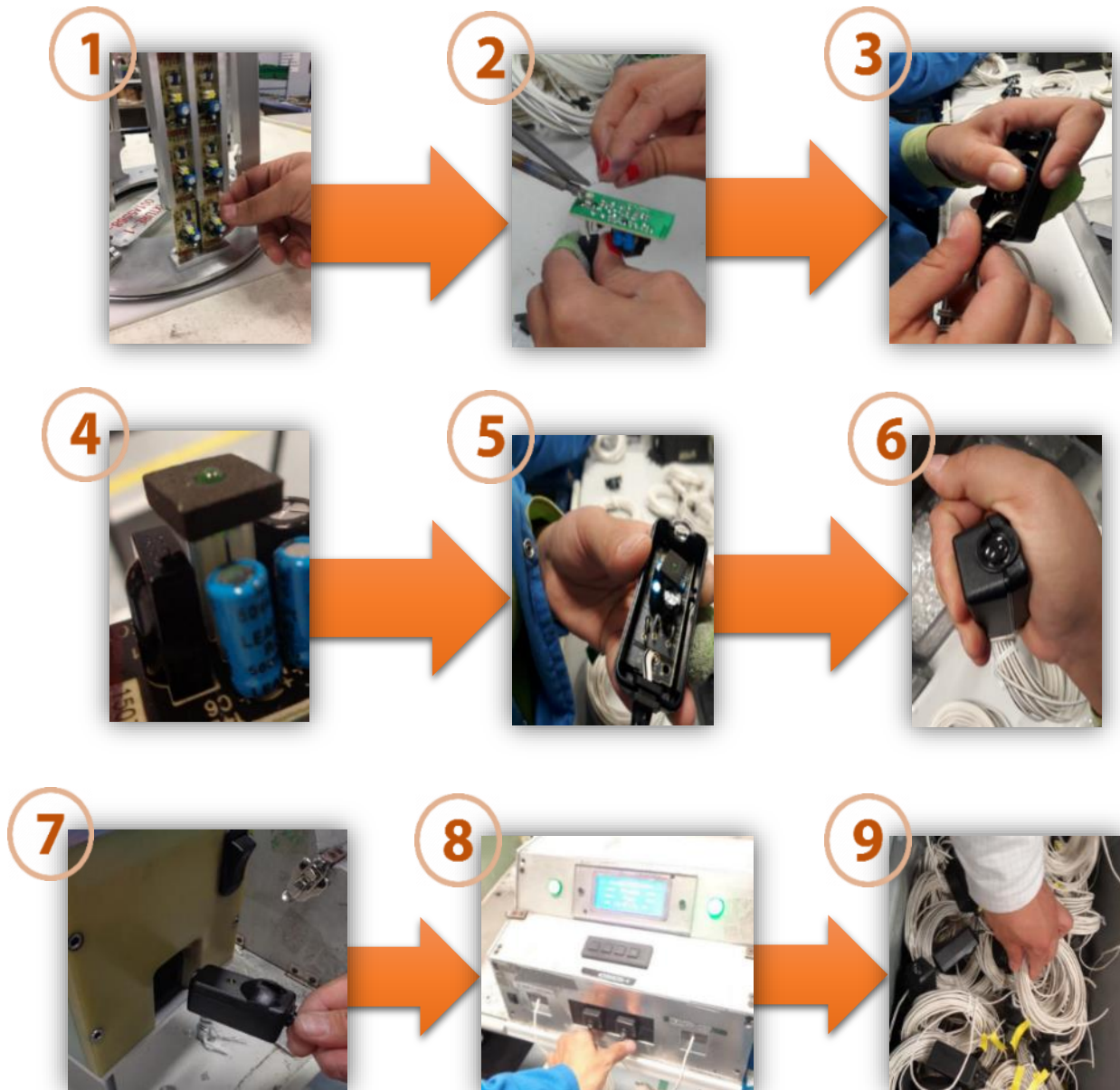


Figura 2.24 Secuencia del proceso de manufactura de los *IRS*.

La siguiente tabla (Tabla 3.2) describe brevemente cada una de la acciones a realizar en los puntos correspondientes del proceso de manufactura de los *IRS*.

*Tabla 2.2 Secuencia del proceso de manufactura de los IRS.*

Número	Proceso	Número	Proceso
<b>1</b>	Separar PCB del carrusel	<b>6</b>	Pre-ensamblar carcasa superior sobre carcasa inferior
<b>2</b>	Soldar cables a PCB	<b>7</b>	Prensar ensamble
<b>3</b>	Ensamblar PCB en la carcasa inferior	<b>8</b>	Validar emisor y receptor en banco de pruebas
<b>4</b>	Colocar almohadilla sobre el LED	<b>9</b>	<i>IRS</i> funcional.
<b>5</b>	Colocar lente en posición en la carcasa inferior		

La producción de los *IRS* debe cumplir con una serie de normas de seguridad establecidas por Chamberlain Group, a continuación expongo estas normas y en cuales no enfocamos para el desarrollo de este proyecto.



## 2.5. Normas de seguridad

EL área de UL en *CGI* encargada de establecer las normas de seguridad que deben cumplir cada uno de sus productos. Por su parte el departamento de ingeniería establece las especificaciones del mismo.

Para los *IRS* se tiene un documento, el cual define los rasgos y características del dispositivo y detalla los rangos de trabajo permitidos, los criterios de aceptación mínimos y prescribe los procedimientos de prueba y verificación correspondientes.

Se tienen 6 características de producción

- |                       |                          |
|-----------------------|--------------------------|
| 1. Seguridad          | 4. Rendimiento eléctrico |
| 2. Emisión            | 5. Rendimiento mecánico  |
| 3. Rendimiento óptico | 6. Ambiental             |

Para el rediseño de los *IRS* se debe seguir cumpliendo con estas características, por parte del área mecánica se prestó total atención a las características de rendimiento mecánico.

El rendimiento mecánico desempeña un papel importante en el diseño de los *IRS* pero en conjunto con el desempeño eléctrico, óptico y normas de seguridad, podemos garantizar la seguridad del cliente y funcionamiento del producto.

## 2.6. Pruebas de rendimiento mecánico

Es importante tener en cuenta que en este apartado se consideraron las siguientes pruebas que son las únicas que desempeñan un rendimiento mecánico, es fundamental cerciorarnos que durante cualquier escenario el producto no sufra algún daño que exponga al cliente a una situación de peligro.

Las pruebas son las siguientes:

### 1. Exposición al agua (UL 325, párrafo 32.3)

El dispositivo debe soportar una exposición al agua de 5 galones por minuto sin causar un riesgo de descarga eléctrica y funcionar según lo previsto.

### 2. Resistencia al impacto (UL 325, párrafo 32.5)

Las carcasas de plástico no deben de agrietarse, ni romperse y deberá funcionar según lo previsto después de 3 impactos de 5 [ft-lb].

### 3. Retención del soporte (191A1023)

El soporte no debe moverse cuando se aplica una fuerza de 10 lb al soporte.

El dispositivo debe permanecer funcional (se puede volver a ajustar o reinstalar) cuando se aplica una fuerza de 50 lb al soporte.

### 4. Movilidad en el bracket

Los sensores una vez montados en los brackets y esto a los rieles del gaje, deberán tener una movilidad de al menos 7°, esto en las dirección de derecha / izquierda y de arriba / abajo.

Con la información descrita en este capítulo me permitió entender el proceso de manufactura de los *IRS*, detectar los puntos débiles del proceso y proceder al rediseño de las carcasas que expongo en el siguiente capítulo.

### 3. Rediseño carcasas del sistema de sensores de seguridad para puertas de garaje

Como parte del diseño de productos se tiene que establecer la metodología a seguir, además de identificar las herramientas que nos ayudan a desarrollar un mejor producto. A continuación expongo el proceso de diseño y herramientas empeladas en rediseño de las carcasas, así como los resultados de su implementación.

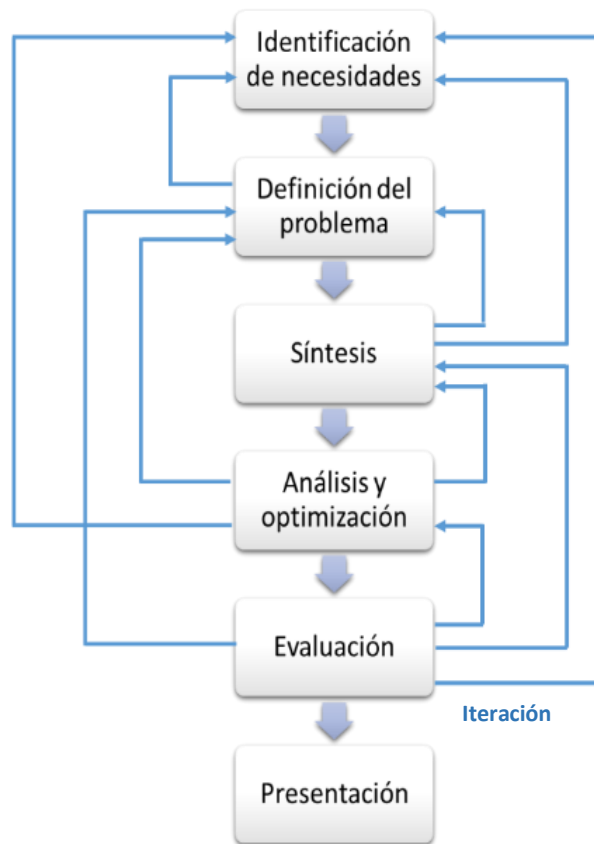
#### 3.1. Metodología de diseño

La metodología de diseño se define como el estudio de principios, prácticas y procedimientos de diseño e ingeniería en un sentido amplio. Tiene como objetivo establecer una estructura apropiada para el proceso de diseño, donde el desarrollo y aplicación de nuevas técnicas, métodos y procedimiento de diseño son fundamentales para cada producto.

¿Cuál es el proceso de diseño? ¿Cómo empiezo? ¿Qué pasa después? ¿Qué factores influyen o controlan las decisiones que deben tomarse? ¿Cómo termina el proceso de diseño?

Estas son algunas preguntas que surgen al momento de diseñar un producto principalmente si se carece de experiencia. El diseño de un producto sin la experiencia práctica es ineficaz debido a que muchas sutilezas y excepciones se aprenden trabajando en un proyecto de diseño real. Un ingeniero en diseño de productos exitoso debe poder establecer una metodología de diseño estructurada y enfocada a la problemática a resolver.

En esta sección, cito y discuto dos metodologías para el diseño y desarrollo de productos que se pueden combinar de manera efectiva. Adoptando estas metodologías puedo establecer una propia para el desarrollo de este proyecto. De acuerdo con Ulrich y Eppinger (2010) y Budynas y Keith Nisbeth (2015), el proceso para el diseño de un producto o servicio, a menudo se describe de la siguiente forma, ver Fig. 2.1.



*Figura 3.1 Fases en el proceso de diseño.*

De acuerdo con la bibliografía consultada a continuación expongo las fases en el proceso de diseño considerando las dos metodologías de diseño que utilicé durante mi formación como ingeniero. Posteriormente realicé una comparativa entre estas dos metodologías las cuales fueron la base para el rediseño de las carcasas de los IRS.

## Identificación de necesidades

De acuerdo con Richard Budynas y Keith Nisbeth (2015) en su libro “*Shigley’s Mechanical Engineering Design*” afirman: el proceso comienza con la identificación de una necesidad y la decisión de hacer algo al respecto. Después de muchas iteraciones, el proceso finaliza con la presentación de los planes para satisfacer la necesidad. Dependiendo de la naturaleza de la tarea de diseño, se pueden repetir varias fases de diseño a lo largo de la vida del producto, desde el inicio hasta la terminación.

La identificación de la necesidad generalmente comienza el proceso de diseño. Reconocer y expresar la necesidad a menudo constituye un acto altamente creativo, porque la necesidad puede ser solo un vago descontento, un sentimiento de inquietud o la sensación de que algo no está bien.

La necesidad a menudo no es evidente en absoluto; el reconocimiento puede ser activado por una circunstancia adversa particular o un conjunto de circunstancias aleatorias que surgen casi simultáneamente.

Hay una clara diferencia entre la declaración de la necesidad y la definición del problema.

De acuerdo con Ulrich y Eppinger (2010) en su libro, “Diseño y desarrollo de productos”, afirman que la identificación de necesidades se trabaja de la siguiente manera:

Los objetivos en este paso son:

- Asegurar que el producto se enfoque en las necesidades del cliente.
- Proporcionar una base de datos para justificar las especificaciones del producto
- Crear un registro de archivos de la actividad de necesidades del proceso de desarrollo
- Asegurar que no falte ninguna necesidad crítica del cliente.

Identificar las necesidades del cliente es un proceso que podemos resolver en 5 pasos, que son:

1. Recopilar datos de los clientes
2. Interpretar los datos de las necesidades del cliente
3. Organizar las necesidades en una jerarquía de necesidades primarias y secundarias, en caso de ser necesario anexar otro nivel.
4. Establecer la importancia relativa de las necesidades.
5. Reflexionar los resultados y proceso.

Algunas herramientas para la identificación de necesidades son:

- Entrevistas
- Grupos de enfoque
- Grabaciones de audio y video
- Notas
- Fotografía fija

### **Definición del problema**

Para Budynas, Nisbeth (2015), afirman que la definición del problema es más específica y debe incluir todas las especificaciones para el objeto que se diseñará. Las especificaciones son las cantidades de entrada y salida, las características y dimensiones del espacio que debe ocupar el objeto y todas las limitaciones de estas cantidades. Podemos considerar el objeto a ser diseñado como algo en una caja negra.

En este caso, debemos especificar las entradas y salidas de la caja, junto con sus características y limitaciones.

Las especificaciones definen el costo, el número a fabricar, la vida útil esperada, el rango, la temperatura de funcionamiento y la confiabilidad. Las características especificadas pueden incluir las velocidades, avances, limitaciones de temperatura, rango máximo, variaciones esperadas en las variables, limitaciones de peso y dimensiones, etc.

Hay muchas especificaciones implícitas que resultan del entorno particular del diseñador o de la naturaleza del problema en sí. Los procesos de fabricación disponibles, junto con las instalaciones de una determinada planta, constituyen restricciones a la libertad del

diseñador y, por lo tanto, forman parte de las especificaciones implícitas. El diseñador puede seleccionar otros métodos de procesamiento del material que se pueden realizar en la planta.

Las habilidades laborales disponibles y la situación competitiva también constituyen restricciones implícitas. Cualquier cosa que limite la libertad de elección del diseñador es una restricción.

Para Ulrich y Eppinger (2010) la definición del problema debe comenzar la solución a un problema de diseño con una definición clara e inequívoca del problema. A diferencia de un problema de análisis, un problema de diseño a menudo comienza como una idea vaga y abstracta en la mente del diseñador. Crear una definición clara de un problema de diseño es más difícil que definir un problema de análisis. La definición de un problema de diseño puede evolucionar a través de una serie de pasos o procesos a medida que desarrolla una comprensión más completa del problema.

Definir el problema no es lo mismo que reconocer una necesidad. La declaración de definición del problema resulta de la primera identificación de una necesidad.

Una vez que se ha establecido una necesidad, los ingenieros definen esa necesidad en términos de una declaración de problemas de diseño de ingeniería. Para alcanzar una definición clara, recopilan datos, realizan experimentos y realizan cálculos que permiten que se expresen como parte de un proceso de resolución de problemas de ingeniería.

Los criterios para el éxito son las especificaciones que debe cumplir una solución de diseño o los atributos que debe poseer para ser considerado exitoso. Debe incluir los criterios en la declaración del problema para proporcionar orientación hacia la solución. En este punto del proceso de diseño, los criterios son preliminares. A medida que se desarrolle la solución de diseño, es muy probable que encuentre que los criterios iniciales deben ser redefinidos o modificados. Los criterios preliminares no deben ser demasiado específicos para permitir la flexibilidad a través del proceso de diseño.

Los criterios que se aplican a un problema de diseño en particular se basan en sus conocimientos previos y en la investigación que ha realizado. Dado que cada problema o proyecto es único, los atributos o criterios deseables de la solución también son únicos.

## **Síntesis del problema**

Para Budynas et.al. (2015) la síntesis del problema así como la generación de múltiples soluciones lo explica de la siguiente manera:

La síntesis de un esquema que conecta posibles elementos del sistema se denomina diseño conceptual.

Este es el primer paso y el más importante en la tarea de síntesis. Se deben proponer, investigar y cuantificar varios esquemas en términos de métricas establecidas. A medida que avanza el desarrollo del esquema, se deben realizar análisis para evaluar si el rendimiento del sistema es satisfactorio o mejor y, si es satisfactorio, qué tan bien funcionará.

Los esquemas del sistema que no sobreviven al análisis se revisan, mejoran o descartan. Aquellos con potencial están optimizados para determinar el mejor rendimiento del que es capaz el esquema. Los esquemas de la competencia se comparan para poder elegir el camino que conduce al producto más competitivo.

El diseño es un proceso iterativo en el que avanzamos a través de varios pasos, evaluamos los resultados y luego volvemos a una fase anterior del procedimiento. Por lo tanto, podemos sintetizar varios componentes de un sistema, analizarlos y optimizarlos, y volver a la síntesis para ver qué efecto tiene esto en las partes restantes del sistema.

Sin embargo, como suele ser el caso en el diseño, estos componentes no son independientes. Para diseñar cualquier elemento, es necesario conocer los factores que interactúan sobre este.

Por ejemplo, al diseñar el eje para el esfuerzo y la desviación, es necesario conocer las fuerzas aplicadas. Si las fuerzas se transmiten a través de los engranajes, es necesario conocer las especificaciones del engranaje para determinar las fuerzas que se transmitirán al eje.

Para Ulrich y Eppinger (2010), la síntesis del problema, antes de continuar con el proceso de diseño, debe recopilar toda la información disponible relacionada con el problema. Los diseñadores novatos se saltarán rápidamente este paso y procederán a la



generación de soluciones alternativas. La recopilación de información pertinente puede revelar datos sobre el problema que resultan en una redefinición del problema. Puede descubrir errores y falsos comienzos cometidos por otros diseñadores.

En este paso se deben proponer, investigar y cuantificar varios esquemas en términos de métricas establecidas.

### **Generación de múltiples soluciones**

Para Ulrich y Eppinger (2010), el siguiente paso en el proceso de diseño comienza con la creatividad en la generación de nuevas ideas que pueden resolver el problema. La creatividad es mucho más que una aplicación sistemática de reglas y teoría para resolver un problema técnico.

Comience con las soluciones existentes para el problema y luego sepárelas: descubra qué hay de malo con esas soluciones y céntrese en cómo mejorar sus debilidades. Combine conscientemente nuevas ideas, herramientas y métodos para producir una solución totalmente única al problema.

### **Análisis y selección de solución**

Para Budynas et.al. (2015) tanto el análisis como la optimización requieren que construyamos o diseñemos modelos abstractos del sistema que admitirán algún tipo de análisis matemático. A estos modelos los llamamos modelos matemáticos. Al crearlos, esperamos que podamos encontrar uno que simule el sistema físico real.

Para Ulrich y Eppinger (2010) una vez que haya concebido soluciones alternativas a su problema de diseño, necesita analizar esas soluciones y luego decidir qué solución es la más adecuada para la implementación.

El análisis es la evaluación de los diseños propuestos. El ingeniero debe aplicar su conocimiento técnico a las soluciones propuestas y utiliza los resultados para decidir qué solución llevar a cabo.

En este paso del proceso de diseño, debe considerar los resultados de su análisis de diseño.

Esta sección presenta una metodología sistemática que puede utilizar para evaluar diseños alternativos y ayudar a tomar una decisión.

Antes de decidir qué solución implementar, debe analizar cada solución alternativa según los criterios de selección definidos con anterioridad. Cada problema de diseño es único y requiere diferentes tipos de análisis.

La siguiente lista muestra algunos de los análisis que se requieren con mayor frecuencia; hay que tener en cuenta que la importancia de cada uno varía según la naturaleza del problema y su solución.

- Análisis funcional
- Análisis mecánico
- Análisis eléctrico
- Manufacturabilidad
- Seguridad del producto
- Análisis económico
- Normativa y cumplimiento

### **Prueba e implementación de la solución**

Para Budynas et.al. (2015), la evaluación es una fase significativa del proceso de diseño total. La evaluación es la prueba final de un diseño exitoso y generalmente implica la prueba de un prototipo en el laboratorio.

El diseñador del proyecto o el equipo de diseño deberán abordar una gran cantidad de preguntas de ingeniería y no de ingeniería.

Comunicar el diseño a otros es el paso final y vital de la presentación en el proceso de diseño. Sin lugar a dudas, muchos grandes diseños, invenciones y trabajos creativos se han perdido para la posteridad simplemente porque los creadores no pudieron o no quisieron explicar adecuadamente sus logros a los demás.

La presentación es un trabajo de venta. El ingeniero, al presentar una nueva solución a las personas administrativas, gerenciales o de supervisión, está

intentando vender o demostrarles que su solución es mejor. Cuando los diseñadores venden una nueva idea, también se venden a sí mismos.

Para Ulrich y Eppinger (2010) la Prueba e implementar de la solución es la fase final del proceso de diseño es la implementación, que se refiere a las pruebas, la construcción y la fabricación de la solución al problema de diseño. Debe considerar varios métodos de implementación, como los siguientes:

### **Prototipado**

Es la primera etapa de prueba e implementación de un nuevo producto, consiste en construir un prototipo del producto. La primera producción completamente operativa de la solución de diseño completa.

Un prototipo puede no está totalmente probado y es posible que no funcione ni funcione según lo previsto. El propósito del prototipo es probar la solución de diseño en condiciones reales.

### **Ingeniería concurrente**

Las prácticas de diseño tradicionales son principalmente en serie o secuenciales. Cada paso del proceso se completa en orden o secuencia solo después de que se haya completado el paso anterior. La implementación del diseño se produce después de que se crea un prototipo o modelo a partir de dibujos de ingeniería.

La ingeniería concurrente es la capacidad de implementar diseño y análisis paralelos en los que los problemas de seguridad, capacidad de fabricación, capacidad de servicio, comercialización y cumplimiento se consideran al principio y durante el proceso. Sin embargo, la ingeniería concurrente es posible mediante la aplicación de un moderno diseño asistido por computadora (CAD), análisis y software de fabricación. Un diseñador comienza con la idea de un nuevo producto en el que se consideran los factores anteriores y utiliza el software CAD para crear un diseño preliminar.

Con el software apropiado, el diseño preliminar también se puede analizar para determinar la funcionalidad a medida que se crea el diseño. Usando los resultados

de este análisis, el diseñador realiza las modificaciones necesarias y vuelve a analizar el modelo de la computadora. Un ingeniero que diseña un cuadro de bicicleta, por ejemplo, usaría ingeniería concurrente para minimizar el peso y maximizar las cargas soportadas en un nuevo diseño de cuadro. El ingeniero primero crearía un diseño y modelaría el comportamiento físico del marco en la computadora antes de fabricar realmente el marco.

La siguiente etapa en la ingeniería concurrente se llama “Prototipado rápido”. Aquí, el modelo de computadora tridimensional del diseño terminado se usa con el software de fabricación asistida por computadora (CAM) para impulsar la maquinaria adecuada para crear físicamente la pieza.

Los ingenieros pueden pasar del diseño al prototipo en cuestión de días, en lugar de semanas o meses como solía hacerse en las prácticas de diseño anteriores. Dado que el diseño es un proceso iterativo, la ingeniería concurrente acorta significativamente el tiempo entre iteraciones. Por lo que un producto puede llegar al mercado mucho más rápido, a un menor costo y con una mayor calidad.

### **Pruebas y verificación**

Las pruebas y la verificación son partes importantes del proceso de diseño. En todos los pasos del proceso, es posible que la solución potencial esté defectuosa. Sin las pruebas adecuadas en todas las etapas del proceso, es posible cometer errores.

### **Documentación**

Una de las actividades más importantes en diseño es documentar su trabajo, comunicar claramente la solución a su problema de diseño para que alguien más pueda comprender lo que ha creado. Por lo general esto consiste en un informe técnico.

Comunicar la solución a un problema de diseño a través del lenguaje, tanto escrito como oral, es una parte vital de la fase de implementación. Muchas personas con las que uno se comunica no tienen capacitación ni conocimientos técnicos. Los ingenieros exitosos deben poseer algo más que habilidades técnicas. La capacidad

de comunicarse y vender una solución de diseño a otros también es una habilidad crítica.

### **Solicitud y registro de patentes**

Este apartado es muy importante para las empresas ya que protegen la tecnología desarrollado por sus empleados la cual generalmente les otorga una ventaja sobre sus competidores y estos a su vez no pueden hacer uso de ella.

Si se desarrolla una solución original y novedosa para un problema de diseño, parte de la fase de implementación puede incluir la solicitud de una patente para su solución. Una patente no impide que otra persona copie el diseño, pero le otorga derechos específicos para hacer uso y/o venta de este por un período específico.

La obtención de una patente no es un proceso trivial y puede llevar mucho tiempo, costando cientos o incluso miles de dólares. Antes de considerar una patente, debe tener un conocimiento general de los requisitos de patentes y de lo que se puede patentar. Las ideas por sí mismas no pueden ser patentadas. Para obtener una patente, debe probar que su idea puede aplicarse para producir un "proceso, máquina, fabricación o composición de materia nuevos y útiles, o cualquier mejora nueva y útil de los mismos". Estas categorías incluyen casi todo lo que hacen las personas y los procesos para hacerlas.

Las patentes solo se otorgan al inventor de un dispositivo. Sin embargo, el inventor puede asignar los derechos de la patente a otra parte. Si desarrolla un invento mientras trabaja como ingeniero para una empresa, es probable que deba asignar los derechos de patente de ese invento a su empleador.

De acuerdo a los dos modelos de metodología presentados, es importante señalar que ambos autores tiene distintas perspectivas Richard Budynas y Keith Nisbeth tiene un enfoque más técnico dirigido a la ingeniería mecánica y al diseño de componentes mecánicos; por su parte Kral Ulrich y Steven Eppinger han desarrollado numerosos proyectos desde aparatos médicos hasta artículos deportivos, como resultado de ello estos autores nos plantean un panorama más amplio en el diseño de productos. Entre ambas metodologías existen similitudes así como diferencias, las cuales discuto a continuación.

En ambas bibliografías los autores coinciden que todo proceso de diseño empieza con la identificación de necesidades y que el proceso es iterativo, esto quiere decir que se pueden repetir en varias fases de diseño a lo largo de la vida del producto. Además que para diseñar cualquier producto o elemento, es necesario conocer los factores que interactúan sobre este, para ello se debe recopilar toda la información disponible relacionada con el problema.

También concuerdan que se deben analizar los diseños propuestos, aplicando conocimientos técnicos como la aplicación de modelos matemáticos con el fin de decidir qué solución es la mejor. Por último, consideran que para avalar toda fase final, se deben construir y probar prototipos funcionales del producto.

Las diferencias que existen entre ambos libros como ya se mencionó es el enfoque de los autores, sin embargo, Kral Ulrich y Steven Eppinger profundizan en los temas ya mencionados y comprenden otros temas que no se perciben en el otro texto como son la generación de conceptos.

No se puede decir que una metodología es mejor que otra ya que estas se complementan entre sí, es evidente que Kral Ulrich y Steven Eppinger desarrollaron una metodología más completa y con ella es suficiente para diseñar y desarrollar un producto. Aun así, como ingenieros debemos ampliar nuestro panorama y comprender las distintas técnicas existentes con el fin de adoptar los puntos más relevantes y adoptar una metodología de diseño.

A continuación presento brevemente las actividades realizadas en cada fase del proceso de diseño antes mencionado:

### **Identificación de necesidades**

Para la identificación de necesidades fue necesario entender el proceso de manufactura de los sensores *IRS* para posteriormente detectar los puntos más débiles del proceso. Mi compañero y yo estuvimos dialogando con los empleados encargados de fabricar los *IRS*, además, constantemente observábamos el proceso de ensamble lo que nos facilitó detectar las problemáticas existentes en el área, además solicité la lista de quejas; en este documento los empleados reportan sus inconformidades durante el proceso de producción.

Por último se revisé las reseñas del producto en diferentes sitios web donde se venden los sistemas sensores de seguridad y por medio de los consumidores se califica el producto, esto con el fin de encontrar algunas inconformidades y entender al cliente.

Como resultado de lo anterior se recopiló la siguiente información:

- Dificultad en el ensamble de carcasas.
- Generación de muchos desperdicios.
- Uso de nuevas tecnologías.
- Clientes satisfechos con el producto actual.

Se tomaron fotos y notas del proceso para poder documentar el proceso del proyecto.

### **Definición del problema**

Para la definición del problema utilicé las herramientas de FMEA Y DFMA, en esta fase fue necesaria toda la información recolectada en el punto anterior, esto nos permitió entender el proceso de manufactura de los *IRS* y detectar identificar los problemas potenciales (errores) y sus posibles efectos en el producto, esto con el fin de priorizarlos y poder concentrar los recursos en planes de prevención, supervisión y respuesta. Los resultados de la implementación de estas herramientas se muestran en el siguiente apartado (3.2 Herramientas y recursos)

## Síntesis del problema

Una vez recopilada toda la información relacionada al problema sintetizamos y nos enfocamos en las necesidades del producto, asumiendo los puntos establecidos en la definición del problema, establecimos las siguientes oportunidades y restricciones:

*Tabla 3.1 Oportunidades y restricciones en el rediseño del producto.*

Oportunidades	Restricciones
<ul style="list-style-type: none"><li>• Implementación de tecnología SMT para el ensamble de componentes electrónicos.</li><li>• Moldes para la inyección de plásticos de 16 cavidades.</li><li>• Implementación de soldadura ultrasónica para el ensamble de carcasas.</li><li>• Retirar el empaque del LED.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Utilizar el lente de los <i>IRS</i> actuales.</li><li>• No cambiar el sistema de acoplamiento al bracket.</li><li>• LED visible al estar acoplado al bracket.</li><li>• Orientar la PCB verticalmente dentro de las carcasas.</li><li>• Definir las dimensiones de la nueva PCB.</li><li>• Garantizar rendimiento mecánico en las pruebas de seguridad.</li></ul>

Con esto se espera que la producción de *IRS* sea más veloz además de traer ahorros económicos para la empresa contemplando la inversión requerida para la adquisición de maquinaria nueva.

Conjuntamente con la implementación de la tecnología SMT, *CGI* puede ocupar el personal destinado al ensamble de componentes electrónicos en otras áreas donde hace falta personal.



## **Generación de múltiples soluciones**

A lo largo del proyecto se generaron más de 10 soluciones que se discutieron con el equipo de Sustaining de las cuales se generaron 5 propuestas que se analizaron a mayor detalle. Para la quinta y última propuesta se satisficieron cada una de las necesidades del producto.

En este paso es importante utilizar herramientas como el dibujo asistido por computadora y el análisis de tolerancias y ajustes, con el fin de definir los parámetros de algunas piezas además de corroborar físicamente que estas se cumplan.

## **Análisis y selección de solución**

En esta etapa, utilizamos herramientas como el FEA y el prototipado rápido. Estas nos permitieron analizar y validar las propuestas más destacadas y determinar si es necesario generar otra solución. El prototipado rápido nos permitió descartar algunas propuestas mientras que el FEA lo utilizamos para validar el rediseño de un bracket más corto que se ajusta mejor al rediseño de las carcasas.

Posteriormente, fabricamos 5 prototipos funcionales de *IRS*, esto es 10 carcasas superiores, 10 carcasas inferiores, 10 lentes, 10 micas de acrílico, 5 PCB emisoras, 5 PCB receptoras, 20 aliviadores de tensión y 10 brackets. Estos elementos se ensamblaron y probaron en el laboratorio de pruebas de Chamberlain Group. Se presentaron los resultados ante la *CEO* de la empresa así como a un grupo de directores del corporativo, los cuales aprobaron la continuación del proyecto.

## **Prueba e implementación de la solución**

Para poder implementar el nuevo diseño a producción en planta es necesario desarrollar un prototipo más formal y funcional, el cual estará sometido a las pruebas de rendimiento mecánico descritas en el apartado 2.5. Esta fase quedo pendiente durante mi estancia en *CGI* debido a que por la complejidad del proyecto, el tiempo para desarrollarlo fue muy corto.

Estas tareas quedaran pendientes y a cargo de la próxima generación de becarios que den continuidad al proyecto.

## 3.2. Herramientas

Actualmente, el ingeniero tiene una gran variedad de herramientas y recursos disponibles para ayudar en la solución de problemas de diseño. Las paqueterías de software de computadora proporcionan herramientas de inmensa capacidad para el diseño, análisis y simulación de componentes mecánicos. A continuación presento las herramientas que utilicé durante el rediseño de las carcasas y los resultados obtenidos con su implementación.

### PTC Creo Parametric

Es un producto de diseño, fabricación e ingeniería asistida por computadora de PTC Corporation (Massachusetts). Creo Parametric es el software con el cual Chamberlain Group diseña y desarrolla sus productos. La empresa me proporcionó una PC, una licencia instalada en mi equipo y un curso en línea con el fin de familiarizarme con la interfaz del programa.

Esta herramienta me permitió diseñar los elementos deseados en (CAD) y a su vez pude exportar las piezas a formato .STL para su impresión en 3D.

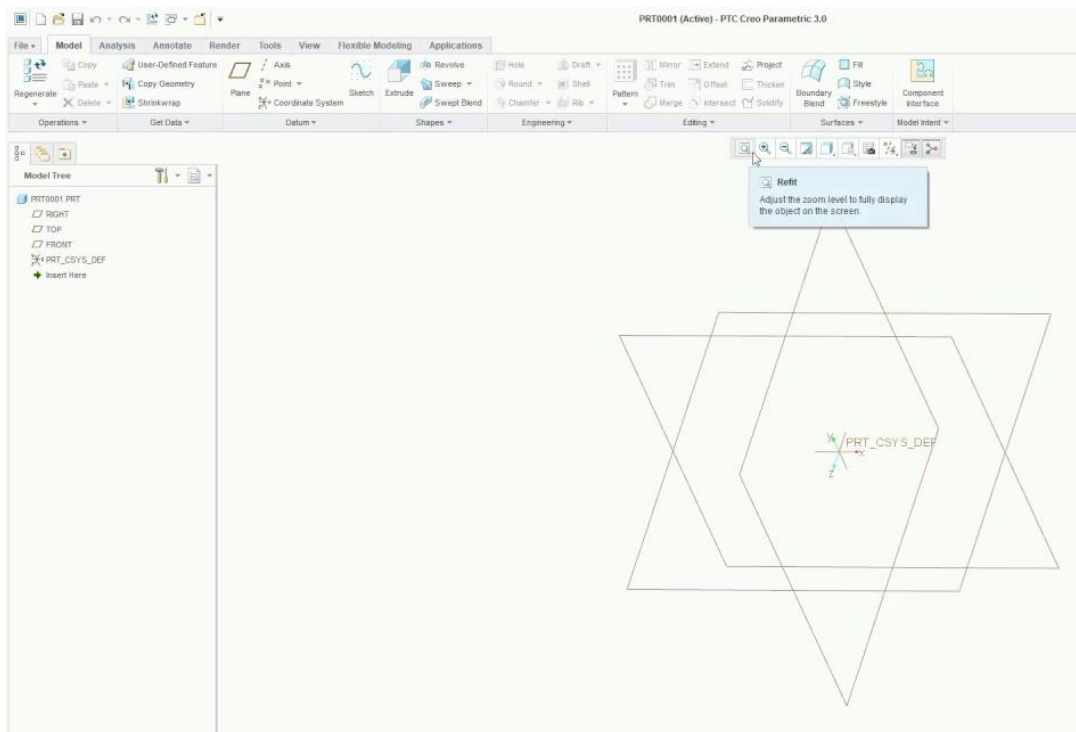


Figura 3.2 Interfaz de Creo Parametric

## FMEA

Análisis de Modo y Efecto de la Falla o por sus siglas en inglés FMEA (Failure Modes Effect Analysis), es una herramienta que ayuda a calcular los posibles problemas de funcionalidad que un producto puede exponer en la etapa de “Desarrollo/Producción” y los efectos asociados de este tipo de problemas. Esto evita problemas en etapas posteriores.

Teniendo en cuenta lo anterior, antes de realizar cualquier otra actividad, realicé junto a mi compañero el FMEA en un archivo de Excel del cual obtuvimos como resultado las fallas con mayor potencial y sus posibles efectos, ver tabla 3.2.

*Tabla 3.2 Resultados del FMEA*

Función	Modo Potencial de Falla	Efecto(s) potencial(es) de falla
<b>Cerrar herméticamente el IR</b>	Carcasas acopladas erróneamente al momento del ensamble.	Daño en la PCB y sus componentes
<b>IR debe mantener la posición después de estar alineado</b>	El <i>IRS</i> puede moverse a causa de un golpe o vibraciones mecánicas.	IR no trabaja
<b>Sujetar PCB a la carcasa</b>	La PCB se mueve de su posición si existe una holgura entre la PCB y la carcasa inferior.	IR no trabaja
<b>Montar la carcasa superior</b>	El operador puede ensamblar de forma errónea la carcasa superior.	Carcasa incapaz de cerrar
<b>Mantener la tapa de luz en la carcasa superior</b>	La tapa de luz puede desmontarse si existe una holgura con la carcasa superior	Los componentes internos del <i>IRS</i> quedan expuestos a daños ambientales

## **DFMA**

El Diseño para la Manufactura y Ensamble o por sus siglas en inglés DFMA (Design For Manufacturing and Assembly) es una herramienta de la ingeniería concurrente y tiene por objetivo mejorar los aspectos de producción (manufactura y ensamble) del producto, respetando sus funciones esenciales.

Al rediseñar los *IRS* se consideró el número de pasos en producción así como el número de líneas de producción y los empleados en ellas.

Con la ayuda de esta herramienta se detectaron los siguientes puntos a considerar para el rediseño de los *IRS*:

- Ensamble a mano de componentes electrónicos en la PCB.
- Los moldes actuales para la inyección de plásticos cuentan con 8 cavidades.
- En planta se cuenta con equipos de soldadura ultrasónica.
- Dificultad al ensamblar las carcasas de los *IRS* actuales.

Esta herramienta se desarrolla en conjunto al FMEA en un archivo en Excel donde se filtran los elementos a rediseñar, en el anexo 5 puede observarse un ejemplo de ello.

## **Análisis de tolerancias y ajustes**

Al diseñar se busca que una sola pieza cumpla con ciertas funciones, por ello es importante definir el tipo de ajuste y tolerancia que va a tener cada elemento, esta herramienta nos permite definir esos parámetros.

Al tratarse de un proceso de inyección de plásticos, existe un pequeño margen de inexactitud, esto quiere decir que algunas dimensiones dadas pueden variar e influyen en la diferencia entre los límites de cada pieza.

Teniendo en cuenta que las tolerancias pueden variar según los materiales y los métodos de procesamiento, se analizó cada elemento contemplando que el ajuste

sería de tipo *interferencia* (véase figura 3.3) y el material una resina de tipo NORYL, material utilizado en las carcasas.

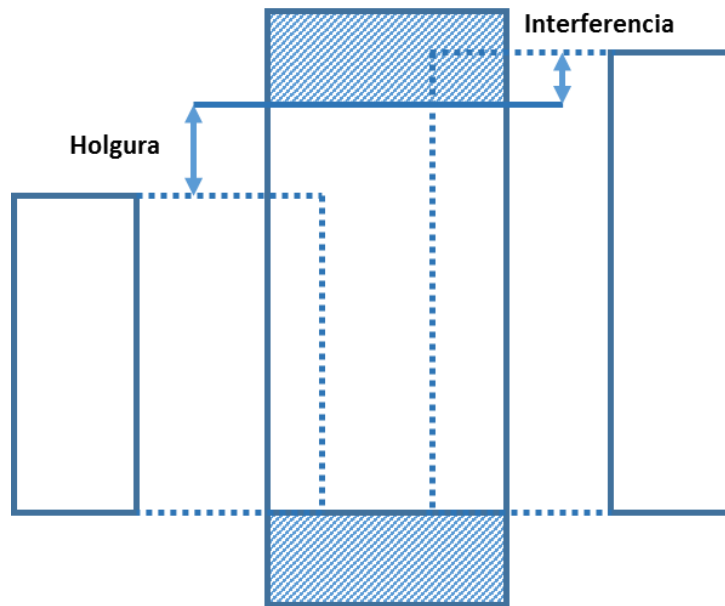


Figura 3.3 Tipos de ajuste entre 2 componentes.

La herramienta se utilizó específicamente para el establecer las dimensiones y tolerancias de los elementos expuestos a continuación con su función deseada:

- **Espesor de paredes**

Ensamble entre la carcasa superior y la inferior.

- **Costillas de posición**

Posicionar la PCB a una distancia dada respecto al lente.

- **Costillas de aplastamiento**

Sujeción de la PCB a la carcasa inferior.

- **Lente**

Cubrir el LED y mantener la luz visible para el usuario.

En el siguiente sub capítulo, cada elemento es descrito a detalle.

## Prototipado Rápido

Esta herramienta nos permitió realizar diversas pruebas geometrías para cada una de las piezas, así como poder validar la geometría definitiva en un tiempo relativamente corto.

Se realizaron más de 10 muestras en impresión 3D antes de determinar el diseño final. De cada elemento se fue aprendiendo y hallando puntos críticos que se estuvieron corrigiendo.

Al momento de tener el modelo físico se puede comprender la importancia del análisis de tolerancia y ajustes así como de otros factores que nos son tan fáciles de percibir en el CAD.

A continuación expongo algunos ejemplos de errores de diseño detectadas gracias al prototipado rápido.

1. El espesor en las paredes de las carcasas no era uniforme en toda la superficie generando irregularidades en el sólido, ver figura 3.4.



*Figura 3.4 Irregularidades en la superficie de prototipos.*

2. Los elementos diseñados para sujetar la PCB por interferencia no eran lo suficientemente gruesos.

3. Algunos elementos como el aliviador de tensión tuvieron que ser rediseñados ya que estos no ensamblan debido a la nueva posición de los elementos, ver figura 3.5.



*Figura 3.5 Aliviador de tensión ensamblado a un prototipo.*

Cada uno de los modelos fue exportado a formato .STL, este formato nos permite importar la pieza al software de la impresora 3D. Una vez importado el archivo se ajusta la geometría en posición para la impresión y el software estima el tiempo que tardara en imprimir la pieza así como la cantidad de material requerido para su producción. El tiempo promedio para imprimir una pieza es aproximadamente de 2 horas, ya impresa la pieza hay que retirar el material de soporte y limpiarla con agua.

Para la producción de prototipos por este medio se requiere de dos materiales uno que funciona como soporte y el segundo es con cual esta echo nuestra pieza. Los prototipos de este proyecto se realizaron en metacrilato o PMMA, este material se caracteriza por tener propiedades similares a las del NORYL y al ABS, las dos principales que buscamos son la dureza y resistencia térmica.



## FEA

Esta herramienta fue indispensable para el rediseño de los brackets, ya que nos permitió observar el comportamiento del bracket actual y el rediseñado durante la prueba de impacto y así pudiéramos determinar si era posible disminuir el espesor y largo de la pieza, así como de cambiar el material de fabricación.

La simulación se llevó acabo en *Simulation Mechanical* de Autodesk™ en condiciones estacionarias no lineales, aplicando una carga de 50 [lb], esto con el fin de simular la prueba de retención del soporte mencionada en el capítulo anterior.

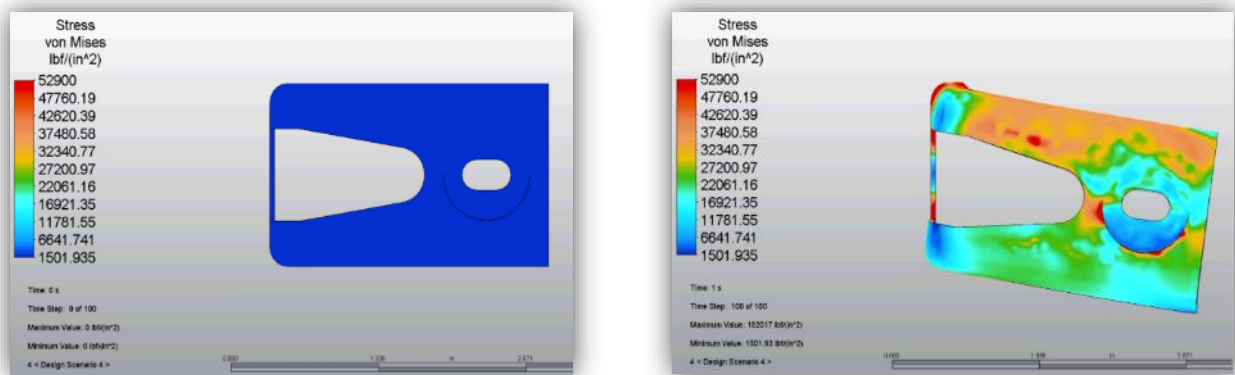


Figura 3.6 FEA del bracket actual

### 3.3. Rediseño conceptual

El proyecto de rediseño de los *IRS* se caracteriza por ser un proyecto de “Productividad”, esto quiere decir que se busca un ahorro económico en la fabricación de los *IRS*. Para que un proyecto de “Productividad” tenga éxito y sea aprobado por parte del corporativo, se tiene que conseguir un ahorro mínimo de \$200,000 USD al año.

Para poder cumplir con ese objetivo es necesario el trabajo conjunto de los equipos de ingeniería eléctrica y mecánica. El equipo de ingeniería eléctrica se encargó del rediseño del circuito eléctrico que da vida al sensor. Este equipo detecto que se podía ahorrar una gran cantidad de dinero si se implementaba el uso tecnología SMT que permite automatizar el proceso actual y acelerar la producción, además lograron reducir el número de componentes necesarios para el circuito eléctrico. Teniendo en cuenta lo anterior era necesario que el equipo de ingeniería mecánica se encargara del rediseño de las carcasas. Además de establecer las dimensiones de la PCB, a petición del equipo de ingeniería eléctrica. En este trabajo no abordo nada relacionado al diseño eléctrico debido a que este fue desarrollado por los compañeros de ingeniería eléctrica.

El equipo de ingeniería mecánica estuvo conformado por Luis Gustavo García Conejo y un servidor Alejandro Dapa de la Garza, durante el desarrollo del proyecto se nos asignó como asesor a Luis Esteban de la Torre, uno de los pocos ingenieros mexicano en el centro de diseño.

Se generaron 5 propuestas en total, 4 antes del rediseño final, esto como consecuencia de factores descubiertos durante el proceso de diseño. A continuación expongo cada propuesta, presentando mis aportaciones a cada una y explicando los elementos rediseñados además de las causas por la cuales se optó por generar otros conceptos.

## Propuesta 1

Al inicio del proyecto se establecieron los siguientes requerimientos:

- Orientar la PCB verticalmente dentro de las carcasas.
- Definir las dimensiones de la nueva PCB.

Para cumplir con dichos requerimientos se tenía que mantener las dimensiones de cada carcasa, permitiéndonos exclusivamente modificar el interior de los plásticos, esto con el fin de introducir la tecnología SMT en el circuito eléctrico pero sin alterar la imagen de los *IRS* a la que están acostumbrados los clientes de *CGI*.

Se nos explicó que si se realizaba un cambio en las dimensiones sería necesario adquirir nuevas herramientas para la fabricación de los sensores además de tener que cambiar los manuales, empaques y otros elementos relacionados al producto que podrían hacer que el proyecto fuera muy costoso y trajera consigo pocos beneficios. Teniendo en cuenta lo mencionado, está limitado a resolver algunas problemáticas detectadas en el proceso de manufactura y en el mismo diseño de los *IRS*.

En un principio opté por remover los elementos que componían el interior de la carcasa inferior y añadí elementos nuevos para la sujeción de la PCB. En este punto decidí establecer las dimensiones para la nueva PCB. Contemplando que la orientación de la PCB habría de ir colocada en posición vertical dentro de las carcasas, observé que el ancho y alto de la PCB estaban limitados por espacio existente a lo ancho de la carcasa inferior y la altura total entre ambas carcasas, ver figuras 3.7 y 3.8.

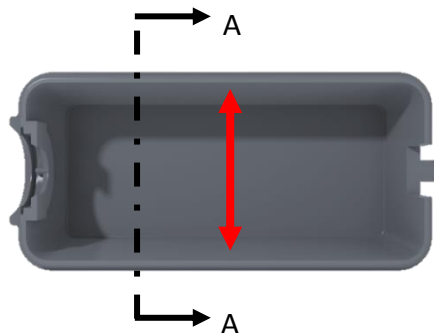


Figura 3.7 Vista superior de la carcasa inferior.

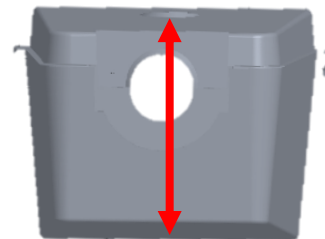


Figura 3.8 Vista frontal, sección A-A.

Las medidas fueron las siguientes:

Ancho: 0.87 [in]

Alto: 0.82 [in]

No obstante, fue necesario considerar el diámetro de 0.136 [in] del hueco por donde surge el LED, dado que este elemento debe permanecer expuesto en la carcasa superior. Como resultado la PCB debería tener un pequeño escalón que le permita al LED estar expuesto.

Asumiendo lo anterior, realicé un bosquejo de la PCB y establecí las dimensiones preliminares de este elemento las cuales pueden observarse en la siguiente figura.

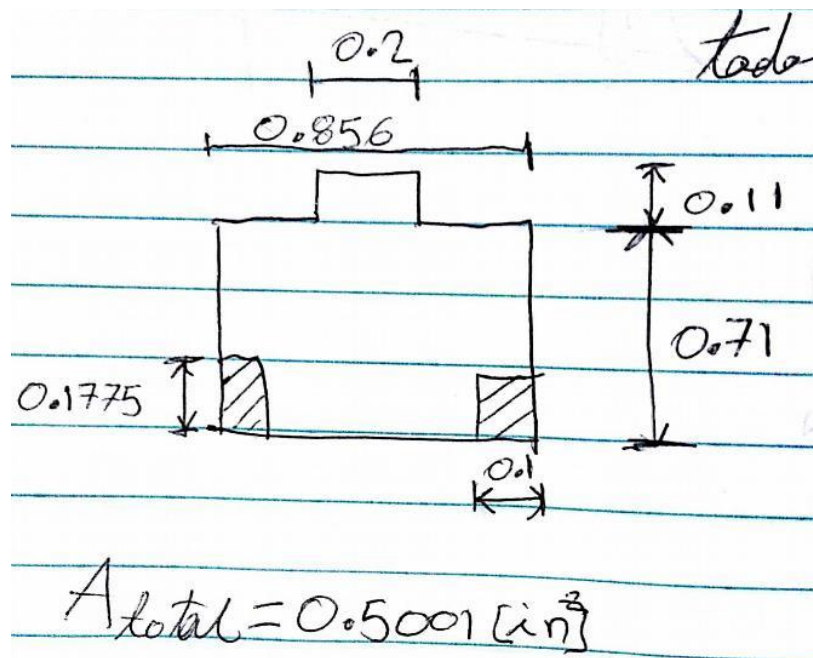
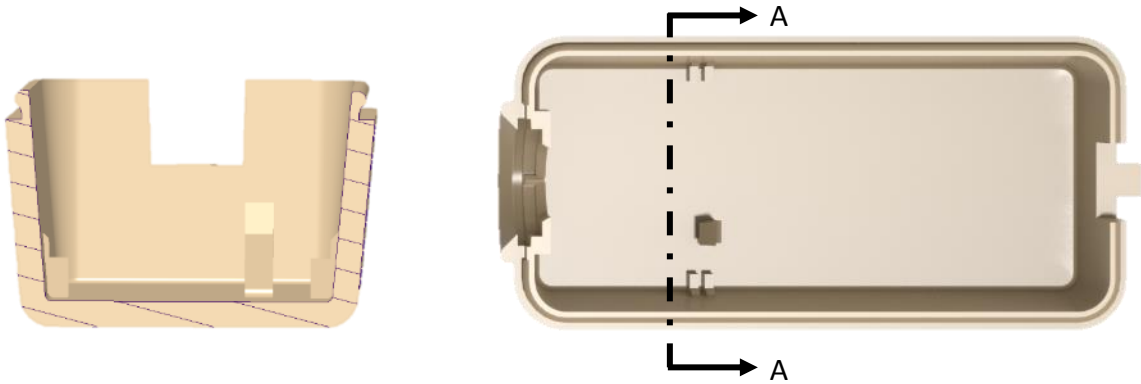


Figura 3.9 Bosquejo de la primer PCB diseñada.

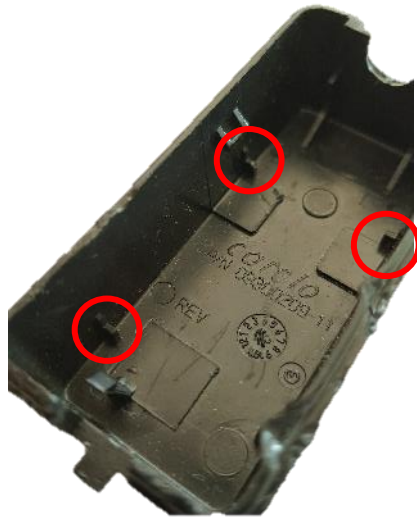
De la imagen anterior las áreas sombreadas representan las secciones que se encuentran en contacto a las costillas de la carcasa inferior que sujetaran la PCB a su posición.

En base a lo establecido se diseña y se añade un par de costillas y pestaña que sujetan la PCB, ver figuras 3.10 y 3.11.



*Figura 3.10 Vista frontal, sección A-A. Figura 3.11 Vista superior de la carcasa inferior.*

Para el diseño de las costillas se mantuvo la geometría de las costillas actuales de las paredes más largas de la carcasa inferior, ver figura 3.12. Estas son más gruesas y únicamente sostienen a la PCB, no se aprecian una vez montada la PCB, ver figura 3.13.



*Figura 3.12 Costillas en la carcasa inferior.*



*Figura 3.13 PCB montada.*

En este punto dividimos tareas, mi compañero se encargó de realizar los modelos en CAD de la PCB y la carcasa inferior con sus elementos. Mientras tanto me encargue del análisis de tolerancias y ajustes de ambos elementos, corroborando que la interferencia entre ambos elementos siempre existiera.

Para conseguir lo anterior hice uso de la herramienta “Análisis de tolerancias y ajustes”. Para hacer uso de esta herramienta necesitaba conocer la tolerancia de cada elemento y la distancia a la que se colocaría la PCB del lente.

En las tolerancias para carcasa era sencillo saber ya que al tratarse del mismo material (Noryl) la tolerancia sería la misma  $\pm 0.005$  [in], dato que obtuve del plano de la pieza. En el caso de la PCB fue distinto ya que este elemento se recibe en hojas las cuales se cortan en planta, esto impedía que se fijara una tolerancia en el ancho de las PCB.

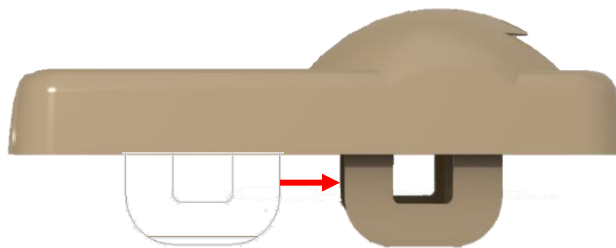
Para resolver este inconveniente pedí prestadas 30 PCB en el área de producción, medí cada una de ellas y obtuve una media en la variación de las medidas obtenidas de  $+0.002$  [in], está la ocupe como tolerancia del elemento.

Por último la distancia focal del lente al sensor se estableció al diseñar el lente, esta distancia de  $0.5363 \pm 3\%$  la obtuve del plano del lente.

Los resultados del “Análisis de tolerancias y ajustes” fueron los siguientes:

- Las dimensiones establecidas de la PCB se ajustaban a las carcasas, por lo que no requerían de ninguna modificación
- La distancia a la que se colocaría la PCB sería de  $0.665$  [in]  $\pm 0.005$  [in]
- La distancia entre las costillas sería de  $0.128$  [in]  $\pm 0.005$  [in]

La posición actual de las pestañas de la carcasa superior interfería con la nueva posición de la PCB, por lo que se desplazaron a la parte trasera de la pieza, ver figura 3.14.



*Figura 3.14 Vista lateral (Propuesta 1).*

Una vez plasmado en CAD el primer modelo, se detectaron lo siguientes puntos:

- Se desaprovecha una gran cantidad de espacio dentro de los plásticos que en resumen es material sobrante.
- Los LEDs para SMT son más pequeños que los utilizados actualmente, esto influye directamente el hueco por donde se visualiza el LED ya que quedaría expuesto el interior del *IRS* y no cumpliría con las normas de seguridad de *CGI*, ver figuras 3.15 y 3.16.

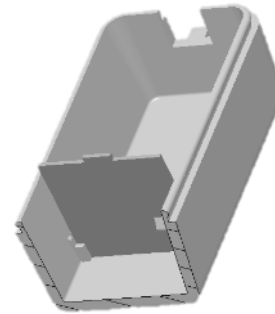




Figura 3.15 Vista isométrica (Propuesta 1).

Figura 3.16 Vista isométrica, sección A-A.

Los resultados se presentaron a los gerentes de ingeniería y algunos empleados relacionados a la manufactura de los sensores. En aquella junta propuse que se nos permitiera modificar las dimensiones de los plásticos, justificando la idea mediante una comparativa entre las ventajas y desventajas que tendría el rediseño de dichos elementos. Además de hacer énfasis en los problema que pueden atenderse en producción.

Tabla 3.3 Ventajas y desventajas del rediseño de las carcasas.

<ul style="list-style-type: none"><li>• Menor desperdicio material.</li><li>• Ensamble más sencillo.</li><li>• Producción más rápida.</li><li>• Ahorros económicos.</li><li>• Uso de nuevas tecnologías.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Inversión en nuevos equipos.</li><li>• Cambio de manuales, etiquetas y empaques.</li></ul>
<b>Ventajas</b> 	<b>Desventajas</b> 

## Propuesta 2

Posteriormente autorizan rediseñar casi por completo los plásticos, la única restricción era mantener el hueco por donde surge el LED.

Para esta nueva propuesta se tenían que cumplir con los siguientes requerimientos:

- Utilizar el lente de los *IRS* actuales.
- No cambiar el sistema de acoplamiento al bracket.
- LED visible al estar acoplado al bracket.
- Orientar la PCB verticalmente dentro de las carcasas.
- Definir las dimensiones de la nueva PCB.

Para este nuevo diseño, se optó por reducir el tamaño de los plásticos manteniendo el perfil original del *IRS* actual. Los *IRS* lucirían igual pero más pequeños, es posible producir *IRS* más pequeños en menor tiempo.



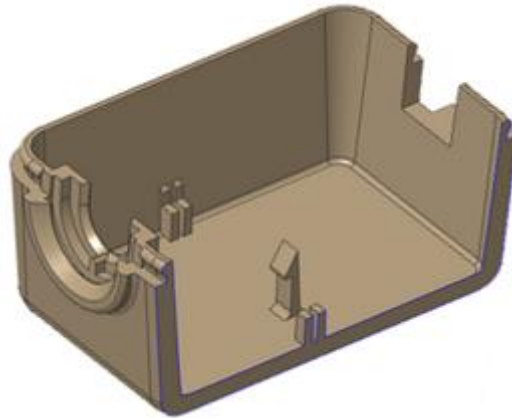
*Figura 3.17 Vista isométrica (Propuesta 2).*

Con lo anterior se logra reducir un 70% el volumen total de las carcasas, trayendo como resultado el poder duplicar el número de piezas por molde de inyección. En lugar de que se tuvieran 8 cavidades, el nuevo molde podría tener 16.

Tomando en cuenta las quejas por parte de los empleados de producción se optó por cambiar del sistema de acople "Press fit" al ensamble por soldadura ultrasónica (tecnología utilizada en otros productos de *CGI*).



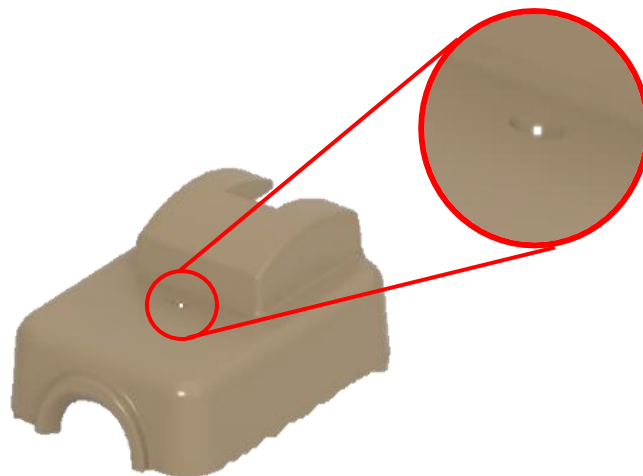
Asimismo el interior de los plásticos se mantuvo igual al de la propuesta 1 con la excepción que se removieron las pestañas de acople de ambas carcasas, ver figura 3.18.



*Figura 3.18 Vista isométrica con corte (Propuesta 2).*

En este modelo me encargue de ajustar el largo de las carcasas a su reducción máxima, esta medida se estableció ajustando la circunferencia de la carcasa superior y la posición del LED.

En este punto seguía existiendo inconvenientes con el LED, después de revisar los distintos tamaños y geometrías de este elemento ninguno era visible al momento de ensamblarlo a la PCB y este a su vez a la carcasa, véase figura 3.19.



*Figura 3.19 Vista isométrica de la carcasa superior (Propuesta 2).*

En esta segunda propuesta se detectaron los siguientes puntos:

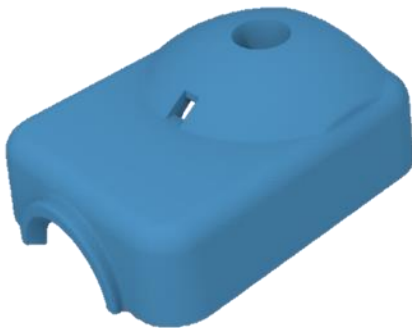
- El ensamble del LED requiere de una precisión muy precisa.
- El espacio por el cual surge el LED expone el interior de los componentes electrónicos.

Esta propuesta se presentó ante el equipo de Sustaining donde se pido permiso para ajustar el espacio del LED y cambiar la geometría de acople al bracket con el fin de generas más propuestas y conseguir la visibilidad deseada del LED.

### Propuesta 3 y 4

Estas propuestas deben cumplir con los mismos requerimientos que la propuesta 2. Para estos diseños, el enfoque fue la visibilidad y posición del LED.

Se cambió la geometría de la carcasa superior que se acopla al bracket, la propuesta 3 tiene una forma esférica (figura 3.20), mientras que la propuesta 4 tiene una forma curva acoplada a un escalón (figura 3.21). En ambos se incorporó un tornillo que atraviesa las dos carcasas con el fin proporcionar mayor rigidez a todo el sistema, este sistema ya es implementado en otros productos de *CGI*.



*Figura 3.20 Vista isométrica (Propuesta 3).      Figura 3.21 Vista isométrica (Propuesta 4).*

En estos diseños me encargue del posicionamiento del LED y el hueco por el cual se observaría, para esto empecé a investigar sobre la exactitud del proceso de SMT para así definir las tolerancias que tendría el espacio que alberga al LED, debido a



## Propuesta 5 (Propuesta Final)

La siguiente propuesta fue la final ya que cumplía con cada uno de los requerimientos establecidos por CGI, los cuales sintetizo a continuación:

- Utilizar el lente de los IRS actuales.
- No cambiar el sistema de acoplamiento al bracket.
- LED visible al estar acoplado al bracket.
- Orientar la PCB verticalmente dentro de las carcasas.
- Definir las dimensiones de la nueva PCB.
- Garantizar rendimiento mecánico en las pruebas de seguridad.

Los IRS quedaron definidos de la siguiente manera:

### PCB

Elemento que se caracteriza por ser una placa o superficie, que soporta y conecta los componentes electrónicos en este caso de los IRS, permitiendo su correcto su funcionamiento.



Figura 3.24 PCB circuito receptor (Propuesta 5).

Las dimensiones finales de la carcasa inferior son:

Área: 0.510 [in<sup>2</sup>]

Ancho: 0.081 [in]

Alto: 0.850 [in]

Logré reducir un 69.7% el área de la PCB respecto a la pieza original, esta área es suficiente para colocar los componentes electrónicos. Con este diseño se pueden producir una mayor cantidad PCB en el mismo tiempo ya que en la hoja de la que se cortan las placas sigue siendo del mismo tamaño.

### Carcasa inferior

Elemento que se caracteriza por sujetar la PCB además de fijar en posición de ensamble al lente y los cables.



Figura 3.25 Vista isométrica (Propuesta 5).

Para el diseño de este elemento se tuvieron las siguientes consideraciones:

- Evitar las variaciones en el espesor de la pared, ya que esto puede crear áreas de concentración de tensión que pueden reducir la resistencia al impacto de una parte.
- Los cambios en el grosor de la pared deben tener zonas de transición que reduzcan la posibilidad de concentraciones de tensión, sumideros, vacíos y deformaciones.
- Ciertas geometrías, como las esquinas internas, son difíciles de crear, estas pueden generar rebabas ya que el plástico fundido es forzado a fluir a través de una esquina afilada. Para evitar esto se recomienda que el redondeo interno y externo de una pieza sean 0.5 y 1.5 veces el espesor de la pieza respectivamente.
- Diseñar las piezas con un draft de 0.5° a 2° permite una expulsión más fácil del molde.

Las dimensiones finales de la carcasa inferior son:

Volumen: 0.300 [in<sup>3</sup>]

Espesor: 0.082 [in]

Alto: 0.461 [in]

Ángulo de desmolde: 2°

Largo: 1.442 [in]

Radio de Redondeo interno: 0.020 [in]

Ancho: 1.192 [in]

Radio de Redondeo externo: 1.20 [in]

La pieza se logró reducir un 46.15% del volumen respecto a la pieza original, esto permite generar un molde de 16 cavidades, el doble de cavidades en relación al

molde actual. Para esta propuesta además se cambió el sistema de sujeción de la PCB por unas costillas de aplastamiento (crush ribs).

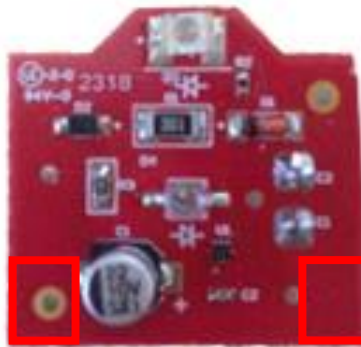
### Costillas de posición

Estos elementos además de sujetar y guiar en su posición a la PCB, aumentan la resistencia y rigidez de la pieza sin aumentar el grosor total de la pared.

Para el diseño de estos elementos tuve las siguientes consideraciones:

- Las costillas deben tener un espesor mínimo de 0.5 el espesor de la pared.
- Para evitar secciones delgadas de acero en su molde, la distancia entre las costillas debe ser al menos 2.5 veces el espesor nominal de la pared.
- La altura máxima de las costillas no debe ser más de tres veces el grosor nominal de la pared para evitar grandes variaciones en el grosor de la pared.
- Las costillas deben tener un draft mínimo de  $0.5^\circ$  por lado para permitir una expulsión más fácil del molde.

Teniendo en cuenta lo anterior, el alto y largo de las costillas las definí de acuerdo al espacio donde los elementos electrónicos no interferían.



*Figura 3.26 Espacios sin elementos en la PCB.*

Las costillas de posición tienen las siguientes dimensiones:

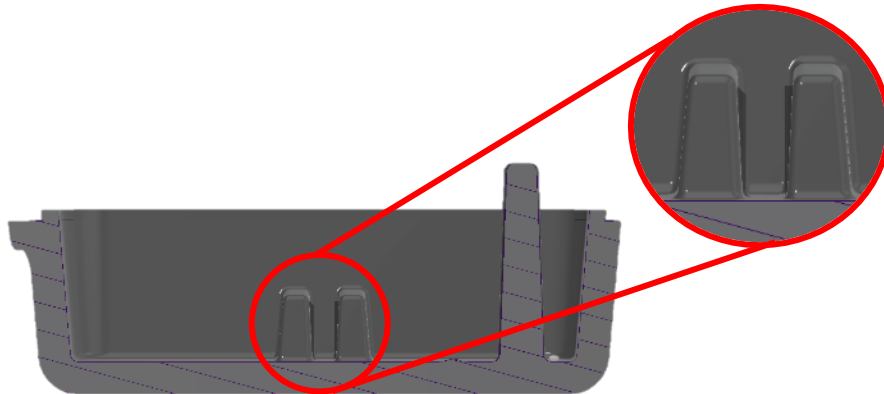
Alto: 0.180 [in]

Espesor: 0.064 [in]

Largo: 0.14 [in]

Ángulo de desmolde:  $2^\circ$

El centro de estos elementos está posicionado a 0.540 [in] del lente, permitiendo que tanto el sensor emisor como receptor se encuentren en la posición deseada.



*Figura 3.27 Vista lateral seccionada (Propuesta 5).*

### **Costillas de aplastamiento o *Crush Ribs***

Este elemento está compuesto por unas pequeñas costillas que sujetan a la PCB (ver figura 3.28), estas se devastan al entrar en contacto con el objeto a retener y se logra un ajuste por interferencia. Si se llegase a remover el objeto, este no podrá sujetarse de nuevo, estas costillas están diseñadas para usarse una sola vez.

Sus dimensiones son las siguientes:

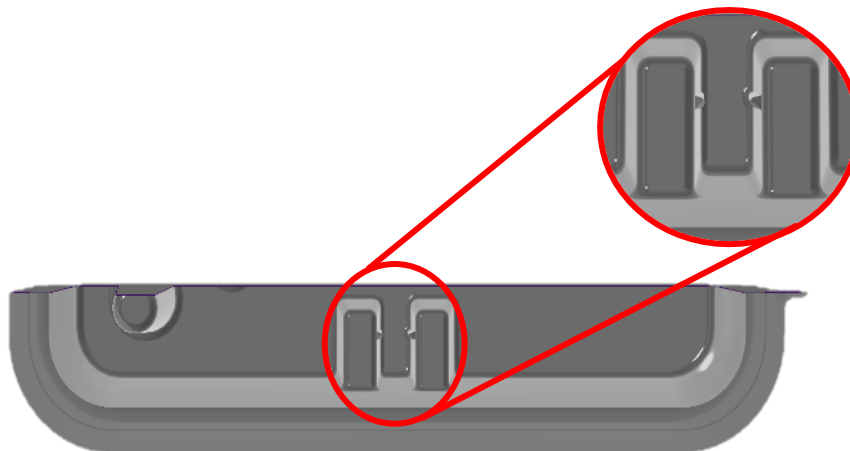
Altura: 0.150 [in]

Ángulo de desmolde: 2°

Espesor: 0.015 [in]

Ángulo de desmolde: 2°

Ángulo de inclinación: 50°



*Figura 3.28 Vista superior seccionada (Propuesta 5).*

Estos elementos fueron diseñados por mi colega Luis García y los presento dado que son importantes para la comprensión del diseño.

### **Carcasa superior**

Elemento que se caracteriza por ensamblar al bracket y la carcasa inferior, además está diseñado para mostrar al usuario el LED indicador.



*Figura 3.29 Vista isométrica carcasa superior (Propuesta 5).*

Para el diseño de este elemento tomé en cuenta los mismos puntos que para la carcasa inferior, como resultado se obtuvieron las siguientes dimensiones de la carcasa superior:

Alto: 0.660 [in]

Volumen: 0.293 [in<sup>3</sup>]

Largo: 1.449 [in]

Ángulo de desmolde: 2°

Ancho: 1.198 [in]

Radio de Redondeo interno: 0.020 [in]

Espesor: 0.08 [in]

Radio de Redondeo externo: 1.20 [in]

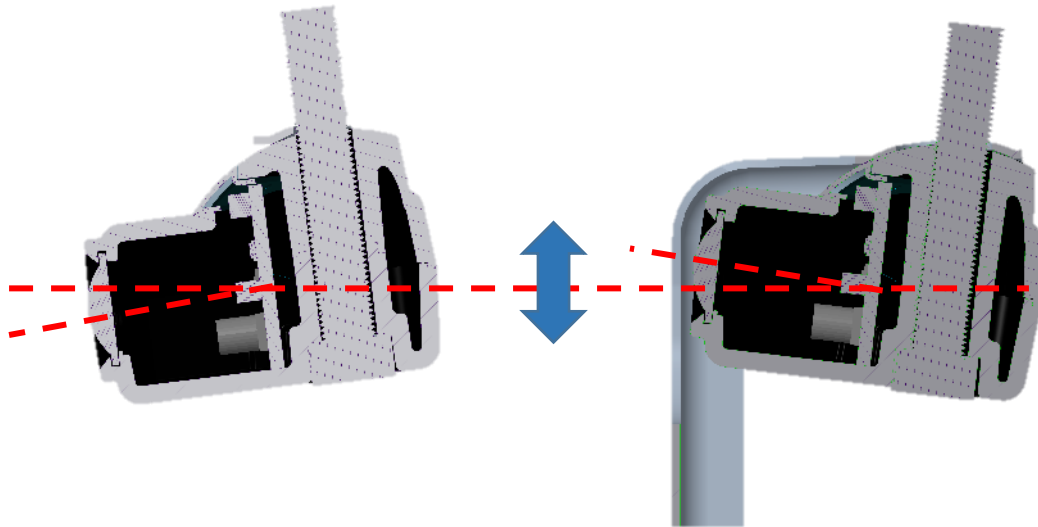
La pieza se logró reducir un 48.32% del volumen respecto a la pieza original, al igual que la carcasa inferior esta reducción permite generar un molde de 16 cavidades.

Para el diseño de la superficie que se acopla al bracket consideré mantener una geometría esférica que conserve el ensamble al bracket actual. Para esto tomé en cuenta los siguientes tres puntos:

- 1) El radio de la cavidad donde se alberga la carcasa superior en el bracket es de 0.25 [in]
- 2) El centro de los IRS debe trasladarse 0.215 [in] hacia adelante permitiendo una movilidad total mínima de 7°.
- 3) El espesor de la esfera debe ser de 0.08 [in].

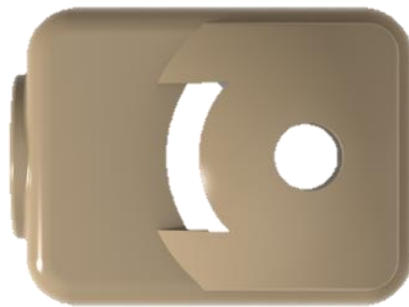


Considerando estos tres puntos pude proyectar una circunferencia que se acoplara a la carcasa superior, el radio de dicha curva es de 0.8 [in], la esfera estaría limitada por el largo de la carcasa superior.



*Figura 3.30 Movilidad del IRS montado al bracket.*

A este elemento se acoplo el espacio para ensamblar la ventana de luz (ver figura 3.31).

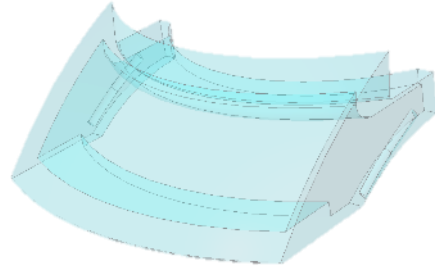


*Figura 3.31 Vista superior carcasa superior (Propuesta final).*

Para este elemento proyecte dos curvas que permitieran la visibilidad del LED cumpliendo con el espesor de pared de 0.08 [in], para lograr esta geometría en la pieza se requiere de un inserto en el molde de inyección. El inserto realiza el hueco deseado debido a que se encuentra en una dirección opuesta al desmolde de la pieza, sin el inserto sería imposible retirar la pieza del molde.

## Ventana de luz

Esta ventana de acrílico está diseñada para transmitir la luz del LED a su superficie y simultáneamente protege el interior de las carcadas.



*Figura 3.32 Vista isométrica, ventana de luz.*

El diseño de este elemento fue relativamente fácil ya que se realizó a base de la proyección del hueco en la carcada superior y teniendo en cuenta el largo de la pieza establecí que el espesor de la pieza sería de 0.025 [in] el cual además es el espesor mínimo recomendado (Xometry), ver Anexo 2.

Las dimensiones de la ventana de luz son:

Volumen: 0.0072 [in<sup>3</sup>]

Ancho: 0.173 [in]

Altura: 0.192 [in]

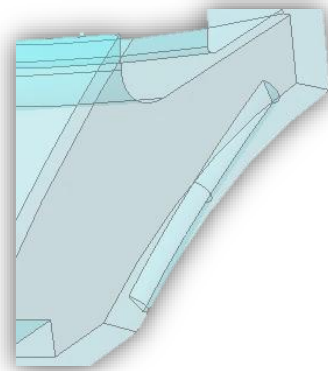
Espesor: 0.022

Largo: 0.54 [in]

Ángulo de desmolde: 2°

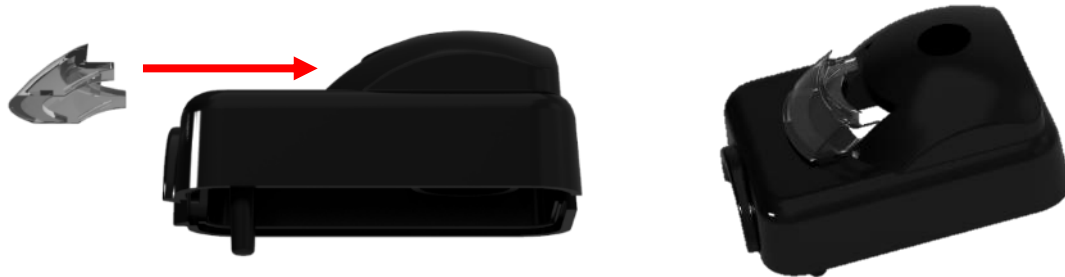
Se decidió utilizar acrílico por su buen rendimiento óptico el cual permite al usuario percibir la luz de funcionamiento de los *IRS* al momento de instalarlos.

El ensamble de esta venta fue diseñado con el mismo principio que las costillas de sujeción de la PCB, la ventana consta de dos pequeñas pestañas a los lados diseñadas con un ajuste de interferencia, esto permite que la ventana ingrese al hueco sin dejar espacios. Con ello se cerciora un cierre aislado dentro de los plásticos.



*Figura 3.33 Vista isométrica seccionada.*

El ensamble de la ventana se lleva a cabo por el exterior de la carcasa superior, se empuja el elemento con suavidad hasta cierto punto donde resulta complicado introducir de más el elemento.



*Figura 3.34 Ensamble de ventana de luz a la carcasa superior.*

El “Análisis de tolerancias y ajustes” de este elemento no estuvo a mi cargo, sin embargo es importante mencionarlo ya siempre debe realizarse para asegurar el óptimo funcionamiento de la pieza.

La ventana de luz la mandé cotizar al departamento de inyección de plásticos de CGI y resultó tener un costo aproximado de \$0.0296 USD por pieza, considerando el costo por el molde, la mano de obra de los empleados y el material. Teniendo en cuenta que tanto el IRS receptor como el emisor necesitarían una ventana el costo total por manufacturar todas las ventas de luz de un año sería de \$129,916.71 USD.

### **Soldadura ultrasónica**

Para conseguir una unión perfecta entre las carcasas al momento de soldar, es necesario incluir en el borde de contacto unas guías de soldadura (ver figura 3.35), esta sección de material se fundirá a la carcasa inferior.



*Figura 3.35 Guías de soldadura en la carcasa superior.*

La geometría de estas guías es cilíndrica y tiene un radio de 0.010 [in], el diseño de estas guías fue consultado con el equipo de ingeniería de “Dukane” (empresa especializada en soluciones de ensamble), ver anexo 6.

### **Guías de ensamble**

En las carcasas superior e inferior fue necesario hacer unas guías de ensamble pensadas en prevenir que el operador ensamble de forma errónea las carcasas, estas guías impiden que las carcasas se acoplen de cualquier otra forma que no sea la correcta, ver figura 3.36.



*Figura 3.36 Vista lateral, ensamble incorrecto entre carcasas superior e inferior.*

Las dimensiones de estos elementos son:

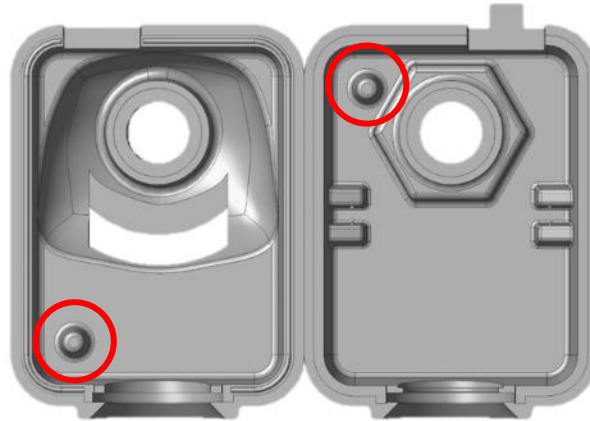
Altura: 0.500 [in]

Ángulo de desmolde: 2°

Radio: 0.060 [in]

Radio de Redondeo: 0.020 [in]

Se colocaron las guías de ensambles en posiciones donde no interfirieran con otros elementos, el radio del elemento es 1.5 veces el espesor esto nos ayuda a mantener un grosor de pared uniforme y evitar marcas por hundimiento en la pieza.



*Figura 3.37 Ubicación de las guías de ensamble en las carcasas.*

### **Tornillo**

Este elemento nos permite sujetar los plásticos al bracket, de la misma forma nos da un refuerzo en el ensamble de las carcasas proporcionando mayor rigidez al ajuste.

Se caracteriza por ser un tornillo de cabeza hexagonal, sus dimensiones son las siguientes:



*Figura 3.38 Vista isométrica del tornillo.*

Longitud o Vástago: 1 ½ [in]

Diámetro: 0.05 [in]

En cada uno de las carcasas fue necesario hacer el hueco para el tornillo que los atraviesa y unas guías de ensamble.

### **Hueco Tornillo**

La finalidad de este elemento es permitir el paso del tornillo a través de las carcasas sin que este interfiera con los otros elementos alojados dentro de los plásticos.

Al igual que los elementos ya mencionados, para el diseño del espacio por donde el tornillo atraviesa las carcasas utilice tres patrones clave que se han manejado en el diseño de cada elemento, estos son:

- Conservar un grosor de pared uniforme en el elemento.
- Utilizar un ángulo de desmolde en las paredes del elemento.
- Evitar las esquinas en la pieza.

Haciendo uso de estos tres puntos me aseguro de que el elemento cumpla su función, permita el ensamble entre las piezas y no interfiera con algún otro elemento. Como resultado obtuve las siguientes dimensiones:

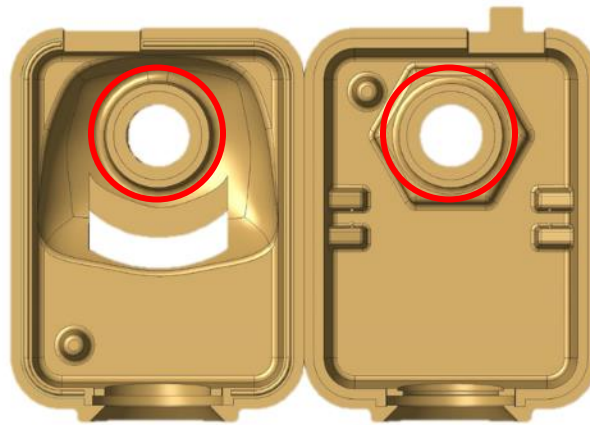
Diámetro del hueco: 0.250 [in]

Radio de Redondeo interno: 0.020 [in]

Espesor para embonar: 0.125 [in] = 1/8

Radio de Redondeo externo: 1.20 [in]

Ángulo de desmolde: 2°



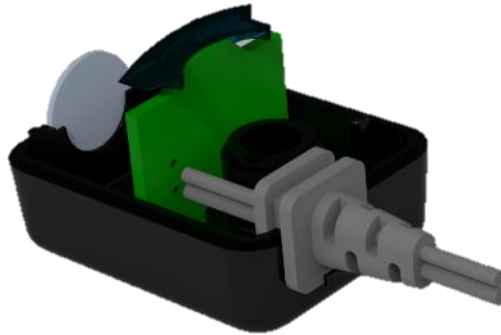
*Figura 3.39 Ubicación de los huecos para el tornillo en las carcasas.*

Una vez establecido este elemento, el rediseño de las carcasas los mandé cotizar con el departamento de inyección de plásticos de *CGI*. Para esto se me solicitó el modelo en formato .STEP así como el volumen de la pieza. Posteriormente se me envió en un par de archivos digitales que contenía la cotización de las carcasas, así como otros datos de la producción de *IRS*. Por la geometría del nuevo modelo, se estima reducir el tiempo producción cada carcasa un 21%, ver anexo 3.

Contemplando los precios de producción de los *IRS* en 2017 y la cotización del rediseño, estime un ahorro anual de \$419,096.36 USD.

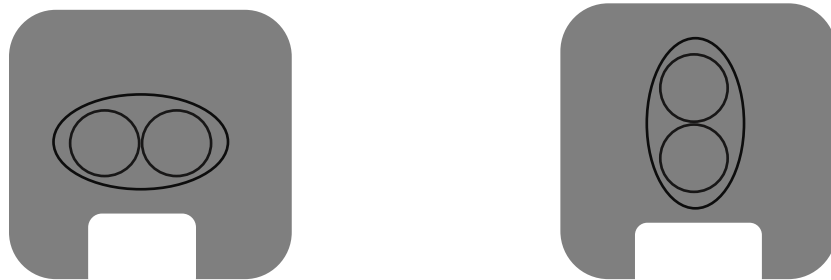
## Aliviador de tensión

Este elemento se modificó con el fin de alinear el cable con la PCB, ver figura 3.40.



*Figura 3.40 Aliviador de tensión ensamblado a la carcasa inferior y alineado a la PCB.*

En los prototipos pude observar que los cables sujetos al aliviador de tensión quedaban fuera de posición al colocarlos verticalmente. Para corregir esto, fue necesario cambiar la posición del cable de horizontal a vertical en relación al espacio que se acopla a la carcasa inferior, ver figura 3.41.



*Figura 3.41 Aliviador de tensión actual (izquierda) y propuesto (derecha).*

## Bracket

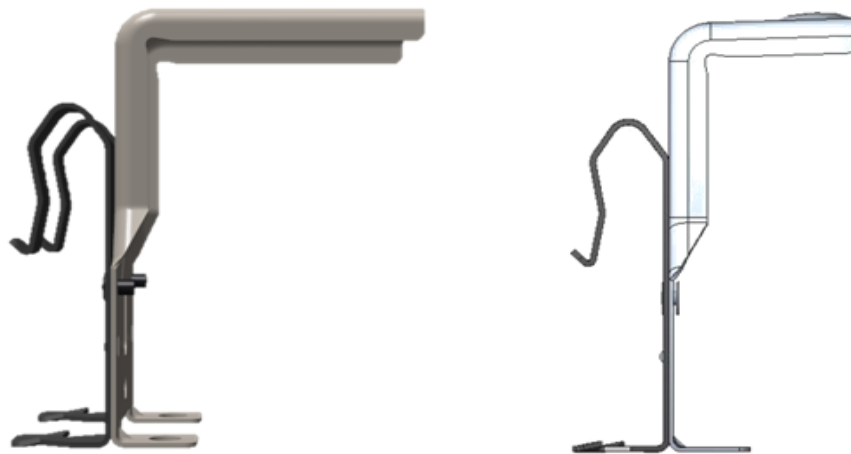
Este elemento se identifica alojar y proteger al *IRS* de cualquier impacto, esta a su vez se sujeta al riel de la puerta de garaje en donde los *IRS* (emisor y receptor) son alineados.

Con anterioridad el equipo de Sustaining mecánica había tratado de cambiar el material con el que es fabricado el bracket, el proveedor del mismo ofreció una serie de propuestas. Para este proyecto decidí realizar una propuesta para el rediseño del bracket en la cual se utilizaría acero al carbono 1075, se reduciría su espesor y acortaría el largo del bracket a la longitud del rediseño de las carcasas.



*Figura 3.42 Vista isométrica del bracket.*

El modelo rediseñado puede acoplarse y trabajar en el bracket actual, pero al igual que las carcasas puede reducirse el volumen de material utilizado. Consideré recomendable reducir la longitud del bracket ya que además de existir material sobrante existe la posibilidad de que el haz de luz infrarrojo colisione con el bracket, teniendo esto en cuenta ajusté el bracket al tamaño de las carcasas rediseñados, ver figura 3.43.

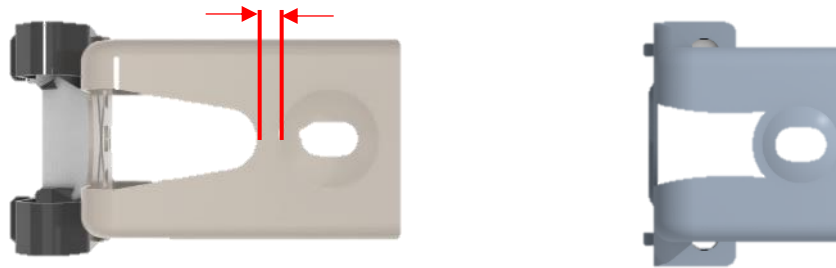


*Figura 3.43 Vista lateral del bracket actual (izquierda) y el propuesto (derecha).*



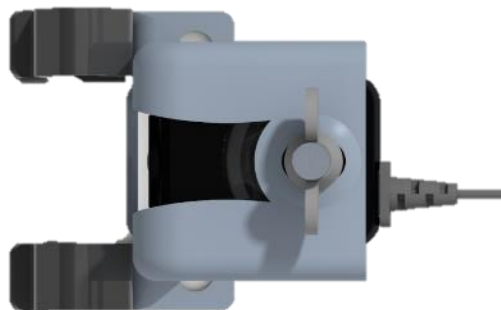
Para conseguir la geometría del bracket son necesarias dos acciones, corte y ponchado en la lámina de metal. Por ello fue importante considerar el espacio entre cada una de estas operaciones y que ninguna interfiera con la otra. Para lograr esto, el espacio debe ser al menos de 1/3 de pulgada.

La distancia entre el área del ponchado y el corte en la parte superior del bracket la establecí de 0.35 [in], a esta distancia siempre permanecerá visible el LED aunque se gire el *IRS* hacia adelante o atrás, ver figura 3.44.



*Figura 3.44 Vista superior de bracket actual (izquierda) y el propuesto (derecha).*

Así mismo ajusté la forma del corte con la geometría de la ventana del sensor, esto proporcionó más visibilidad de la luz emitida por el LED al momento del ensamble de las carcasas y el bracket, ver figura 3.45.



*Figura 3.45 Vista superior del ensamble del IRS y el bracket.*

En resumen logré reducir el largo y espesor del bracket 1[in] y 0.009 [in] respectivamente. Este modelo lo cotice con el proveedor y se lograba un ahorro aproximado de \$0.037 USD por pieza, generando un ahorro anual de \$74,000.00 USD.

Las dimensiones finales del bracket son:

Largo: 1.56 [in]

Altura: 3.95 [in]

Ancho: 2[in]

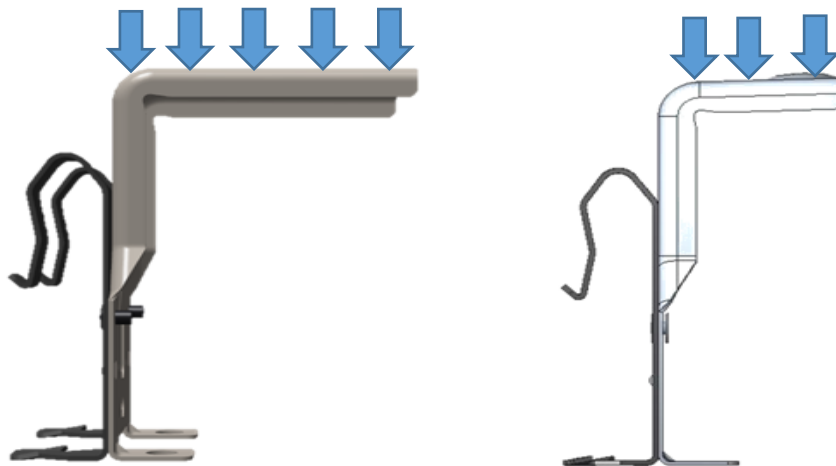
Espesor: 0.036 [in]

Fue necesario hacer uso del análisis por elemento finito (FEA), con la finalidad de apreciar el comportamiento mecánico del bracket actual y el propuesto. Así se compara el rendimiento de ambos modelos y poder determinar si el diseño propuesto funciona y cumplía con lo requerido.

En ambos brackets se realizó la simulación de dos escenarios en condiciones estacionarias, con 100 tiempos de simulación cada una. En cada una se aplicó una carga de 50 [in-lb], fuerza requerida en la prueba de impacto y cada simulación está en función del esfuerzo de cedencia del material de cada bracket. En el caso del bracket actual el esfuerzo de cedencia es de 52,900 [lbf/in<sup>2</sup>] mientras que para bracket nuevo es de 54,500 [lbf/in<sup>2</sup>].

### Escenario 1

La fuerza se aplicó sobre la superficie superior del bracket, simulando un impacto directo en la cara que está sujeta al bracket, ver figura 3.46.



*Figura 3.46 Carga aplicada a los brackets en el FEA (escenario 1).*

Los resultados fueron los siguientes:

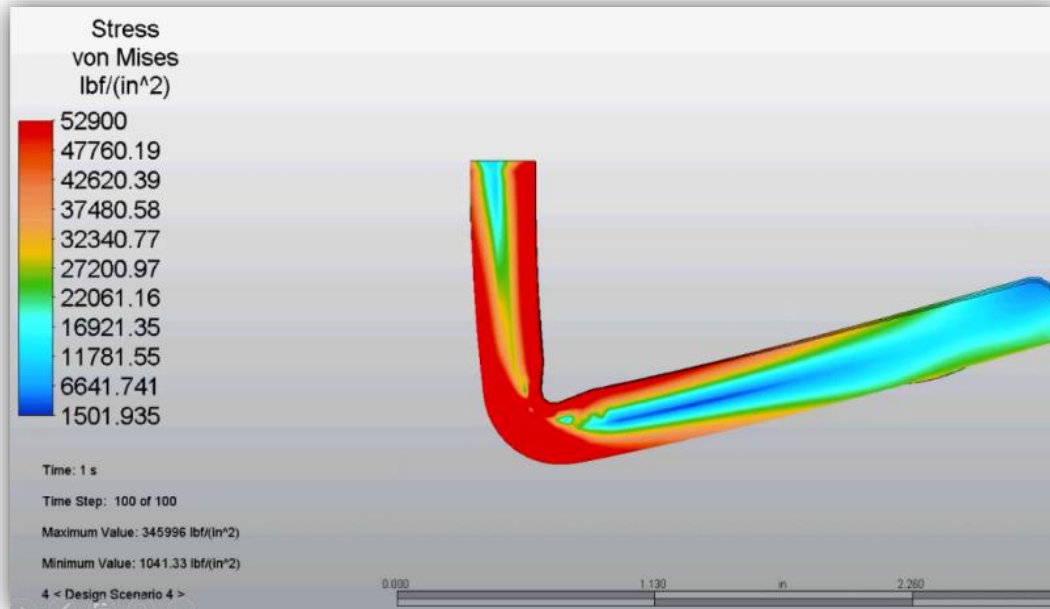


Figura 3.47 FEA del bracket actual (escenario 1).

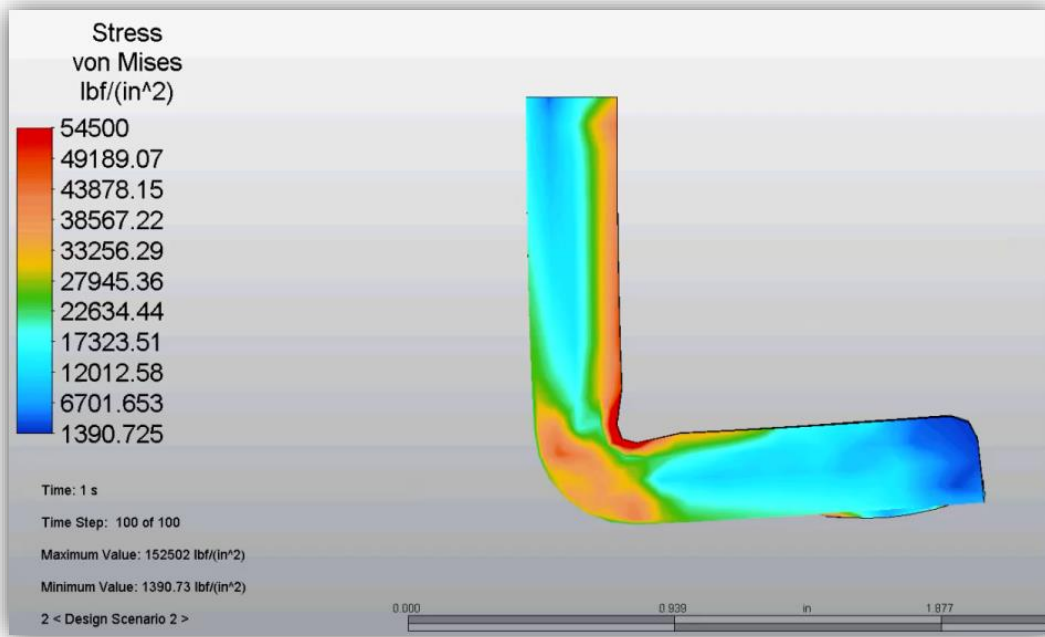


Figura 3.48 FEA del bracket propuesto (escenario 1).

Se puede observar que el comportamiento del bracket rediseñado es mejor que el actual, a pesar de que en ambos existe una deformación plástica la deformación del bracket rediseñado es menor que la del bracket actual.

## Escenario 2

La fuerza se aplicó sobre la superficie lateral derecha en la parte superior del bracket, simulando un impacto en el área expuesta a sufrir algún impacto en caso de que algún objeto impacte el bracket desde arriba, ver figura 3.49.

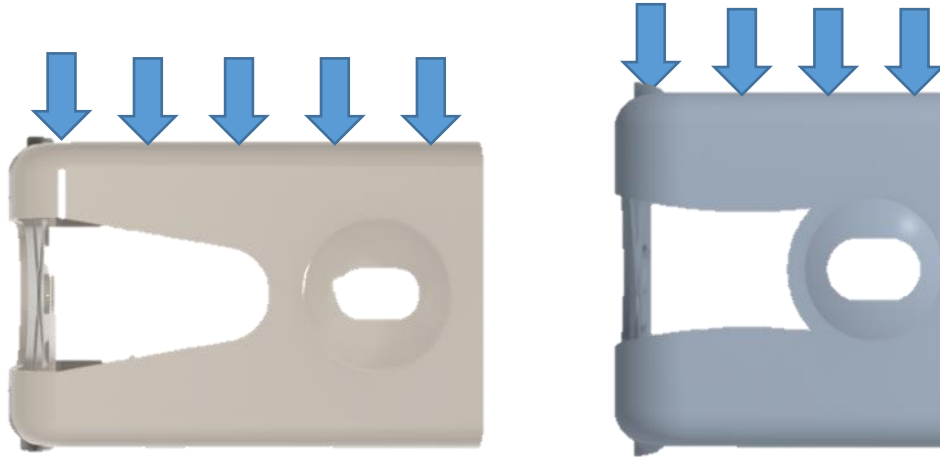


Figura 3.49 Carga aplicada a los brackets en el FEA (escenario 2).

Los resultados fueron los siguientes:

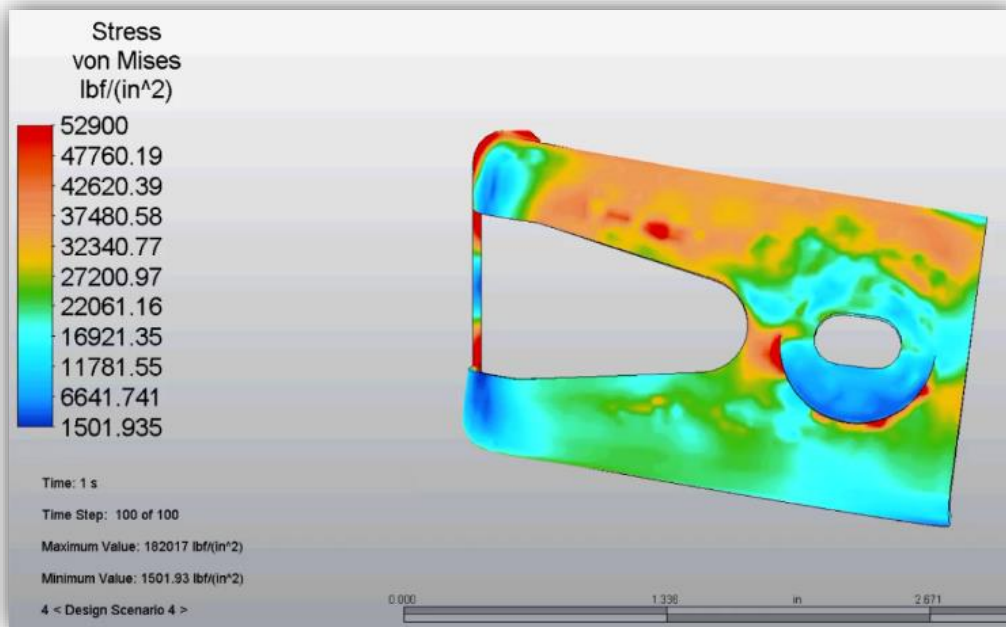


Figura 3.50 FEA del bracket actual (escenario 2).

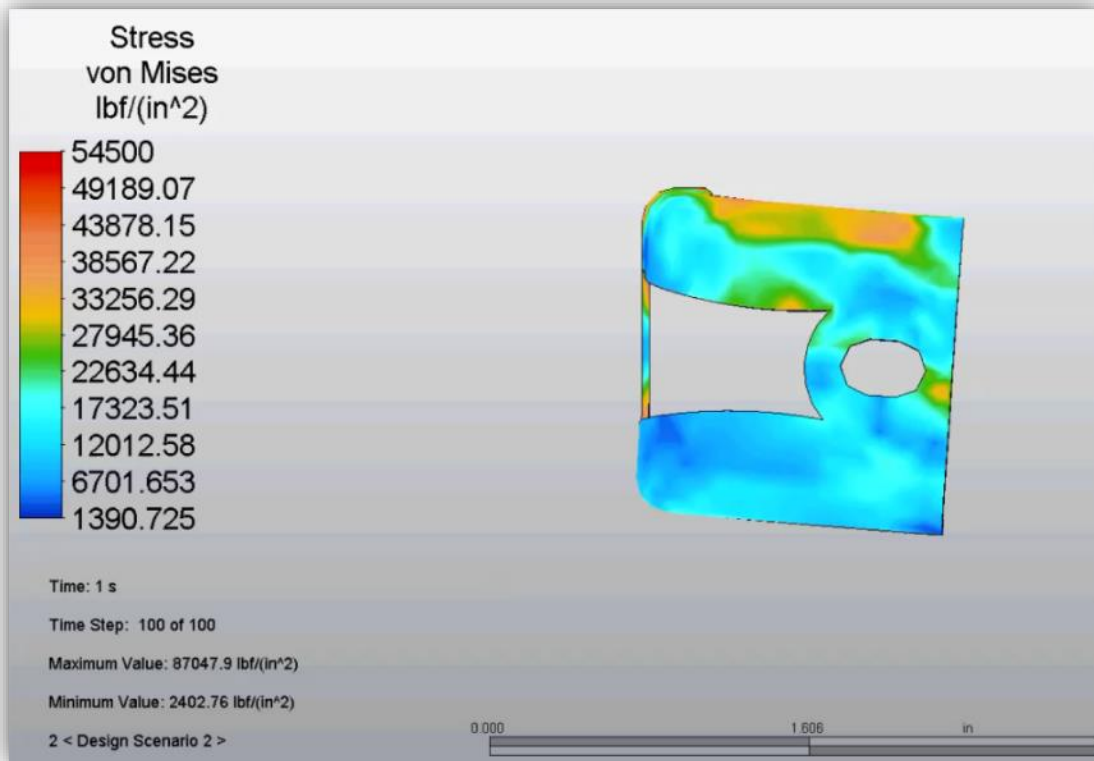


Figura 3.51 FEA del bracket propuesto (escenario 2).

Al igual que en el escenario 1, se observa que el comportamiento del bracket rediseñado es mejor que el actual. El bracket actual presenta algunos puntos que exceden el esfuerzo de cedencia del material y empieza a existir deformación plástica en la pieza. En el caso del bracket rediseñado se trata de una deformación elástica.

## Ensamble

Todos los elementos mencionados en conjunto forman los sensores IR, cada elemento fue diseñado cuidadosamente, cumpliendo con los requisitos establecido. Realizamos 5 prototipos de *IRS*, esto es 10 carcasas superiores, 10 carcasas inferiores, 10 lentes, 10 micas de acrílico, 5 PCB emisoras, 5 PCB receptoras, 20 aliviadores de tensión y 10 brackets. Estos elementos se ensamblaron y probaron en el laboratorio de pruebas de Chamberlain Group. Posteriormente estos modelos fueron presentados ante un grupo de directores del corporativo en Chicago.

Al final del proyecto, estimé que el ahorro anual obtenido por el equipo de ingeniería mecánica era de \$262,033.76 USD, contemplando una inversión de \$348,080.50 USD para la manufactura de las ventanas de luz y la compra de nueva maquinaria y accesorios; además considerando el cambio de manuales, empaques y de más para la venta del producto.

A continuación presento la gráfica que elaboré, donde se puede apreciar de forma desglosada el ahorro total del proyecto contemplando los ahorros logrados por el equipo de ingeniería eléctrica y la inversión necesaria para arrancar con el proyecto.

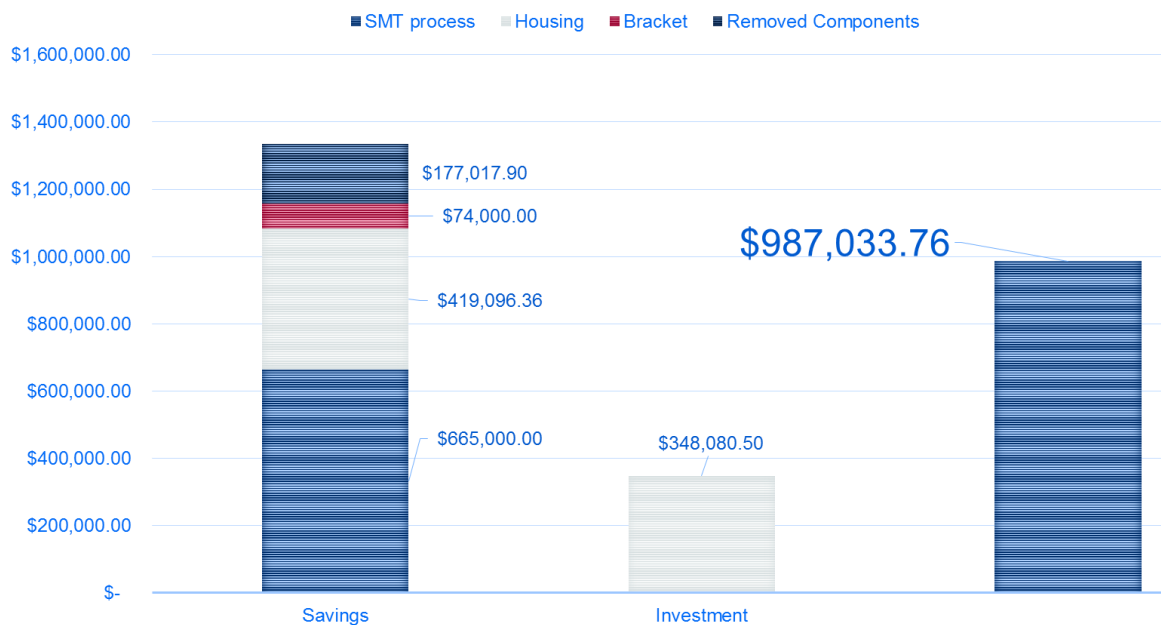


Figura 3.52 Gráfica de ahorros anuales estimados del proyecto.

La siguiente imagen representa el explosivo del ensamble del *IRS* (figura 3.53).



*Figura 3.53 Explosivo del IRS*

## Conclusiones

En resumen, puedo decir que se cumplió con cada uno los objetivos establecidos al principio de esta tesina.

Como resultado de mi participación en este proyecto la empresa Chamberlain Group obtuvo el rediseño de las carcasas del sistema de sensores infrarrojos de seguridad para puertas de garaje. Este rediseño permitió que los elementos electrónicos se sujetaran a la carcasa inferior en posición vertical y mantuvieran su posición de función respecto al lente. Lo anterior se logró acoplado un sistema de costillas en la carcasa inferior que dio oportunidad a que no sea ocuparan otros elementos para el correcto funcionamiento del sensor como en el caso del diseño actual.

Logré definir las dimensiones de la nueva *PCB*, teniendo en cuenta que conservamos el alto y ancho de las carcasas además de considerar la posición que debían tener el sensor infrarrojo y el LED. Como resultado, el área de 0.51 [in], es 70% menor que la actual, esto fue suficiente para colocar los componentes electrónicos. Al ser un elemento más pequeño se pueden producir una mayor cantidad PCB en el mismo tiempo y por el mismo costo.

El nuevo diseño de las carcasas es más compacto y ligero, se redujo un 46% el volumen de la carcasa inferior y un 48% el volumen de la carcasa superior, teniendo en cuenta lo anterior se propuso que el nuevo molde de inyección fuera de 16 cavidades, el doble de cavidades que el molde actual. Con esto se lograra acelerar el proceso de producción de los IRS.

Cabe destacar que el rediseño garantiza un óptimo rendimiento mecánico que se verificó mediante el análisis de elemento finito presentado con anterioridad (páginas 88-91). Asimismo el rediseño es compatible al bracket actual y permite que la luz emitida por el LED este siempre visible ante el usuario.

Teniendo en cuenta que el rediseño de las carcasas tiene menos elementos que el diseño actual y se requiere de menor materia para cada carcasa, la producción de *IRS* propuesta genera un ahorro significativo. Además se removieron elementos como el foam y un soporte del LED que si le sumamos el ahorro que se puede



generar si se produce un bracket más pequeño, logré estimar que el ahorro anual obtenido por el equipo de ingeniería mecánica era de \$262,033.76 USD, siendo esta cantidad arriba de lo mínimo establecido.

Por último las etapas restantes de este proyecto, son las de prueba e implementación, las cuales estarán a cargo del nuevo grupo de becarios que darán continuidad al proyecto. A continuación enlisto las actividades restantes:

- Efectuar las pruebas de rendimiento mecánico en el laboratorio de pruebas de Chamberlain Group.
- Rediseñar de elementos en las carcasas (en caso de detectar alguna falla durante las pruebas).
- Realizar los planos de cada elemento.
- Realizar una corrida contralada.
- Realizar patente del diseño.
- Obtener la aprobación del consejo directivo de Chamberlain Group para su producción en masa.

## Recomendaciones y comentarios

Dada la poca experiencia con la que cuento, no tenía el conocimiento de todos los elementos que deben ser considerados al momento de diseñar un producto de esta magnitud. Por lo tanto expongo una serie de recomendaciones que me ayudaron a tener éxito en el diseño de las carcasas de los *IRS*:

- Trabajar en equipo es esencial, una sola persona no puede hacer todo el trabajo y siempre es bueno contar con la ayuda y punto de vista de otras personas como gerentes, personal de producción u otras áreas. En este sentido el éxito total del proyecto se dio por la colaboración y coordinación del equipo de ingeniería mecánica y eléctrica.
- El prototipado es esencial para el diseño de cualquier producto, ya sea por impresión 3D, corte láser, CNC o cualquier herramienta que te permita interactuar con un modelo físico de tu producto. Esto te permite localizar punto clave de tu producto y determinar cuales se deben mejorar.
- El diseño es un proceso iterativo, no importa el número de diseños o prototipos que realices siempre se aprende algo nuevo de cada uno. Siempre se puede modificar o mejorar cualquier producto.
- Es indispensable la capacitación continua, aprender o tener conocimiento de las nuevas tecnologías que van emergiendo pueden ser la clave para dar solución a un problema futuro, Hoy en día se tiene acceso a una cantidad infinita de información y existen plataformas que nos permiten desarrollar nuevas habilidades de forma gratuita.
- El dominio del idioma inglés es una competencia esencial en hoy en día para un ingeniero mecánico, es determinante comunicarse en este u otros idiomas, además de tener un conocimiento técnico del área.
- Ninguna idea es mala, se puede encontrar la solución a un determinado problema hablando en términos de ingeniería pero debemos encontrar la solución que mejor se acople a nuestros recursos es decir se deben considerar aspectos monetarios, ambientales, de logística y de más dependiendo del proyecto a desarrollar.

- Siempre es bueno tener un mentor, una persona que nos enseñe, de la cual podamos aprender.

Finalmente comparto parte de mi experiencia durante mi estancia en Chamberlain Group.

El haber realizado este proyecto me permitió entender la importancia de utilizar herramientas como la impresión en 3D, el FMEA y el Análisis de tolerancias y ajustes que me dio la oportunidad de visualizar y evitar errores que no eran visibles en el monitor o a simple vista dependiendo del análisis que estuviera haciendo. La impresión 3D fue de mucha ayuda debido a que pude observar los elementos diseñados y como estos cumplían o no con la función con la que se les diseñó, el caso más peculiar es el diseño de las costillas de aplastamiento que sujetan a la PCB ya que estas fueron incorporadas en el diseño final debido a que los primeros diseños no las contenía por lo tanto eran ineficientes al sujetar la PCB.

Cabe destacar que la concentración y el tiempo que se requieren al momento de realizar el FMEA juegan un papel importante. Pude percatarme que durante este proceso el ingeniero que lo realiza no se debe precipitar ya que podría omitir situaciones que tengan un alto grado de importancia. En mi caso dediqué varios días a esta herramienta mediante la cual detecté diferentes aspectos que debía considerar al momento de diseñar ya que estos pueden ir desde posibles fallas en el sistema hasta escenarios en condiciones inusuales. Por lo tanto, al agrupar todo lo antes mencionado el resultado fue desarrollar un producto seguro, funcional y estético. Sin duda las herramientas descritas en el capítulo 2 me fueron de mucha ayuda para el desarrollo del proyecto.

## Anexos

### Anexo 1: Resina Noryl y sus propiedades [14].

La familia de resinas NORYL se basa en una tecnología PPO modificada desarrollada por SABIC Innovative Plastics. La resina Noryl consiste en mezclas amorfas de resina PPO (polifenileno éter) y PS (poliestireno).

Esta resina ofrece una combinación de beneficios inherentes de la resina PPO entre los cuales destacan:

- Buen rendimiento térmico.
- Alta rigidez
- Resistencia a la tracción y flexión.
- Buen rendimiento eléctrico.
- Excelente estabilidad hidrolítica
- Material reciclable



Las resinas Noryl se hallan en una amplia gama de aplicaciones de alto rendimiento, por ejemplo:

- Sistemas de calefacción solar
- Paneles de instrumentos
- Empaque
- Conectores de fibra óptica
- Caratulas traseras de TV
- Partes y accesorios automotrices.

La resina Noryl se usa comúnmente en equipos de automatización de oficinas, incluidos chasis de máquinas comerciales, carcasas, componentes de computadoras, impresoras y copiadoras. El material cumple con los estrictos requisitos de Blue Angel RAL-UZ 78 debido a su resistencia a la llama no bromada y no clorada, esto ayuda a minimizar la corrosión y la toxicidad en caso de incendio.

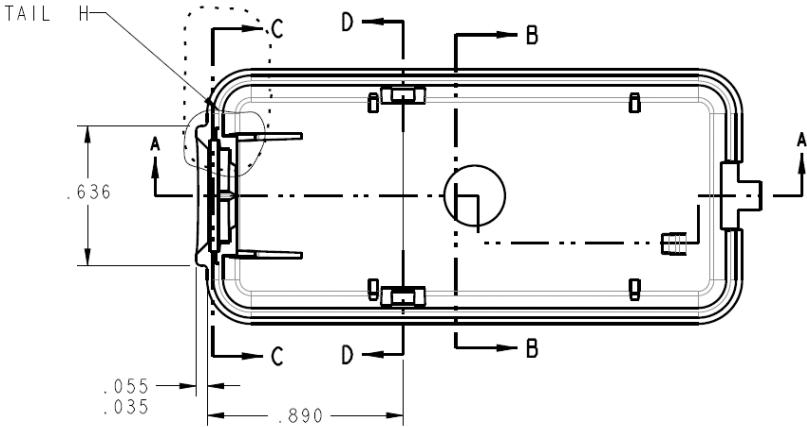
**Anexo 2:** Tabla de espesores recomendados por tipo de material.

MATERIAL	RECOMMENDED WALL THICKNESS
ABS	0.045 in - 0.140 in
Acetal	0.030 in - 0.120 in
Acrylic	0.025 in - 0.500 in
Liquid Crystal Polymer	0.030 in - 0.120 in
Long-Fiber Reinforced Plastics	0.075 in - 1.100 in
Nylon	0.030 in - 0.115 in
Polycarbonate	0.040 in - 0.150 in
Polyester	0.025 in - 0.125 in
Polyethylene	0.030 in - 0.200 in
Polyphenylene Sulfide	0.020 in - 0.180 in
Polypropylene	0.035 in - 0.150 in
Polystyrene	0.035 in - 0.150 in
Polyurethane	0.080 in - 0.750 in

**Anexo 3:** Análisis para la producción de las carcasas del *IRS* actual.

<b>TONNAGE CALCULATIONS</b>	
MOLD:	
# of CAVITIES:	8
MATERIAL TYPE:	NORYL SPN420
NAME:	IR housing
DATE:	22-MARZ-2018

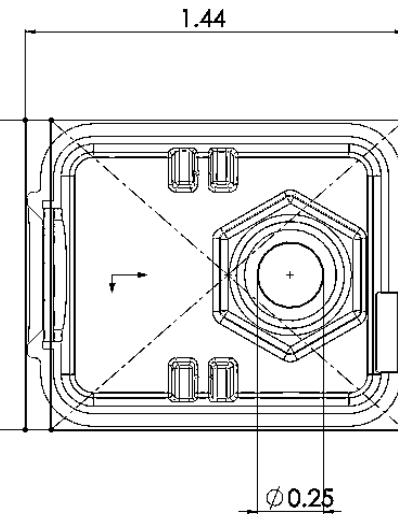
# Cavities	x	Area of Part	+	Area of Runner	=	Projected Area
8		3.4992		0.01862		28.01222
					x	Tonnage Factor
		Material Type (Generic) Select From		<b>PC</b>		5
					=	Estimated Tonnage
						140



**Anexo 4: Análisis para la producción de las carcasas del IRS actual.**

<b>TONNAGE CALCULATIONS</b>	
MOLD:	NEW IR REDESING
# of CAVITIES:	16
MATERIAL TYPE:	NORYL SPN420
NAME:	NEW IR REDESING
DATE:	07/05/2018

# Cavities	x	Area of Part	+	Area of Runner	=	Projected Area
16		1.6645125		0.01862		26.65082
		Material Type			x	Tonnage Factor
		(Generic) Select From	<b>PC</b>			5
					=	Estimated Tonnage
						<b>133</b>



Description	CYC.	TON 540	CAV.	Labor time (SAP) 1000/	TON required	Mold Class	QTY	MAT	Mat description
Current Irs bottom housing	25.5	310	8	0.623	140	101	1	039A0289	NORYL SPN420
New Irs bottom housing	33	310	16	0.487	133	101	1	039A0289	NORYL SPN420

## Anexo 5: Captura de pantalla del archivo FMEA y DFMA

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Design Item or Process Function Requirements	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Occurrence	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	Occurrence	Design or Process Controls	Detection	RPN	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	Severity	Occurrence	Detection	RPN
hold intern components on bottom assembly	pcb loose	pcb falls during assembly and it gets damaged	8	3	rib isn't holding with enough interference the pcb	3	-stack-up analysis -lead in in top housing to guide pcb-board	1	24	Stack Up Analysis	Luis Garcia / Alejandro Dapa		8	3	1	24
		pcb falls out of the upper slot when closing housings	7	7	rib isn't holding with enough interference the pcb	7	stack-up analysis	5	245	Stack Up Analysis	Luis Garcia / Alejandro Dapa		7	7	5	245
	lens loose	lens falls during assembly	1	5	wall isn't holding with enough interference the lens	5	stack up analysis	1	5	Stack Up Analysis	Luis Garcia / Alejandro Dapa		1	5	1	5
		gap allows the environmental exposure	9	2	wall isn't holding with enough interference the lens	2	stack up analysis	2	36	Stack Up Analysis	Luis Garcia / Alejandro Dapa		9	2	2	36
		strain relief gets loose during assembly	5	4	wall isn't holding with enough interference the strain relief	4	stack up analysis	1	20	Stack Up Analysis	Luis Garcia / Alejandro Dapa		5	4	1	20
	strain relief loose	unable to assemble too housing	2	7	strain relief is out of position	7	-poka yoke to guide the strain relief	1	14	CAD Model	Luis Garcia / Alejandro Dapa		2	7	1	14
		gap allows the environmental exposure	9	2	wall isn't holding the strain relief with enough interference	2	stack up analysis	2	36	Stack Up Analysis	Luis Garcia / Alejandro Dapa		9	2	2	36
hold lightcover on top housing	lightcover loose	lights cover falls during assembly and gets damaged	1	7	wall isn't holding the light cover with enough interference	7	-stack-up analysis -splash/rain test	1	7	Stack Up Analysis	Luis Garcia / Alejandro Dapa		1	7	1	7
		Housing's internal components get exposed to environmental	9	2	wall isn't holding the light cover with enough interference	2	-poka yoke to guide top housing	2	36	Stack Up Analysis	Luis Garcia / Alejandro Dapa		9	2	2	36
assemble top housing	top housing assembled backwards	unable to close housing	2	4	top housing allows to assemble backwards	4	-poka yoke to guide top housing	2	16	CAD Model	Luis Garcia / Alejandro Dapa		2	4	2	16
ultrasonic welding seal	housing isn't weld	could open when it's transported, mounted/ environmental exposure	9	2	wrong design/dimensions of energy directors	2	Transportation test, lr mounted on bracket, splash/rain test	2	36	Transportation Test / Splash Test	Packing and Test departments		9	2	2	36
	housing gets unweld	components' environmental exposure	9	2	frequency isn't on the mechanical simulation	2	bracket, splash/rain test	2	36				9	2	2	36



## Anexo 6: Cotización

### **DUKANE** Intelligent Assembly Solutions

2900 Dukane Drive  
St. Charles, IL 60174  
(630) 797-4900  
<http://www.dukane.com>

### Quotation

*Reference Quotation Number when ordering*

Quotation Number: SC060718-06

Quotation Date: 6/7/2018

Application Number: 470-053018-08 R0

Project: I.R. Sensor

Page 1 of 4

#### Customer Information

Alejandro Dapa  
Chamberlain Group Inc  
941 N Industrial Pk Ave # B  
Nogales, AZ 85621

Email: [alejandrodapa@chamberlain.com](mailto:alejandrodapa@chamberlain.com)  
Tel: 520-761-5586  
Fax:  
End User:  
Territory: 470

#### Equipment and Tooling Quote

We propose to furnish the following at the prices shown, subject to terms and conditions as described on the attached sheet.

##### Item 1

1 - 2012.1Q-P7.R \$36,555.00  
20kHz 1200 Watt IQ Servo Welder System with Time, Energy, Distance, Force & Comm

System Includes:

- \* 20HS120-1Q-P7 - IQ-ES 1200 Watt 120V Generator with CFD, Time, Energy, Distance, Force & Ethernet/ Serial Comm
- \* 43S220 - IQ Servo Thruster
- \* 43S290 - IQ Ultra Rigid Press Support Package
- \* Cables, Wrenches & Manuals

Data Sheet: <http://www.dukane.com/us/Documents/DataSheets/IQServoPress.pdf>

1 - BOOSTER\_TBD  
Booster (Ratio to be determined)  
Price included in IQ System

Total Price for Item 1: \$36,555.00

##### Item 2 Optional

1 - 438-1031 \$4,560.00  
IQ HMI Kit

Kit Includes:

- \* IQ Explorer II Software
- \* IQ HMI B & R
- \* Mounting Arm
- \* Cables

Data Sheet: <http://www.dukane.com/us/Documents/DataSheets/iQUserInterface.pdf>

Total Price for Item 2: \$4,560.00

## Glosario de figuras

Figura 1.1 Disciplinas que conforman el diseño y desarrollo de productos.....	7
Figura 1.2 Top 10, países líderes en materia de diseño e innovación. ....	11
Figura 2.1 Presencia de Chamberlain a nivel mundial. ....	19
Figura 2.2 Organigrama empresarial .....	20
Figura 2.3 BOM de la pieza G76LM visto en SAP. ....	23
Figura 2.4 Master Pack de un producto final. ....	24
Figura 2.5 Motores utilizados en planta.....	24
Figura 2.6 Etiquetas advertencia para cada motor.....	25
Figura 2.7 Operador de CGI tratando de ensamblar las carcasas de los IRS.....	27
Figura 2.8 Desperdicio de carcasas de los IRS por día. ....	27
Figura 2.9 IRS en funcionamiento.....	28
Figura 2.10 IRS (emisor y receptor) y sus accesorios.....	29
Figura 2.11 Vista superior e inferior de la PCB del circuito eléctrico emisor. ....	29
Figura 2.12 Vista superior e inferior de la PCB del circuito eléctrico receptor. ....	30
Figura 2.13 Vista isométrica de la carcasa inferior. ....	30
Figura 2.14 Vista superior de la carcasa inferior. ....	31
Figura 2.15 Vista isométrica de la carcasa superior.....	31
Figura 2.16 Vista inferior de la carcasa superior. ....	32
Figura 2.17 Vista lateral de la carcasa superior. ....	32
Figura 2.18 Corte lateral del IRS. ....	33
Figura 2.19 Vista isométrica del lente.....	33
Figura 2.20 Vista superior de la carcasa inferior sujetando la PCB.....	33
Figura 2.21 Empaque sobre el LED. ....	34
Figura 2.22 Vista isométrica del bracket. ....	34
Figura 2.23 Manufactura del aliviador de tensión.....	35
Figura 2.24 Secuencia del proceso de manufactura de los IRS. ....	36
Figura 3.1 Fases en el proceso de diseño.....	41
Figura 3.2 Interfaz de Creo Parametric .....	56
Figura 3.3 Tipos de ajuste entre 2 componentes. ....	59
Figura 3.4 Irregularidades en la superficie de prototipos.....	60
Figura 3.5 Aliviador de tensión ensamblado a un prototipo.....	61

Figura 3.6 FEA del bracket actual.....	62
Figura 3.7 Vista frontal, sección A-A. ....	64
Figura 3.8 Vista superior de la carcasa inferior. ....	64
Figura 3.9 Bosquejo de la primer PCB diseñada. ....	65
Figura 3.10 Vista frontal, sección A-A. ....	66
Figura 3.11 Vista superior de la carcasa inferior. ....	66
Figura 3.12 PCB montada. ....	66
Figura 3.13 Costillas en la carcasa inferior. ....	66
Figura 3.14 Vista lateral (Propuesta 1).....	67
Figura 3.15 Vista isométrica (Propuesta 1). ....	68
Figura 3.16 Vista isométrica, sección A-A. ....	68
Figura 3.17 Vista isométrica (Propuesta 2). ....	69
Figura 3.18 Vista isométrica con corte (Propuesta 2). ....	70
Figura 3.19 Vista isométrica de la carcasa superior (Propuesta 2). ....	70
Figura 3.20 Vista isométrica (Propuesta 4). ....	71
Figura 3.21 Vista isométrica (Propuesta 3). ....	71
Figura 3.22 PCB (Propuesta 4). ....	72
Figura 3.23 Vista isométrica (Propuesta 4). ....	72
Figura 3.24 PCB circuito receptor (Propuesta 5). ....	73
Figura 3.25 Vista isométrica (Propuesta 5). ....	74
Figura 3.26 Espacios sin elementos en la PCB.....	75
Figura 3.27 Vista lateral seccionada (Propuesta 5).....	76
Figura 3.28 Vista superior seccionada (Propuesta 5).....	76
Figura 3.29 Vista isométrica carcasa superior (Propuesta 5). ....	77
Figura 3.30 Movilidad del IRS montado al bracket. ....	78
Figura 3.31 Vista superior carcasa superior (Propuesta final).....	78
Figura 3.32 Vista isométrica, ventana de luz.....	79
Figura 3.33 Vista isométrica seccionada. ....	79
Figura 3.34 Ensamble de ventana de luz a la carcasa superior. ....	80
Figura 3.35 Guías de soldadura en la carcasa superior.....	80
Figura 3.36 Vista lateral, ensamble incorrecto entre carcasas superior e inferior.....	81
Figura 3.37 Ubicación de las guías de ensamble en las carcasas.....	82

Figura 3.38 Vista isométrica del tornillo. ....	82
Figura 3.39 Ubicación de los huecos para el tornillo en las carcasas. ....	83
Figura 3.40 Aliviador de tensión ensamblado a la carcasa inferior y alineado a la PCB. ....	84
Figura 3.41 Aliviador de tensión actual (izquierda) y propuesto (derecha). ....	84
Figura 3.42 Vista isométrica del bracket. ....	85
Figura 3.43 Vista lateral del bracket actual (izquierda) y el propuesto (derecha). ....	85
Figura 3.44 Vista superior de bracket actual (izquierda) y el propuesto (derecha). ....	86
Figura 3.45 Vista superior del ensamble del IRS y el bracket. ....	86
Figura 3.46 Carga aplicada a los brackets en el FEA (escenario 1). ....	87
Figura 3.47 FEA del bracket propuesto (escenario 1). ....	88
Figura 3.48 FEA del bracket actual (escenario 1). ....	88
Figura 3.49 Carga aplicada a los brackets en el FEA (escenario 2). ....	89
Figura 3.50 FEA del bracket actual (escenario 2). ....	89
Figura 3.51 FEA del bracket propuesto (escenario 2). ....	90
Figura 3.52 Gráfica de ahorros anuales estimados del proyecto. ....	91
Figura 3.53 Explosivo del IRS ..... 3.53	92

## Índice de tablas

Tabla 1.1 Ejemplos de la competitividad y capacidad de diseño en México [5]. ....	12
Tabla 2.1 Actividades despeñadas en CGI. ....	22
Tabla 2.2 Secuencia del proceso de manufactura de los IRS. ....	37
Tabla 3.1 Oportunidades y restricciones en el rediseño del producto. ....	53
Tabla 3.2 Resultados del FMEA. ....	57
Tabla 3.3 Ventajas y desventajas del rediseño de las carcasas. ....	68

## Referencias

- [1] Budynas, Richard G.; Nisbeth J. Keith (2015). Shigley's Mechanical Engineering Design (10<sup>th</sup> ed.).USA. Mc Graw Hill.
- [2] Ulrich, Kral T. y Eppinger (2013), Steven D. Diseño y desarrollo de productos (5<sup>ta</sup> ed.). México, McGraw-Hill.
- [3] Lom, Javier Antonio; Macías Luis Enrique; Madrid, Juan Manuel; Martínez, Armando; Soto, Ludovico (2009). Áreas integrales de diseño industrial. Percepción, metodologías, manufactura y ergonomía. México.
- [4] Florida, Richard (2010). La clase creativa. La transformación de la cultura del trabajo y ocio del siglo XXI. Barcelona. Paidós.
- [5] Padilla Monroy, Josefa (2015). Diagnostico sectorial 2015, innovación y diseño, 2015. Consultado en enero de 2019, Recuperado de <http://www.promexico.gob.mx/documentos/diagnosticos-sectoriales/disenoinnovacion.pdf>
- [6] Dutta, Soumitra; Lanvin, Bruno; Lanvin, Sacha (2018). Global Innovation Index 2018, Energizing the World with Innovation. Consultado en abril de 2019 Recuperado de <https://www.globalinnovationindex.org/Home>
- [7] Lázaro Rodríguez (2018). Economía creativa en América Latina y el Caribe Mediciones y desafíos. Banco Interamericano del Desarrollo. Consultado en abril de 2019 Recuperado de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Econom%C3%A9Da-creativa-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-Mediciones-y-desaf%C3%ADos.pdf>
- [8] Piedras, E. (2017). “¿Por qué en México despreciamos el poder de las industrias creativas?” En Forbes, México. Recuperado de <https://www.forbes.com.mx/la-cultura-riqueza-mal-vista>
- [9] INEGI. (2017). Cuenta Satélite de la Cultura de México. Cambio año base 2013. México: INEGI. Disponible en

<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/cultura/default.aspx>

- [10] Creative Economy Report (2013), Special Edition (UNESCO / ONU). Consultado en Febrero de 2019, Recuperado de <http://www.unesco.org/culture/pdf/creative-economy-report-2013.pdf>
- [11] Conferencia de las naciones unidas sobre comercio y desarrollo (Unctad, 2009) Consultado en febrero de 2019, Recuperado de <https://unctad.org/es/paginas/statistics.aspx>
- [12] Geometrical Tolerance Stack Up Techniques. Consultado en febrero de 2019, Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/229e/2da19777edf2dee3521334093c8e28273901.pdf>
- [13] Seyyed Khandani (2005). Engineering design process. Consultado en marzo de 2019, Recuperado de [http://islab.soe.uoguelph.ca/sareibi/PROJECTS\\_dr/UNDERGRAD\\_INFO\\_dr/docs/EngineeringProcess.pdf](http://islab.soe.uoguelph.ca/sareibi/PROJECTS_dr/UNDERGRAD_INFO_dr/docs/EngineeringProcess.pdf)
- [14] Noryl Resin, SABIC Innovative Plastics, Consultado en febrero de 2019, Recuperado de <https://www.plasticmakeitpossible.com/wp-content/uploads/2011/01/SABIC-sheet-on-Noryl.pdf>
- [15] Part Design Guidelines for Injection Molded Thermoplastics. Consultado en marzo de 2018, Recuperado de <https://www.rtpcompany.com/wp-content/uploads/RTP-Part-Design-Guidelines-for-Injection-Molded-Thermoplastics.pdf>
- [16] Basic Injection Molding Design Guidelines. Consultado en marzo de 2018, Recuperado de <https://8tbae6putd20uxi1wag7pt3m-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2015/01/Design-Guidelines.pdf>
- [17] Engineering Plastics - Part and Mold Design Guide. Consultado en marzo de 2018, Recuperado de [https://techcenter.lanxess.com/scp/americas/en/docguard/Part\\_and\\_Mold\\_Design\\_Guide.pdf?docId=77015](https://techcenter.lanxess.com/scp/americas/en/docguard/Part_and_Mold_Design_Guide.pdf?docId=77015)

- [18] Design Solution Guide – BASF. Consultado en marzo de 2018, Recuperado de <http://www8.basf.us//PLASTICSWEB/displayanyfile?id=0901a5e1801499d2>
- [19] Design Guide: Injection Molding. Consultado en marzo de 2018, Recuperado de [https://cdn2.hubspot.net/hubfs/340051/Design\\_Guides/Xometry\\_DesignGuide\\_InjectionMolding.pdf](https://cdn2.hubspot.net/hubfs/340051/Design_Guides/Xometry_DesignGuide_InjectionMolding.pdf)
- [20] FEA for all engineers – SIEMENS. Consultado en mayo de 2018, Recuperado de [https://www.plm.automation.siemens.com/en\\_us/Images/9487\\_tcm1023-57321.pdf](https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/9487_tcm1023-57321.pdf)