

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA
MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO – CHILE**



**“DISEÑO DE UN DISPOSITIVO DE
MONITOREO VIAL INTELIGENTE (DMVI)
PARA APLICACIÓN EN CARRETERAS DE
ALTA CIRCULACIÓN”**

IGNACIO JAVIER HAGEDORN SMITH

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO INDUSTRIAL**

**PROFESOR GUÍA: DR. LUIS PÉREZ POZO
PROFESOR CORREFERENTE: DR. MARCELO PÉREZ LEIVA**

Enero – 2024

Agradecimientos

Agradezco a todas y cada una de las personas que formaron parte de mi vida en este proceso, ya haya sido a la distancia o en la universidad misma.

A mi padre Pablo Hagedorn, por siempre darme consejo y aliento para seguir luchando contra los desafíos diarios de la vida. A mi madre Karina Smith, que siempre entendió mis sentimientos y compartió mis días tristes y felices, siendo un lugar de refugio en momentos complicados. A mi hermana Francisca Hagedorn, que siempre estuvo para compartir mis frustraciones y hacerme reír a lo largo de todos estos años.

A mis amigos y compañeros de la universidad, que conocí durante mis primeros años y siguieron formando parte de mi vida hasta el final. A los que conocí este último año, pero pareciera que somos amigos de toda la vida. Gracias por quererme como soy, y que a pesar de conocer mis defectos nunca me abandonaron y me apoyaron hasta el final.

Gracias a todas las personas que formaron parte de mi vida privada, y a todas las que saben por los difíciles años que pasé cuando creía que seguir viviendo no valía la pena. Gracias por ayudarme a salir de esos días oscuros y por demostrarme su cariño. Finalmente pude entender y darme cuenta de que todas las dificultades son un aprendizaje, y que mientras haya alguien a quien aprecias, siempre vale la pena seguir intentándolo.

A mi profesor guía, Luis Pérez, gracias a quien pude encontrar mi tema de tesis, y que siempre se dio un tiempo para ayudarme cuando lo necesité, siempre con una sonrisa y buena actitud. A mi profesor correferente Marcelo Pérez, quien me entregó toda la información necesaria para la realización de este proyecto.

Finalmente, a mi compañero de vida Kury que me regala su amor sincero todos los días. Gracias por llegar a mi vida en mis momentos complicados, sin ti nada hubiera sido tan bonito.

Resumen

En el presente trabajo de título se desarrolla el diseño de un Dispositivo de Monitoreo Vial Inteligente (DMVI) que contiene en su interior elementos electrónicos sensibles, el cual se encuentra expuesto a grandes cargas de compresión producidas por los vehículos terrestres. Con la finalidad de evitar fallas mecánicas y electrónicas, se propone el desarrollo de un modelo resistente que cumpla con las necesidades descritas por el cliente.

Para cumplir este objetivo, se plantea una metodología de diseño consistente en tres fases, correspondientes a la fase conceptual, en donde se presentan los atributos iniciales solicitados por el cliente para luego realizar un análisis de relaciones funcionales mediante el uso de metodologías como QFD y TRIZ, finalizando con la selección de un concepto basado en un estudio de referentes. Se prosigue con la fase de configuración, en donde se generan bocetos de las diferentes piezas mediante el uso de Software de modelamiento 3D. Finalmente, se plantea la fase de detalle, en donde se propone el análisis mecánico del modelo y la evaluación final para verificar el cumplimiento de los requisitos iniciales.

El DMVI diseñado tiene unas dimensiones generales de 130 milímetros de ancho y largo, y una altura de 15 milímetros. Consta de una carcasa superior y de una base inferior con vástago, las cuales se encuentran unidas mediante el uso de cuatro insertos y tornillos metálicos de acero inoxidable. Entre ambas piezas se incluye un sello hidráulico hecho de goma. Como resultado de este trabajo, se obtiene un dispositivo capaz de soportar hasta 32 toneladas en compresión según el método propuesto por normativa. Se concluye entonces que, según la evaluación realizada en conjunto al cliente, cumple con las necesidades propuestas.

Abstract

In this thesis project, the design of an Intelligent Road Monitoring Device (IRMD) is developed. This device incorporates sensitive electronic components and is exposed to significant compression loads from terrestrial vehicles. To prevent mechanical and electronic failures, the development of a robust model that meets the client's requirements is proposed.

To achieve this objective, a three-phase design methodology is proposed. The conceptual phase presents the initial attributes requested by the client, followed by an analysis of functional relationships using methodologies such as QFD and TRIZ. This phase concludes with the selection of a concept based on a benchmark study. The configuration phase involves generating sketches of the different parts using 3D modeling software. Finally, the detailed phase proposes the mechanical analysis of the model and a final evaluation to verify compliance with the initial requirements.

The designed IRMD has overall dimensions of 130 millimeters in width and length, and a height of 15 millimeters. It consists of an upper housing and a lower base with a shaft, connected by four inserts and stainless-steel screws. A hydraulic seal made of rubber is included between these two pieces. As a result of this work, a device capable of withstanding up to 32 tons in compression, according to the proposed method, is obtained. It is concluded that, based on the evaluation conducted in collaboration with the client, the device meets the proposed needs.

Índice

Agradecimientos	i
Resumen	ii
Abstract	iii
Índice.....	iv
Índice de Figuras	vi
Índice de Tablas.....	vii
Introducción	viii
Objetivos Generales	ix
CAPÍTULO 1. METODOLOGÍA DEL DISEÑO	1
1.1 Morfología del diseño	1
1.1.1. Fase I: Diseño conceptual.....	2
1.1.2. Fase II: Diseño de configuración.....	4
1.1.3. Fase III: Diseño de detalle	4
CAPÍTULO 2. CONTEXTO Y DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	5
CAPÍTULO 3. ETAPAS DEL DISEÑO CONCEPTUAL.....	7
3.1 Definición del problema.....	7
3.1.1. Listado de atributos iniciales.....	7
3.1.2. Objetivos, restricciones y funciones	8
3.1.3. Categorización de objetivos	9
3.1.4. Jerarquización de objetivos.....	10
3.1.5. Árbol de objetivos jerarquizados	10
3.1.6. Lista de objetivos argumentada	11
3.1.7. Lista de objetivos con pesos ponderados	12
3.2. Análisis funcional	13
3.2.1. Modelo de caja negra.....	13
3.2.2. Modelo de caja transparente.....	14
3.2.3. Benchmarking	15
3.2.4. Lista de requerimientos	18
3.2.5. Matriz requerimientos-objetivos	19
3.2.6. Despliegue de la función de la calidad.....	21
3.2.7. Resolución de contraindicaciones de los requerimientos.....	23
3.3. Generación de conceptos	24
3.3.1. Estudio de referentes	24

3.3.2. Carta morfológica.....	25
3.3.3. Brainstorming.....	26
3.3.4. Generación de conceptos	28
3.4. Selección del concepto.....	31
3.4.1. Método de selección de pesos ponderados	31
3.4.2. Análisis estructural del concepto	33
3.4.3. Generación de concepto justificado	34
CAPÍTULO 4. DISEÑO DE CONFIGURACIÓN.....	36
4.1. Arquitectura del diseño.....	36
4.1.1. Tipo de arquitectura.....	36
4.1.2. Definiendo la arquitectura	36
4.2. Diseño de configuración.....	37
4.2.1. Componentes especializados.....	38
4.2.2. Componentes estándar	42
4.3. Diseño Paramétrico	43
4.3.1. Selección de material y proceso de fabricación.....	43
4.3.2. Definición de dimensiones.....	50
4.3.3. Agrupación de componentes electrónicos.....	51
4.3.4. Dimensiones generales individuales	52
CAPÍTULO 5. DISEÑO DETALLADO	58
5.1. Análisis de esfuerzos	58
5.2. Esquema 3D conjunto diseñado	62
CAPÍTULO 6. RESULTADO DEL DISEÑO	63
CAPÍTULO 7. EVALUACIÓN DEL DISEÑO	64
Conclusiones	66
Bibliografía	68
Anexos.....	69
Anexo 1: Tablas pesos ponderados (sección 3.1.7.).....	69
Anexo 2: Resultados análisis de esfuerzos concepto 3 (sección 3.4.2).....	71
Anexo 3: Análisis de estilos flotantes y macizos (sección 4.2.1.)	75
Anexo 4: Lista de componentes electrónicos (sección 4.3.2.)	76
Anexo 5: Resultados análisis de esfuerzos ensamblaje final (sección 5.1.)	82

Índice de Figuras

Figura 1: Morfología del diseño [1].....	2
Figura 2: Árbol de jerarquización de objetivos	11
Figura 3: Modelo de caja negra.....	14
Figura 4: Modelo de caja transparente	14
Figura 5: Modelo competidor 1	16
Figura 6: Modelo competidor 2	16
Figura 7: Modelo competidor 3	17
Figura 8: Despliegue de la Función de Calidad (QFD) [2].....	22
Figura 9: Brainstorming.....	27
Figura 10: Concepto de diseño 1.....	29
Figura 11: Concepto de diseño 2.....	30
Figura 12: Concepto de diseño 3.....	31
Figura 13: Prueba de compresión	33
Figura 14: Prueba de tracción	33
Figura 15: Concepto de diseño 4.....	35
Figura 16: Diagrama de componentes y funciones de la arquitectura del dispositivo	37
Figura 17: Boceto Carcasa Superior	39
Figura 18: Boceto Base Inferior	40
Figura 19: Boceto Placa PCB.....	41
Figura 20: Boceto sello hidráulico	42
Figura 21: Imagen carcasa final.....	53
Figura 22: Imagen base final	55
Figura 23: Imagen electrónica final.....	56
Figura 24: Imagen tornillo M4.....	57
Figura 25: Imagen inserto metálico.....	57
Figura 26: Prueba compresión en despiece	59
Figura 27: Prueba compresión ensamblada.....	59
Figura 28: Prueba tracción en despiece	60
Figura 29: Prueba tracción ensamblada.....	60
Figura 30: Imagen ensamblaje completo.....	62

Índice de Tablas

Tabla 1: Jerarquización de objetivos	10
Tabla 2: Lista de objetivos argumentada.....	12
Tabla 3: Lista de objetivos con pesos ponderados	13
Tabla 4: Resumen comparativo benchmarking	18
Tabla 5: Benchmarking comparativo.....	18
Tabla 6: Lista de requerimientos demandados y deseados	19
Tabla 7: Matriz objetivo-requerimientos.....	20
Tabla 8: Solución de contraindicaciones de los requerimientos mediante TRIZ [8]	23
Tabla 9: Resumen búsqueda de patentes	25
Tabla 10: Carta morfológica	26
Tabla 11: Selección del concepto	32
Tabla 12: Resultados análisis de esfuerzos.....	34
Tabla 13: Propiedades ópticas de los polímeros	44
Tabla 14: Propiedades de los polímeros [13]	46
Tabla 15: Dimensiones Componentes Electrónicos	51
Tabla 16: Diferenciación Componentes Electrónicos.....	52
Tabla 17: Resultados Análisis de Esfuerzo.....	61
Tabla 18: Detalle costos componentes.....	63
Tabla 19: Evaluación de atributos iniciales.....	64

Introducción

En la actualidad existen distintos dispositivos que se utilizan para marcar los bordes de la carretera. Normalmente son pequeñas marcas reflectantes de forma cilíndrica o rectangular, y que generalmente están hechas de plástico o metal. El funcionamiento de estos elementos se basa en la retro refracción de la luz originada por los vehículos, aunque también existen alternativas de iluminación propia con un sistema LED, alimentado por un sistema de baterías con recarga solar.

Si se realiza un análisis del mercado global de este producto, se observa que la función actual de estos dispositivos es delimitar las zonas de conducción, favoreciendo así la seguridad de los conductores en condiciones climáticas adversas o en horarios nocturnos. Conscientes de este enfoque de funcionalidades, es que la empresa Sun and Play lleva a cabo diferentes análisis para desarrollar un Dispositivo de Monitoreo Vial Inteligente (DMVI), permitiendo así monitorear el tráfico gracias a diferentes sensores que permiten obtener mediciones de la temperatura, vibraciones, y cantidad de luz ambiental. Gracias a la interpretación de dichas variables medidas, se generan funciones como la opción de iluminación LED con diferentes colores, la recarga de baterías gracias al uso de paneles solares, y la posibilidad de comunicación interconectada entre cada uno de los DMVI instalados en la carretera. Gracias a esto, se abre un abanico de funcionalidades que se pueden implementar en el dispositivo, mejorando la comunicación visual de los conductores y advirtiéndoles de peligros, tráfico condensado, la aproximación de entidades prioritarias como ambulancias o bomberos, etc.

El desafío de este trabajo radica en diseñar un DMVI capaz de cumplir con los requerimientos propuestos por el cliente, y que soporte con seguridad las cargas aplicadas sobre sí mismo. Estas funciones deben lograrse con énfasis en mantener seguros a los componentes electrónicos del interior. De esta forma se evitan fallas mecánicas que puedan producirse tanto en la estructura exterior como interior.

Objetivos Generales

En este trabajo de título se propone un diseño de un DMVI que permite mantener seguros a los componentes electrónicos sensibles sin comprometer la operatividad del dispositivo, tomando en cuenta una disposición inteligente de los elementos para así reducir los costos generales y mejorar la interconexión de los componentes. Estos objetivos se llevarán a cabo mediante el uso de la metodología QFD y las diferentes etapas que propone este proceso del diseño.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Investigar leyes y normativas aplicables al DMVI, con el objetivo de conocer los requerimientos mínimos de diseño, resistencias mecánicas, propiedades ópticas a cumplir y otros aspectos.
- Definir el problema en términos de objetivos, restricciones y funciones.
- Desarrollar un diagrama de descomposición funcional y establecer los requerimientos de ingeniería usando la metodología QFD.
- Generar diferentes conceptos basados en búsquedas de referentes.
- Seleccionar un concepto en función de las restricciones y desarrollar la arquitectura del dispositivo.
- Realizar el diseño detallado del dispositivo junto con los planos de fabricación.

CAPÍTULO 1. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

El diseño se entiende como un proceso creativo y sistemático que permite convertir los requisitos de un cliente en un plan detallado, que permitirá solucionar un problema de una forma estructurada. Con la finalidad de desarrollar adecuadamente este caso de estudio, a continuación, se presenta la metodología utilizada para llevar a cabo el diseño del dispositivo de monitoreo vial inteligente. Dicha estructura se despliega en una secuencia lógica de cinco pasos [\[1\]](#), los cuales se presentan a continuación:

- Definición del problema
- Recolección de información
- Generación de alternativas de solución
- Evaluación de alternativas
- Comunicación de resultados

Esta secuencia se utiliza principalmente para resolver problemas relacionados al diseño en ingeniería ya que representan un enfoque sistemático que permite evaluar y tomar decisiones de una manera informada y eficaz. Es por esto que será la secuencia utilizada para desarrollar este caso de estudio.

1.1 Morfología del diseño

Esta metodología se divide en tres grandes fases: diseño conceptual, diseño de configuración y diseño de detalle. Cada una de estas fases se divide en diferentes secciones específicas, las cuales están representadas en el siguiente diagrama:

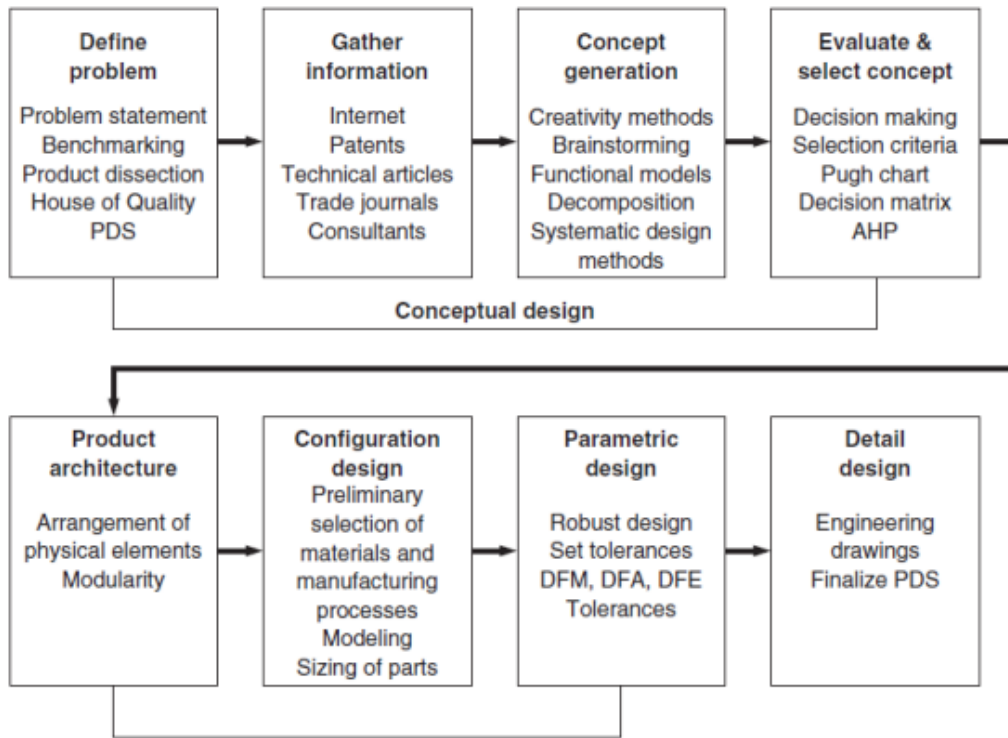


Figura 1: Morfología del diseño [1]

1.1.1. Fase I: Diseño conceptual

En esta primera fase del proceso del diseño se define la problemática a resolver y se proponen posibles soluciones. Dichas propuestas son evaluadas mediante criterios y métricas establecidas en el proyecto, provocando así una reducción de opciones hasta quedar con una única solución que abarque de mejor manera los parámetros del proyecto. A continuación, se presentan las distintas actividades que componen a la fase del diseño conceptual:

1. Definición del problema:

El objetivo es establecer un enunciado que describa la necesidad del cliente. Es decir, englobar en un mismo concepto las especificaciones, restricciones, requerimientos y otros conceptos derivados de un análisis competitivo del producto.

Para esto, se utiliza una metodología conocida como despliegue de la función de calidad QFD [2] (Quality Function Deployment), la cual permite vincular las necesidades y expectativas del cliente con las características del producto. Esto se debe contrastar con la lista detallada de especificaciones de diseño del producto para lo cual se realiza una descomposición de las funciones del diseño.

2. Recolección de información:

En este punto se realiza una investigación exhaustiva para recopilar información relevante relacionada con el problema y el contexto del diseño. Esto incluye investigaciones de mercado, competidores, patentes, literatura, entre otros.

3. Conceptualización:

La generación de conceptos implica la creación de una variedad de bocetos o ideas que tengan el potencial de abordar el problema establecido.

4. Selección de concepto:

Se refiere a evaluar, modificar y mejorar un concepto obtenido mediante un sistema de evaluación basado en pesos ponderados.

5. Refinamiento de especificaciones de diseño:

En esta sección lo que se busca es alcanzar ciertos parámetros críticos de diseño con el objetivo de interactuar entre los conceptos de desempeño y costo.

6. Revisión del diseño:

Antes de pasar a la siguiente fase, se realiza una revisión para verificar que lo diseñado sea económicamente viable y se ajuste a un método de fabricación existente. Esta revisión también incluye la planificación de un calendario de desarrollo para minimizar el tiempo de diseño y maximizar los recursos disponibles.

1.1.2. Fase II: Diseño de configuración

El principal objetivo de esta segunda fase es desarrollar la estructura del diseño conceptual del producto. Para esto, se debe tener como primera consideración las funciones principales del dispositivo. De esta forma, se definen los materiales, formas, tamaños y distribuciones de los distintos elementos y componentes. Esta fase se divide en 3 pasos o actividades que presentadas a continuación:

1. Arquitectura del producto:

Hace enfoque en realizar la división de del diseño en subsistemas o módulos. De esta forma, se decide el orden y distribución de los componentes, buscando que su combinación aporte positivamente a la relación funcional existente entre ellos.

2. Diseño de configuración:

En este paso se establece la configuración de los distintos componentes. Es decir, se dispone en un lugar adecuado y eficiente cada característica propia de los componentes como pueden ser las curvas, muescas, agujeros, empalmes, etc.

3. Diseño paramétrico:

En esta etapa, y gracias a la información obtenida en el diseño de configuración, se proceden a establecer las dimensiones exactas para el producto. En general, busca minimizar los costos y recursos tomando en cuenta los distintos procesos de fabricación, el ensamblaje, y los requerimientos propuestos por el cliente.

1.1.3. Fase III: Diseño de detalle

Esta última fase se enfoca en dar una descripción completa de ingeniería del producto diseñado y de sus componentes. Es decir, se realizan los análisis pertinentes al modelo para así otorgar toda la información relacionada a disposiciones, dimensiones, materiales y procesos de fabricación de cada parte.

CAPÍTULO 2. CONTEXTO Y DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio presente consta de un dispositivo de monitoreo vial de carga solar que contiene elementos electrónicos sensibles en su interior, los cuales deben ser protegidos por una estructura exterior resistente. Para el escenario específico de este DMVI, existen varios factores de importancia que se deben considerar y que afectan de gran manera al proceso de diseño. Entre estos se encuentran:

Posición de instalación:

El dispositivo se posiciona al lado izquierdo de la pista de alta velocidad (solo para carreteras de doble vía). Esto quiere decir que no está sometida a fuerzas de compresión de manera tan frecuente como el caso de una instalación entre carriles.

Dirección de la iluminación:

La luz producida por el DMVI gracias al uso de LEDs tendrá un enfoque unidireccional. Esto significa que la iluminación proporcionada por el dispositivo será útil exclusivamente para los conductores que circulen por la vía donde están instaladas, y no para aquellos que transiten en la dirección opuesta de la carretera.

Interferencia de señales [\[3\]](#):

Las señales electromagnéticas utilizadas en las comunicaciones inalámbricas se transmiten a través de ondas que se propagan en el espacio. Cuando estas inciden sobre un material conductor, como el metal, parte de la energía de la onda se absorbe y se refleja, lo que puede interferir con la señal transmitida. Es por esto que se prohíbe el uso de materiales metálicos.

Transmisión de la luz [\[4\]](#):

Debido al sistema de recarga solar del DMVI, y que una de sus principales funciones radica en señalar a los conductores una cierta luminosidad LED, es que se limita el uso de materiales a los que contengan una alta capacidad de transmisión de la luz.

Temperatura de fusión:

Las altas temperaturas son una condición física que afecta al comportamiento mecánico de los materiales. Considerando que en días de extremo calor las carreteras pueden alcanzar temperaturas de hasta 60 [°C], y con la finalidad de evitar fallas mecánicas en la estructura exterior, se requiere el uso de materiales con una temperatura de fusión mayor a 60 [°C].

Leyes y normativas aplicables:

Para seguir adelante en el desarrollo del proyecto, se deben conocer las normas legales que se establecen dentro de nuestro país o fuera de él. Es por esto que se realiza una búsqueda de textos y escritos que contengan información legal útil para este estudio.

Uno de estos documentos es el Manual de Carreteras [5] de nuestro país, el cual es un documento técnico en torno al cual se estructura el ciclo de vida de las obras viales. Este documento se encuentra en permanente actualización, y entrega pautas, criterios, métodos, y procedimientos y especificaciones aplicables a diferentes proyectos realizados en esta área.

El manual de carreteras está conformado por nueve volúmenes, en donde se abarca una amplia y variada información relacionada a la realización de obras viales. Sin embargo, solo se toman en cuenta los volúmenes que aportan información relacionada con el caso de estudio. Una sección de importancia es el volumen N°8 [5], el cual indica los distintos métodos de testeado que se deben llevar a cabo, y los valores límites que se pueden obtener como resultado en dichas pruebas. Así como también es limitante para nuestro diseño la información señalada en el volumen N°6 [5], sección 6.303.404 (6), la cual especifica que la medida del lado mayor del dispositivo no puede sobrepasar los 130 [mm]. Así mismo, se indica en el manual de carreteras que el ángulo entre sus caras y la horizontal no puede ser mayor a 60 [°]. Sin embargo, en la normativa D4280 [6] se especifica que el ángulo no debe ser mayor a 45 [°], por lo que se considera este último valor como referencia. De esta manera, se asegura el cumplimiento con lo que estipulan ambas normativas.

CAPÍTULO 3. ETAPAS DEL DISEÑO CONCEPTUAL

En esta sección se presenta el problema a resolver. Se incluyen también los principales antecedentes que permiten comprender esta problemática y la necesidad de la empresa Sun & Play de solicitar un diseño mecánico para su producto.

3.1 Definición del problema

Realizar el diseño mecánico de un Dispositivo de Monitoreo Vial Inteligente (DMVI) resistente para aplicaciones en carreteras de flujo vehicular de alto tonelaje. La estructura externa debe cumplir con los siguientes requerimientos básicos: Ser de fácil ensamblaje, debe respetar los requisitos dimensionales según normativa aplicable, no puede estar conformada por materiales metálicos, el material de la estructura debe tener una alta capacidad de transmisión lumínica, la temperatura de fusión de los materiales debe ser mucho mayor a 60 [°C], y se debe determinar la carga máxima que puede soportar el dispositivo.

3.1.1. Listado de atributos iniciales

En función del problema ya presentado, se han definido los siguientes atributos que debe cumplir el producto final a diseñar. Estos atributos fueron establecidos en conjunto con la empresa Sun and Play. Los atributos establecidos son los siguientes:

1. Fácil de ensamblar.
2. Fácil de instalar.
3. El lado mayor de la base debe ser menor o igual a 130 [mm].
4. El ángulo entre las caras inclinadas y la horizontal no debe ser mayor a 45 [°].
5. Altura máxima desde la base debe ser menor a 21 [mm].
6. No estar conformada por materiales metálicos.
7. Estructura con alta capacidad de transmisión de la luz.
8. Bajo costo de materiales.

9. Bajo costo de fabricación.
10. Capaz de soportar todos los ensayos establecidos en las normativas aplicables.
11. Tener volumen suficiente para contener a los componentes interiores.
12. Mantiene seguros a los componentes electrónicos interiores.
13. No debe permitir el ingreso de humedad a la zona interior.
14. La estructura debe conservar su resistencia a temperaturas cercanas a los 60 [°C].
15. Ser seguro ante intentos de robo.
16. Resistente a la compresión.
17. No realiza daños en los neumáticos de los vehículos.
18. Buena visibilidad de las luces LED.
19. Apariencia discreta.
20. Buena visibilidad del dispositivo.

3.1.2. Objetivos, restricciones y funciones

A continuación, se clasifican los atributos establecidos en las categorías de: objetivos, restricciones y funciones. Siendo los objetivos metas que el producto debe cumplir a modo de características, las restricciones son limitaciones establecidas por el cliente y las normativas, y las funciones son las distintas tareas que el dispositivo debe realizar.

Objetivos

1. Fácil de ensamblar.
2. Fácil de instalar.
3. Bajo costo de materiales.
4. Bajo costo de fabricación.
5. Ser seguro ante intentos de robo.
6. Resistente a la compresión.
7. No realiza daños en los neumáticos de los vehículos.
8. Buena visibilidad de las luces LED.
9. Apariencia discreta.
10. Buena visibilidad del dispositivo.

Restricciones

1. El lado mayor de la base debe ser menor o igual a 130 [mm].
2. Altura máxima desde la base debe ser menor a 21 [mm].
3. El ángulo entre las caras inclinadas y la horizontal no debe ser mayor a 45 [°].
4. La estructura debe conservar su resistencia a temperaturas cercanas a los 60 [°C].
5. No estar conformada por materiales metálicos.
6. Tener volumen suficiente para contener a los componentes interiores.
7. No debe permitir el ingreso de humedad a la zona interior.
8. Estructura con alta capacidad de transmisión de la luz.

Funciones

1. Capaz de soportar todos los ensayos establecidos en las normativas aplicables.
2. Mantiene seguros a los componentes electrónicos interiores.

3.1.3. Categorización de objetivos

A continuación, se agrupan los objetivos en diferentes categorías dependiendo de la similitud existente entre ellos.

Desempeño

- Fácil de ensamblar.
- Fácil de instalar.
- Resistente a la compresión.
- Buena visibilidad de luces LED.

Costos

- Bajo costo de materiales.
- Bajo costo de fabricación.

Apariencia

- Buena visibilidad de las luces LED.
- Apariencia discreta.

Seguridad

- Ser seguro ante intentos de robo.
- No realiza daños en los neumáticos de los vehículos.

3.1.4. Jerarquización de objetivos

Los objetivos agrupados anteriormente son ordenados según el nivel de importancia definido bajos los criterios del equipo de trabajo y del diseñador, obteniéndose la siguiente Tabla 1:

Tabla 1: Jerarquización de objetivos

1 Desempeño	3 Costos
1.1 Resistente a la compresión.	3.1 Bajo costo de materiales.
1.2 Fácil de ensamblar.	3.2 Bajo costo de fabricación.
1.3 Buena visibilidad de luces LED.	
1.4 Fácil de instalar.	
2 Seguridad	4 Apariencia
2.1 No realiza daños en los neumáticos de los vehículos.	4.1 Buena visibilidad del dispositivo.
2.2 Ser seguro ante intentos de robo.	4.2 Apariencia discreta.

3.1.5. Árbol de objetivos jerarquizados

Para visualizar de mejor manera la jerarquización de los objetivos, a continuación, se presenta en la Figura 2 el árbol de objetivos jerarquizados:

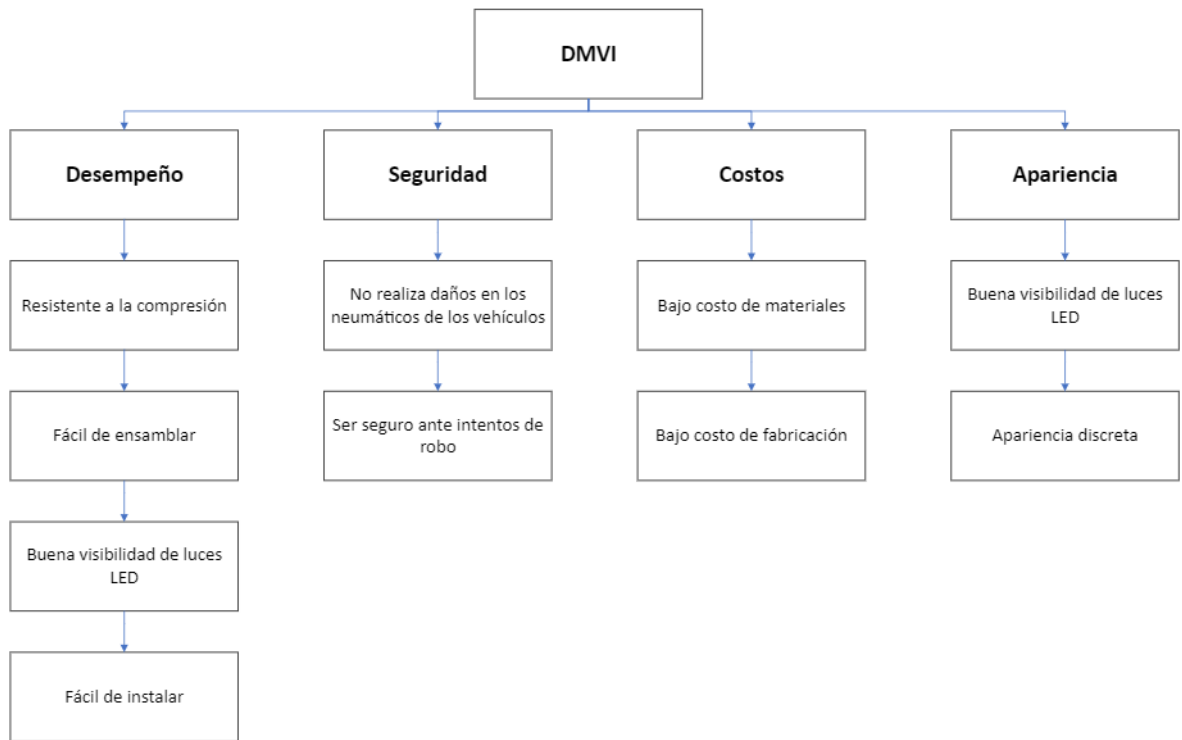


Figura 2: Árbol de jerarquización de objetivos

3.1.6. Lista de objetivos argumentada

En la Tabla 2 se muestran las categorías designadas anteriormente, pero ahora se incluyen las restricciones y funciones, en color rojo y azul respectivamente. De esta forma, se tiene una idea más clara de cómo se relacionan éstas con los objetivos seleccionados.

Tabla 2: Lista de objetivos argumentada

1 Desempeño	3 Costos
<p>1.1 Resistente a la compresión. 1.2 Fácil de ensamblar. 1.3 Buena visibilidad de luces LED. 1.4 Fácil de instalar.</p> <p>R.1 La estructura debe conservar su resistencia a temperaturas cercanas a los 60 [°C]. R.2 Estructura con alta capacidad de transmisión de la luz. R.3 No estar conformada por materiales metálicos.</p>	<p>3.1 Bajo costo de materiales. 3.2 Bajo costo de fabricación.</p>
2 Seguridad	4 Apariencia
<p>2.1 No realiza daños en los neumáticos de los vehículos. 2.2 Ser seguro ante intentos de robo.</p> <p>R.1 No debe permitir el ingreso de humedad a la zona interior.</p> <p>F.1 Capaz de soportar todos los ensayos establecidos en las normativas aplicables. F.2 Mantiene seguros a los componentes electrónicos interiores.</p>	<p>4.1 Buena visibilidad del dispositivo. 4.2 Apariencia discreta.</p> <p>R.1 El lado mayor de la base debe ser menor o igual a 130 [mm]. R.2 Altura máxima desde la base debe ser menor a 21 [mm]. R.3 El ángulo entre las caras inclinadas y la horizontal no debe ser mayor a 45 [°]. R.4 Tener volumen suficiente para contener a los componentes interiores.</p>

3.1.7. Lista de objetivos con pesos ponderados

Muchas veces el criterio del diseñador puede afectar negativamente al diseño de un producto debido a sus corazonadas. Es por esto, que se utiliza la escala relativa de Thomas Saaty [7], de la cual se obtienen los criterios necesarios para ordenar a los grupos y objetivos según la prioridad que tenga cada uno. Los cálculos detallados para la obtención de pesos relativos se muestran en el [Anexo 1](#).

A continuación, se presenta la Tabla 3 con los pesos ponderados obtenidos.

Tabla 3: Lista de objetivos con pesos ponderados

1 Desempeño (0,50)	3 Costos (0,20)
1.1 Resistente a la compresión (0,25).	3.1 Bajo costo de materiales (0,16).
1.2 Fácil de ensamblar (0,13).	3.2 Bajo costo de fabricación (0,04).
1.3 Buena visibilidad de luces LED (0,10).	
1.4 Fácil de instalar (0,02).	
2 Seguridad (0,28)	4 Apariencia (0,03)
2.1 No realiza daños en los neumáticos de los vehículos (0,21).	4.1 Buena visibilidad del dispositivo (0,02).
2.2 Ser seguro ante intentos de robo (0,06).	4.2 Apariencia discreta (0,01).

3.2. Análisis funcional

En esta sección se establecen las funciones del producto a diseñar. Para esto, se utilizan los modelos de caja negra y caja transparente, los cuales permiten transformar las entradas del sistema en las salidas que se desean.

3.2.1. Modelo de caja negra

Para el DMVI, el modelo de caja negra se enfoca en evaluar el rendimiento que tendrá sin la necesidad de conocer los detalles internos de su fabricación o componentes específicos. El enfoque se centra en cómo el DMVI se comporta frente a ciertas entradas y qué resultados produce en términos de resistencia y durabilidad.

Para las entradas se consideran los factores a los que el dispositivo se encuentra expuesto, como son las fuerzas externas producidas por los vehículos y las condiciones climáticas adversas que pueden producir cambios en las resistencias mecánicas o empeorar la visibilidad de las luces LED debido al desgaste del material. Mientras que como salidas el sistema entrega que la integridad estructural y la transmisión de la luz no deben ser alteradas en una gran medida respecto al desempeño inicial. El modelo de caja negra se muestra en detalle en la Figura 3.

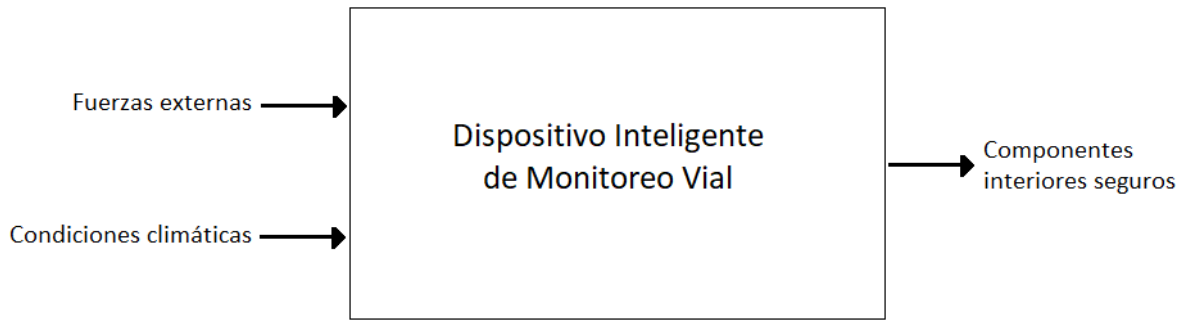


Figura 3: Modelo de caja negra

3.2.2. Modelo de caja transparente

Por otra parte, el modelo de caja transparente muestra las subfunciones que permiten transformar los flujos de entrada en los flujos de salida visualizados en el modelo de caja negra. En los recuadros de color rojo se presentan las etapas de diseño que engloban a las subfunciones que realiza el DMVI encerradas en los recuadros de color negro.

Las subfunciones y la relación entre ellas se muestran en la Figura 4.

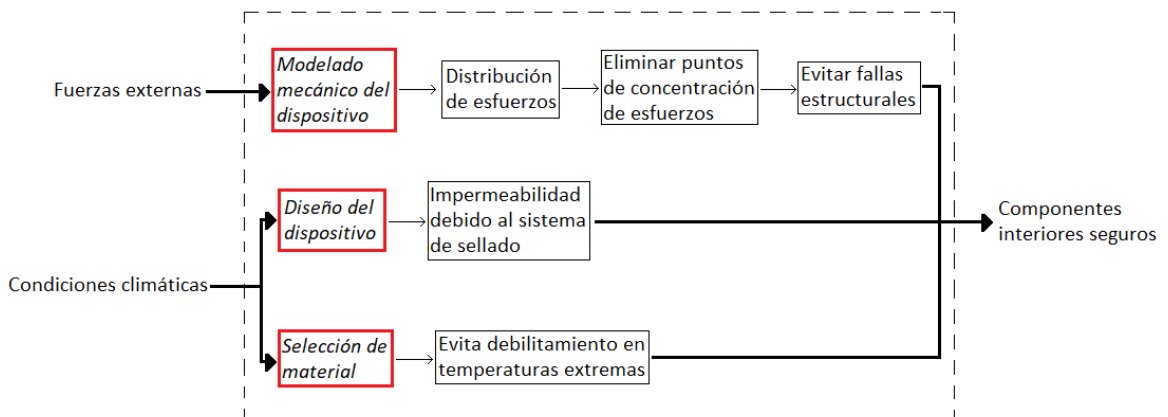


Figura 4: Modelo de caja transparente

Para que el sistema cumpla su función principal que es mantener seguros a los componentes interiores, se debe crear un modelo mecánico enfocado en distribuir los esfuerzos generados por las fuerzas externas producidas sobre el DMVI. De esta manera

se eliminan puntos que puedan concentrar esfuerzos críticos, evitando así fallas mecánicas en la estructura.

Por otra parte, las condiciones climáticas adversas se abordan gracias a un correcto diseño del dispositivo y a un análisis profundo en la selección del material, evitando así la debilitación mecánica de la estructura debido a temperaturas extremas. Mientras que el paso de humedad hacia el interior del dispositivo es denegado gracias al sistema de sellado que será definido en la fase de diseño correspondiente.

De esta forma, el modelo de caja transparente queda terminado teniendo como ingresos las fuerzas externas y las condiciones climáticas, mientras que como salida a los componentes interiores seguros.

3.2.3. Benchmarking

Un factor importante para el diseño del producto es realizar una comparación respecto a otros productos similares que se encuentren activos en el mercado. El benchmarking es una útil herramienta que permite establecer un abanico de soluciones para cada una de las funciones que debe desarrollar el producto a diseñar. A continuación, se muestra la información recolectada:

Primera configuración:

Dispositivo ubicado sobre el nivel del suelo y con una disposición de luces LED frontal al tránsito vehicular. Permite ser instalado fácilmente solo con el uso de adhesivos, y la distancia de visualización lumínica suele ser bastante alta. Este modelo en particular tiene una carcasa de policarbonato, mientras que la zona interior está conformada por pegamento epóxico.



Figura 5: Modelo competidor 1

Segunda configuración:

Dispositivo ubicado sobre el nivel del suelo, pero con un vástago en la zona inferior. Asegura una mayor estabilidad en su zona de instalación gracias al vástago inferior que va sujetado a una perforación hecha en el concreto, y también cuenta con uso de adhesivos. Cuenta con una disposición de luces LED frontal al tránsito vehicular, y normalmente el vástago está hecho de aluminio.



Figura 6: Modelo competidor 2

Tercera configuración:

Dispositivo subterráneo ubicado bajo el nivel del suelo. Cuenta con una distancia de visualización menor ya que la iluminación tiende a ser de manera vertical. Su instalación requiere de una perforación en el concreto y el uso de adhesivos para evitar el posible desprendimiento. Minimiza las fuerzas de impacto recibidas de manera horizontal.



Figura 7: Modelo competidor 3

Es importante destacar que las formas y materiales de los dispositivos pueden variar según las selecciones del fabricante, por lo que las imágenes mostradas deben ser utilizadas mayoritariamente para entender la disposición del dispositivo respecto al suelo, o la disposición lumínica generada hacia los vehículos.

Luego del análisis realizado anteriormente, se hace necesaria la evaluación de las configuraciones con respecto a los criterios de diseño definidos previamente. Para ello, se presenta la Tabla 4 como un resumen de las descripciones previamente mostradas. Mientras que en la Tabla 5 se presenta el benchmarking comparativo considerando los objetivos de diseño definidos al comienzo.

Tabla 4: Resumen comparativo benchmarking

Función/Característica	Configuración 1	Configuración 2	Configuración 3
Esquema			
Disposición respecto al suelo	Sobre el nivel del suelo	Sobre el nivel del suelo	Bajo el nivel del suelo
Disposición LED	Horizontal	Horizontal	Vertical
Presencia de vástago	No	Si	No
Carga máxima (Compresión estática)	20 Toneladas	20 Toneladas	20 Toneladas
Material	Policarbonato y Adhesivo epóxico	Aluminio y lentes de Policarbonato	Aluminio y lentes de Policarbonato

Tabla 5: Benchmarking comparativo

Objetivo	Uno	Dos	Tres
Resistente a la compresión	5	5	5
Fácil de ensamblar	2	3	3
Buena visibilidad de luces LED	5	5	3
Fácil de instalar	5	3	3
No realiza daños en los neumáticos de los vehículos	5	5	5
Ser seguro ante intentos de robo	5	5	2
Bajo costo de materiales	2	3	3
Bajo costo de fabricación	5	4	4
Buena visibilidad del dispositivo	5	5	3
Apariencia discreta	4	4	5
Promedio	4,3	4,2	3,6

Escala de puntaje	
5	Alto
3	Medio
1	Bajo

3.2.4. Lista de requerimientos

En la Tabla 6 se muestran los requerimientos específicos del diseño. Estos se dividen en requerimientos demandados (D), los cuales deben ser cumplidos a orden del cliente, y los requerimientos deseados (W), los cuales no son obligatorios en el diseño, pero aportan de manera positiva en su construcción final.

Tabla 6: Lista de requerimientos demandados y deseados

D W	Requerimientos
	1. Geometría
D	Lado mayor ≤ 130 [mm]
D	Altura máxima ≤ 21 [mm]
D	Ángulo desde la horizontal ≤ 45 [°]
D	Tener volumen suficiente
D	No permite el paso de humedad a la zona interior
W	Apariencia discreta
W	Ensamblaje amigable
	2. Fuerzas
D	Soportar cargas según norma D4280
W	Soportar 20 [Ton] en compresión
	3. Materiales
D	Temperatura de fusión $\gg 60$ [°C]
D	No ser un material metálico
D	Tener alta capacidad de transmisión de luz
W	Valores interesantes en las propiedades mecánicas
	4. Seguridad
D	No dañar neumáticos de los vehículos
D	Seguro ante intentos de robo
	5. Operación
D	Capaz de operar bajo condiciones climáticas adversas
	6. Mantenimiento
W	No requiere de mantenimiento
	7. Costos
D	Costos de materiales
D	Costos de fabricación

3.2.5. Matriz requerimientos-objetivos

En esta sección se presentan las relaciones existentes entre los objetivos de diseño definidos anteriormente y los requerimientos establecidos por el cliente los cuales se muestran en la Tabla 7. Esto se hace con la finalidad de demostrar que no existen objetivos que no tengan relación alguna con los requerimientos, justificando así la presencia de cada uno de estos.

Tabla 7: Matriz objetivo-requerimientos

Lado mayor <= 130 [mm]	●																			
Altura máxima <= 21 [mm]	●																			
Ángulo desde la horizontal <= 45 [°]	●																			
Tener volumen suficiente																				●
No permite el paso de humedad a la zona interior				●																
Apariencia discreta			●				●	●												●
Ensamblaje amigable			●																	●
Soportar cargas según norma D4280	●																			
Soportar 20 [Ton] en compresión	●																			
Temperatura de fusión >> 60 [°C]	●																			
No ser un material metálico				●									●	●						
Tener alta capacidad de transmisión de luz				●																●
Valores interesantes en las propiedades mecánicas	●												●							
No dañar neumáticos de los vehículos													●							●
Seguro ante intentos de robo													●							●
Capaz de operar bajo condiciones climáticas adversas				●																●
No requiere de mantenimiento	●																			
Costos de materiales																				●
Costos de fabricación																				●
Objetivos de diseño	Resistente a la compresión	0,25																		
	Fácil de ensamblar	0,13																		
	Buena visibilidad de luces LED	0,10																		
	Fácil de instalar	0,02																		
	No realiza daños en los neumáticos de los vehículos	0,21																		
	Ser seguro ante intentos de robo	0,06																		
	Bajo costo de materiales	0,16																		
	Bajo costo de fabricación	0,04																		
	Buena visibilidad del dispositivo	0,02																		
	Apariencia discreta	0,01																		
Peso ponderado																				

3.2.6. Despliegue de la función de la calidad

A continuación, se presenta el despliegue de la función de calidad QFD (Quality Function Deployment) [2] en la Figura 8. En este esquema, se observa una compilación de todos los puntos mencionados anteriormente y se establece el tipo de interacción entre ellos, lo que permite identificar los aspectos que generan conflictos. Para comprender el esquema QFD, es importante señalar los siguientes aspectos de su estructura:

En la parte superior se presentan las relaciones entre los requerimientos. Luego en la parte central, se muestran las relaciones entre los requerimientos y los objetivos, indicando según la escala correspondiente la fuerza de la relación entre estos conceptos. Finalmente, en la parte derecha se muestra un resumen del benchmarking con su respectiva escala. En la esquina superior izquierda se puede visualizar la leyenda, en donde se detalla cada símbolo propuesto en el esquema QFD.

3.2.7. Resolución de contraindicaciones de los requerimientos

Como resultado de la interpretación del esquema QFD se obtienen las contraindicaciones de los requerimientos del diseño, es decir, que la mejora de uno de ellos genera una consecuencia negativa en otro. Las contraindicaciones obtenidas se presentan en la Tabla 8, en donde se aplica la Teoría de Resolución de Problemas de Inventiva TRIZ [8] para solucionar esta problemática.

TRIZ constituye una herramienta sistemática empleada para abordar problemas de ingeniería de manera eficaz. Genrich Altshuller [8] es el creador de esta metodología, quien propone la existencia de 40 principios universales de invención derivados de un análisis de miles de patentes, agrupadas y comparadas para establecer recomendaciones que faciliten la superación de contradicciones técnicas [8]. De este modo, el uso de la herramienta TRIZ permite resolver la contradicción técnica identificada en el QFD presentado anteriormente.

Tabla 8: Solución de contraindicaciones de los requerimientos mediante TRIZ [8]

Problema particular	Problema general	Solución general	Solución particular
Dimensiones restringidas vs Volumen necesario	4. Longitud de un objeto inmóvil vs 8. Volumen de un objeto inmóvil	6. Universalidad	Hacer que el producto cumpla múltiples funciones para reducir la necesidad de espacio adicional.
No ser un material metálico vs Tener valores interesantes en sus propiedades mecánicas	35. Adaptabilidad o flexibilidad vs 14. Fortaleza	40. Materiales Compuestos	Utilizar materiales compuestos o híbridos que combinen la no presencia de metales con altas resistencias mecánicas

3.3. Generación de conceptos

En esta sección se desarrolla la generación del concepto del diseño. Para esto, se realiza una búsqueda de patentes y equipos referentes que cumplan con las funciones relacionadas al producto a diseñar.

Luego, se propone una carta morfológica en la cual se presentan las funciones descompuestas del producto, y se proponen diferentes configuraciones de soluciones que llevan a distintos conceptos que logran cumplir con las funciones demandadas.

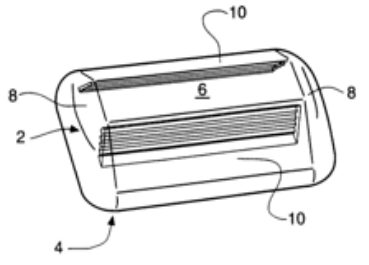
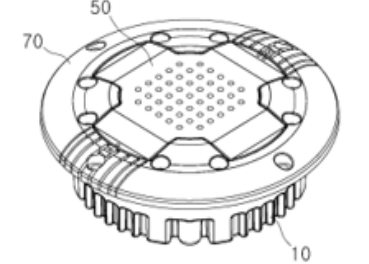
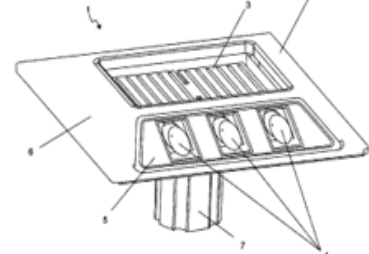
El siguiente paso en la generación de conceptos se conoce como Brainstorming [\[4\]](#), el cual cumple el objetivo de generar ideas y alternativas relacionadas a las funciones del dispositivo, para así encontrar distintas combinaciones de soluciones que permitan generar diversos conceptos de diseño, para luego ser seleccionado como concepto final.

3.3.1. Estudio de referentes

En esta sección se realiza una búsqueda de patentes de dispositivos y componentes que realicen la misma función o que tengan alguna característica del equipo que se está diseñando. Al ser una búsqueda internacional se asegura encontrar una gran variedad entre los dispositivos que pudieran existir. Para el caso de nuestro dispositivo, se debe considerar que no suelen estar conformados por demasiadas partes o piezas diferentes, por lo que el enfoque de este estudio de referentes es en la disposición respecto al suelo, y las diferentes alternativas de unión hacia el mismo.

En la Tabla 9 se pueden observar los resultados de la búsqueda. En cada una de las patentes se puede observar el número de la patente, la función que cumple y una breve descripción.

Tabla 9: Resumen búsqueda de patentes

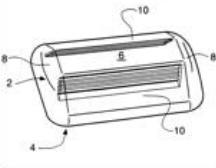
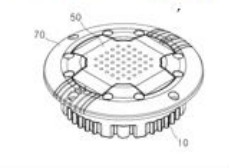





Figura	N° Patente	Descripción
	<p>WO1996029471A1</p>	<p>Dispositivo ubicado sobre el nivel del suelo con un sistema de unión basada solo en el uso de adhesivos. La iluminación está direccionada directamente hacia los vehículos transitantes.</p>
	<p>KR101754724B1</p>	<p>Dispositivo ubicado al mismo nivel del suelo con un sistema de unión basada en el uso de adhesivos y de una incrustación parcial o total de la tacha en un agujero perforado en el suelo. La iluminación está direccionada de manera perpendicular al suelo.</p>
	<p>US9697732</p>	<p>Dispositivo ubicado sobre el nivel del suelo con un sistema de unión basado en el uso de adhesivos y de un vástago largo introducido en un agujero perforado en el suelo. La iluminación está direccionada directamente hacia los vehículos transitantes.</p>

3.3.2. Carta morfológica

En la Tabla 10 se presenta la carta morfológica del diseño realizado. En ella se pueden observar las distintas alternativas para los sistemas que conforman el diseño.

En el dispositivo se pueden identificar dos funciones específicas, siendo la primera el tipo de unión de la base del dispositivo respecto al suelo, y la segunda es la disposición respecto al suelo.

Tabla 10: Carta morfológica

Función	Concepto			
Unión	Solo adhesivo 	Adhesivo + Incrustación 	Adhesivo + Vástago 	Mixta El sistema de unión considera nuevas opciones mediante el uso de los distintos métodos de adhesión
Disposición	Sobre el nivel del suelo	Bajo el nivel del suelo	-	Mixta Se considera una disposición sobre el nivel del suelo para las luces LED y una estructura bajo el nivel del suelo
Tipo de Material	Termoplásticos 	Aluminio 	Acero 	Compuestos 

3.3.3. Brainstorming

En la Figura 9 se visualiza el Brainstorming [9], el cual se desarrolla estableciendo un concepto principal, el cual se ramifica en diferentes aspectos o alternativas que componen el diseño en cuestión. De estos se derivan más opciones con el objetivo de disponer de varias alternativas a la hora de generar un concepto.

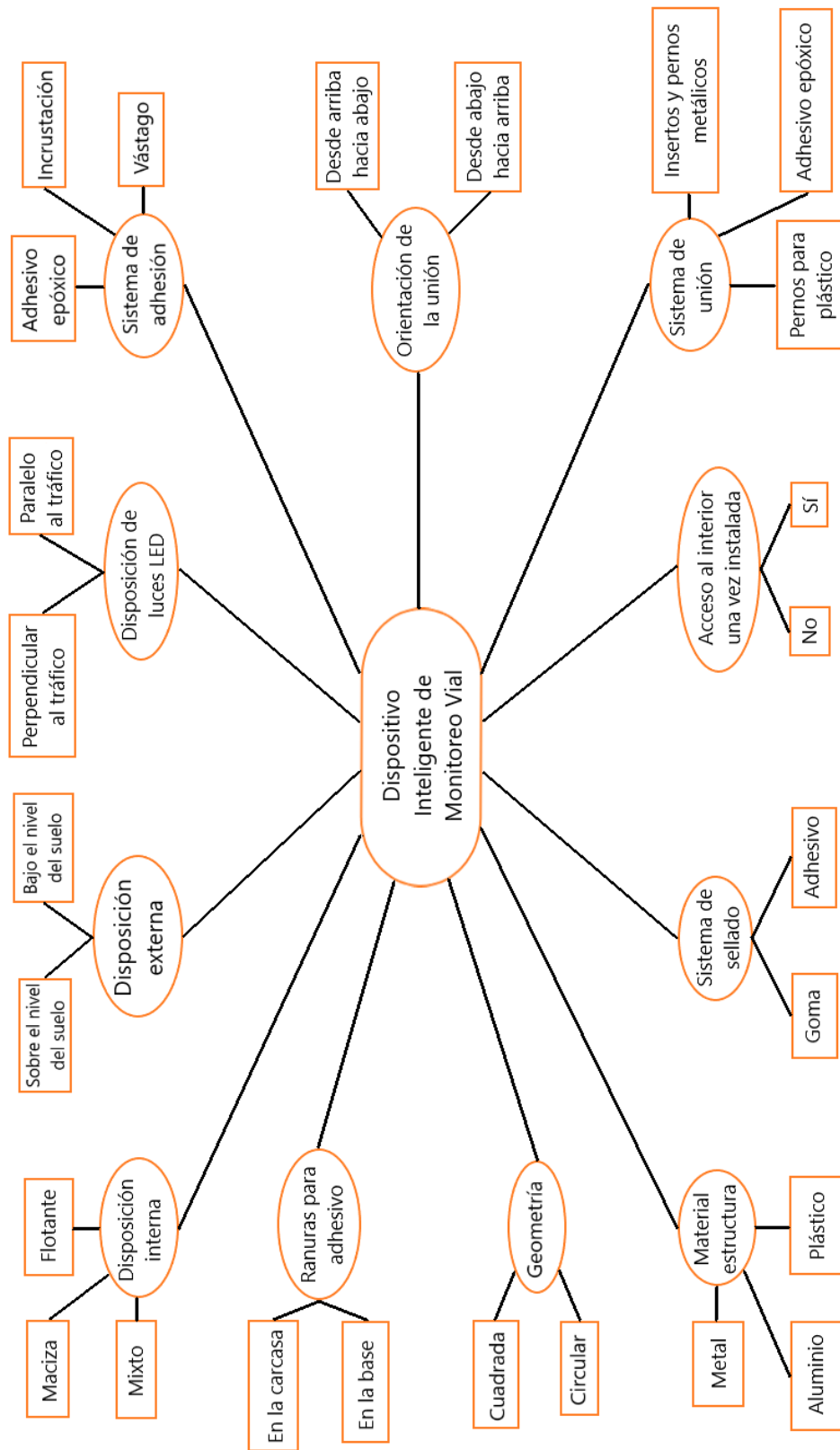


Figura 9: Brainstorming

3.3.4. Generación de conceptos

Gracias al análisis desarrollado hasta el momento se procede a generar conceptos que puedan cumplir con las funciones y objetivos antes mencionados.

A continuación, se indica una breve descripción de cada uno de los conceptos y se agrega una imagen referencial o boceto para entender de mejor manera la idea propuesta.

Concepto 1

Se elige un DMVI polímero de forma circular, pero con ranuras laterales que cumplen la función de sujetar a los pernos utilizados para la unión de la carcasa y la base plana. Dichos pernos van instalados desde arriba hacia abajo, y su hilo correspondiente va sujeto a insertos metálicos instalados en la base de la estructura. De esta manera, se puede acceder al interior del dispositivo sin la necesidad de remover la estructura de su posición actual. Sin embargo, las probabilidades de sufrir robos de los componentes interiores aumentan significativamente.

Al ser una base plana, se utilizará adhesivo epóxico para la unión del dispositivo y el suelo para minimizar las probabilidades de que el DMVI se salga de su posición de instalación. Al tener una disposición sobre el nivel del suelo, la dirección de iluminación de las luces LED será paralela al sentido del tráfico, por lo que su distancia de visualización será mayor.

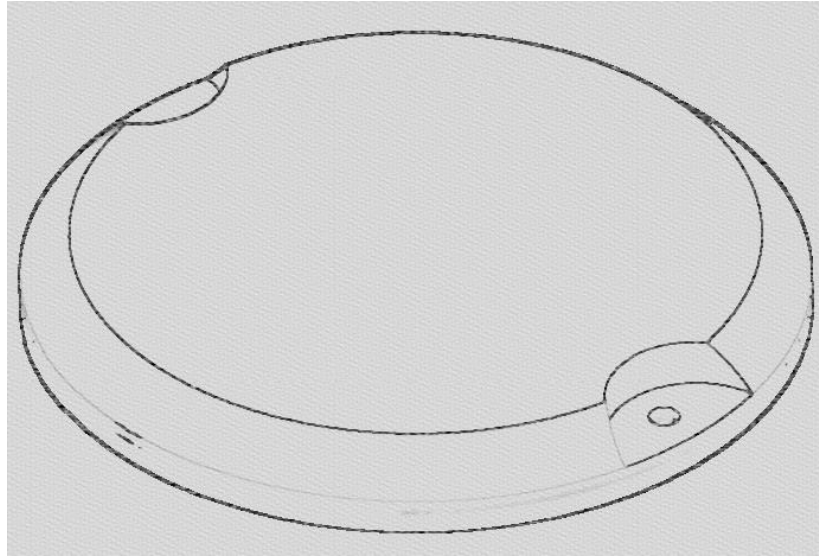


Figura 10: Concepto de diseño 1

Concepto 2

Se elige un DMVI plástico de forma circular completa y con una disposición bajo el nivel del suelo, siendo la única forma posible para esta disposición debido a que se requiere realizar una perforación en el pavimento, la cual solo puede ser circular. Dado que el desprendimiento del DMVI se reduce drásticamente al estar bajo el nivel del suelo, se utiliza adhesivo epóxico como sistema de unión entre la carcasa y la base del dispositivo, y también para la unión con el suelo.

Al encontrarse bajo el nivel del suelo, la dirección de iluminación de las luces LED será perpendicular al tráfico, por lo que la distancia de visualización disminuirá. Sin embargo, se evitan fuerzas generadas de manera perpendicular a las caras laterales del DMVI, por lo que se garantiza una mayor resistencia mecánica en general.

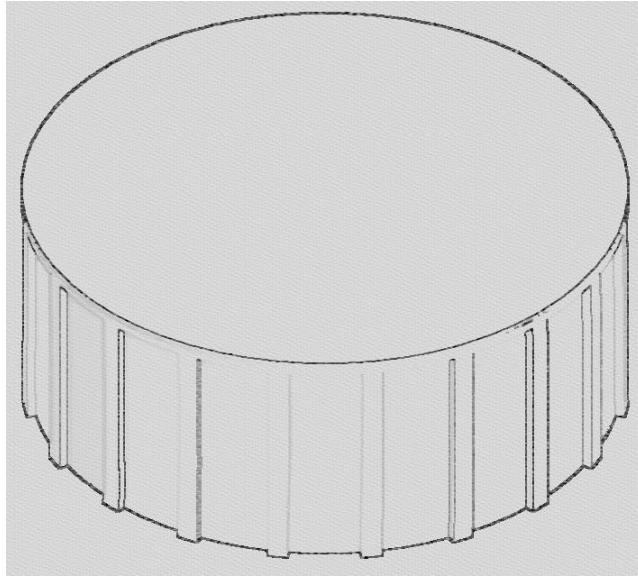


Figura 11: Concepto de diseño 2

Concepto 3

Se utiliza un modelo 3D entregado por Sun & Play, el cual consta de un DMVI de forma cuadrada con una disposición sobre el nivel del suelo. De esta manera, la dirección de iluminación de las luces LED es paralela al sentido del tráfico, garantizando una mayor distancia de visualización. Este modelo consta de una carcasa en la parte superior y una base con vástago de gran diámetro en la zona inferior. Ambas partes están compuestas por un plástico del cual no se tiene información certera.

La disposición existente entre la carcasa y la base del DMVI es de estilo flotante, lo cual indica que entre ambas partes existe una zona sin material. Dicho espacio está destinado a almacenar los elementos electrónicos interiores.

El sistema de unión entre la carcasa y la base del DMVI es mediante tornillos, mientras que el sistema de unión entre la base y el suelo es mediante la inserción del vástago en el pavimento, y se incluye el uso de adhesivo epóxico para asegurar la posición de instalación del dispositivo en el suelo.

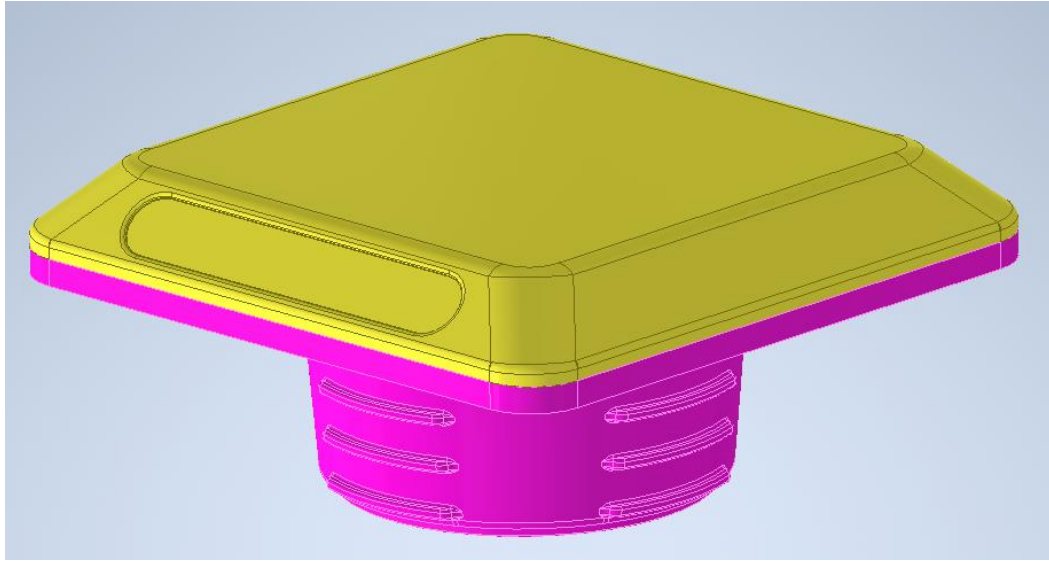


Figura 12: Concepto de diseño 3

3.4. Selección del concepto

En esta sección se presenta el proceso de selección del concepto del diseño que se desarrolla. Este proceso hace uso de los pesos ponderados establecidos en los capítulos anteriores para así realizar una evaluación y clasificación de los tres conceptos planteados en el punto anterior.

3.4.1. Método de selección de pesos ponderados

Los resultados obtenidos en la utilización de los pesos ponderados se muestran en la Tabla 11. En ella se pueden observar los objetivos de diseño propuestos en capítulos anteriores con sus pesos ponderados correspondientes. Así mismo, se pueden apreciar los distintos conceptos junto a una calificación individual de cada objetivo. De esta manera, se mide el desempeño de cada concepto para cada uno de los objetivos de manera individual.

Luego, se multiplica dicha calificación individual de los conceptos con los pesos ponderados para obtener nuevos valores de pesos ponderados, los cuales finalmente serán

sumados para obtener un puntaje total de desempeño en cada concepto. Mientras mayor sea el puntaje total obtenido, mayor será el desempeño general del concepto en cuestión.

Los resultados demuestran que el concepto 3 tiene un mayor puntaje de desempeño para la gran mayoría de los objetivos y requisitos solicitados por el cliente. Esto se debe principalmente a que su geometría cuadrada entrega una mayor superficie para posicionar los componentes electrónicos del interior, y la disposición sobre el nivel del suelo permite una buena visibilidad del DMVI. Así mismo, permite una mayor distancia de visualización de las luces LED.

En cuanto a los conceptos 1 y 2, se puede observar que tienen ciertos puntos a favor, como podrían ser el acceso al interior del DMVI sin necesidad de retirarlo completamente para el concepto 1, o una mayor facilidad de instalación debido a la base plana para el concepto 2. Sin embargo, no superan el puntaje total de desempeño alcanzado por el concepto número 3, por lo que se procede a continuar con el análisis de dicho concepto.

Tabla 11: Selección del concepto

	Peso	CONCEPTOS					
		Concepto 1		Concepto 2		Concepto 3	
Objetivos del diseño		Rate	Peso	Rate	Peso	Rate	Peso
Resistente a la compresión	0,25	4	1,00	4	1,00	4	1,00
Fácil de ensamblar	0,13	5	0,65	3	0,39	4	0,52
Buena visibilidad de luces LED	0,10	5	0,50	3	0,30	5	0,50
Fácil de instalar	0,02	5	0,10	3	0,06	3	0,06
No realiza daños en los neumáticos de los vehículos	0,21	4	0,84	5	1,05	4	0,84
Ser seguro ante intentos de robo	0,06	3	0,18	4	0,24	5	0,30
Bajo costo de materiales	0,16	3	0,48	3	0,48	5	0,80
Bajo costo de fabricación	0,04	4	0,16	4	0,16	4	0,16
Buena visibilidad del dispositivo	0,02	4	0,08	3	0,06	5	0,10
Apariencia discreta	0,01	4	0,04	5	0,05	4	0,04
Puntaje total		4,03		3,79		4,32	
RANKING		2		3		1	

Escala de puntaje	
5	Alto
3	Medio
1	Bajo

3.4.2. Análisis estructural del concepto

El análisis estructural se realiza en el software ANSYS, en específico la herramienta Static Structural con una cantidad de 68.155 elementos. Las condiciones de borde, fuerzas, materiales, y dimensiones requeridas se encuentran específicamente en el Volumen N°8, sección 8.602.23 del manual de carreteras, llamado “Seguridad vial: Método para determinar la resistencia a la compresión y flexo tracción de tachas reflectantes” [5].

A continuación, se incluyen representaciones visuales de las pruebas de tracción y compresión definidas en la normativa vigente tanto en una vista en despiece como una ensamblada:

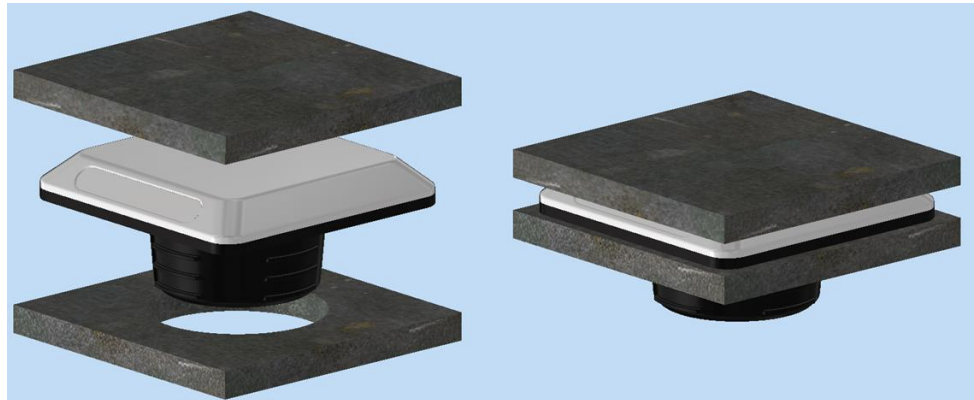


Figura 13: Prueba de compresión

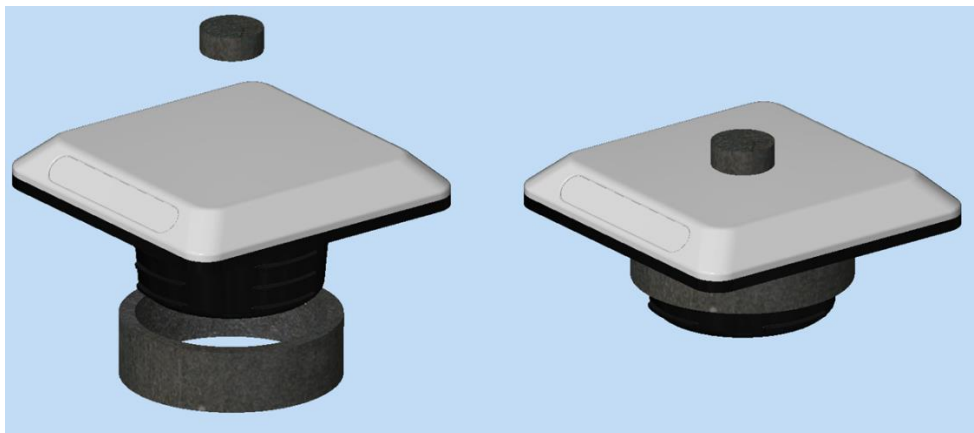


Figura 14: Prueba de tracción

A continuación, se puede apreciar en la Tabla 12 los resultados de las pruebas, que incluye valores mecánicos de interés como el factor de seguridad obtenido en las pruebas de compresión y tracción. Así mismo, en el [Anexo 2](#) se adjuntan imágenes de los resultados para tener una representación visual de las pruebas realizadas.

Tabla 12: Resultados análisis de esfuerzos

Pieza	Prueba	Factor de seguridad mínimo [-]
Carcasa	Compresión por normativa	1,61
	Flexotracción por normativa	0,26
Base	Compresión por normativa	0,94
	Flexotracción por normativa	0,39

Al analizar los resultados, se puede apreciar que este modelo del DMVI apenas cumple para la prueba de compresión definida en la normativa, con un factor de seguridad mínimo de 1,61 [-] para la carcasa y uno de 0,94 [-] para la base. Mientras que no alcanza a superar los valores mínimos requeridos para la prueba de tracción, obteniendo un factor de seguridad mínimo de 0,26 [-] para la carcasa y uno de 0,39 [-] para la base.

Esto deja en evidencia la falta de resistencias mecánicas del modelo planteado. Sin embargo, el volumen y distribución del espacio dentro del modelo son interesantes para el cliente, por lo que se decide generar un cuarto concepto que considere los aspectos positivos del concepto número 3, y mejore sus puntos débiles.

3.4.3. Generación de concepto justificado

En base al análisis realizado en el punto anterior, se genera un nuevo concepto el cual toma en cuenta las fortalezas y carencias del concepto número 3 para así generar un concepto mejorado en varios aspectos. A continuación, se presenta una breve descripción

del concepto número 4 el cual toma como referencia al concepto 3 pero busca mejorar sus debilidades.

Concepto 4

Se escoge un DMVI plástico de forma cuadrada, con una disposición sobre el nivel del suelo. Así mismo, la dirección de iluminación de las luces LED será paralela al sentido del tráfico, garantizando un mayor alcance de visualización.

El método de unión entre la base y el suelo será mediante la inserción de un vástago en el pavimento, y además se incluye uso de adhesivo epóxico para garantizar que se mantenga la posición de instalación del dispositivo. Mientras que el sistema de unión entre la carcasa y la base del dispositivo será mediante el uso de insertos metálicos para plástico y tornillos de acero inoxidable.

Finalmente, el cambio más importante se genera en la disposición interna del DMVI, en donde se cambia la disposición flotante a una maciza. De esta manera se busca mejorar la resistencia mecánica de la estructura, y por ende garantizar la seguridad de los elementos electrónicos interiores. A continuación, se incluye un boceto del concepto en la Figura 15.

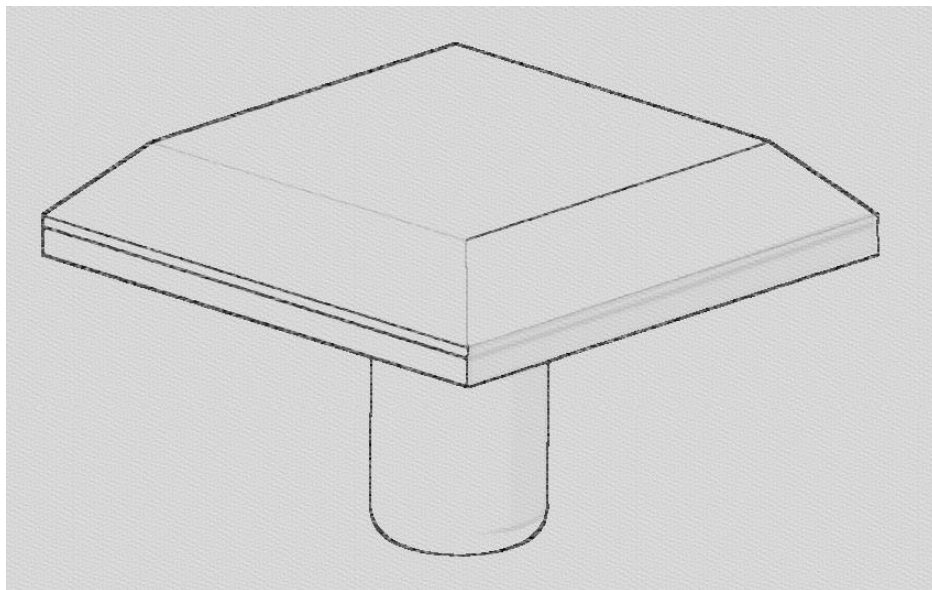


Figura 15: Concepto de diseño 4

CAPÍTULO 4. DISEÑO DE CONFIGURACIÓN

En esta sección se presenta el diseño de configuración, el cual tiene 3 etapas que lo conforman. La primera corresponde a la arquitectura del producto, en la cual se disponen los diferentes sistemas y subsistemas para que el producto cumpla con sus funciones. La segunda etapa corresponde a la configuración de partes y componentes, en donde se analiza cómo debe ser cada parte del producto para lograr cumplir sus funciones. Finalmente, la tercera etapa es el diseño paramétrico, en donde se definen las dimensiones físicas exactas, y se toman las decisiones finales sobre la selección de materiales y los procesos de fabricación correspondientes.

4.1. Arquitectura del diseño

4.1.1. Tipo de arquitectura

En la etapa del diseño conceptual, se ha definido que el producto consta de tres subsistemas que se unen entre sí. El primero es el que permite la unión de la base del dispositivo con el suelo, el segundo es el cuerpo del DMVI en sí, y el tercero es el que permite la unión entre el cuerpo y la base. Considerando estos tres subsistemas, se concluye que la arquitectura más apropiada para el producto es la arquitectura modular [1]. Además, teniendo en cuenta que los subsistemas no son intercambiables, es decir, que solo funcionan correctamente en una posición específica, se clasifica la arquitectura modular como del tipo ranura [1], ya que la interfaz entre módulos es diferente para cada conexión.

4.1.2. Definiendo la arquitectura

Con la finalidad de definir la arquitectura del producto, se presenta a continuación un diagrama que incluye las funciones, subfunciones y los componentes necesarios para

cumplir con estas. A su vez, los componentes son agrupados en ensamblajes o conjuntos según su semejanza.

La Figura 16 muestra el diagrama de funciones y componentes del producto.

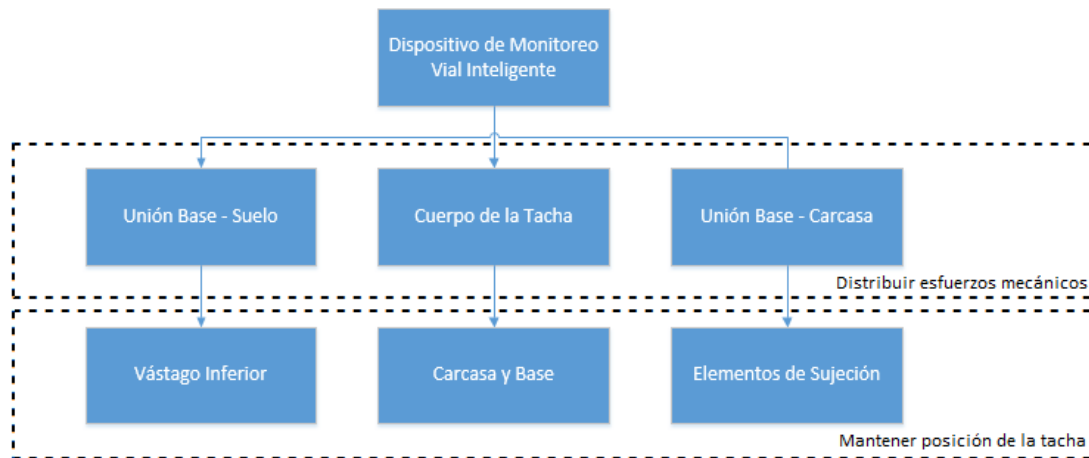


Figura 16: Diagrama de componentes y funciones de la arquitectura del dispositivo

4.2. Diseño de configuración

En esta primera parte se establecen las características básicas que deben tener los componentes, las cuales abarcan puntos como dimensiones físicas aproximadas, selección de materiales, etc.

Estas características se definen para todos los componentes, los cuales serán analizados de manera individual según su disponibilidad en el mercado. Para elementos complejos, se analizarán en el conjunto de componentes especializados. Mientras que para elementos más comunes se hará en el conjunto de componentes estándar.

4.2.1. Componentes especializados

Como se mencionó anteriormente, los componentes especializados se caracterizan por ser piezas de fabricación compleja, por lo que no pueden ser adquiridos de manera inmediata en el mercado. En este caso, los componentes especializados corresponden a la estructura del DMVI la cual se conforma por una carcasa superior y por una base inferior con vástago.

Como primera parte, se realizan bocetos de los componentes mencionados anteriormente para ayuda a la generación y definición de ideas.

Carcasa superior

Este componente se diseña en base a las dimensiones máximas permitidas en la normativa D4280. A su vez, se toma como referencia los fallos mecánicos producidos en el concepto 3 debido a la disposición interna flotante que existía entre la carcasa y la base, por lo que se decide generar un boceto con una disposición maciza. Esta diferencia de estilos se aprecia en el [Anexo 3](#).

Dicha disposición debe tomar en cuenta la geometría de los componentes electrónicos interiores, en donde se realizará un análisis para determinar cuáles componentes y sensores son mecánicamente débiles, y cuáles son más resistentes. De esta manera, se utilizan los componentes resistentes para distribuir en ellos los esfuerzos de manera conjunta con la carcasa y la base con la finalidad de disminuir la concentración de esfuerzos producida.

Se le dará una geometría base de forma cuadrada, a la cual se le aplicarán empalmes en las esquinas y aristas superiores con la finalidad de disminuir fuerzas cortantes en los neumáticos de los vehículos que transiten sobre el DMVI. Así mismo, debe llevar una ranura que rodee el contorno interior de la carcasa, en el cual se ubicará una goma de estilo “O-ring” que actuará como sistema de sellado hidráulico.

Finalmente, se designa una perforación en cada esquina de la carcasa, en donde irán ubicados los insertos metálicos para el sistema de unión entre la carcasa y la base del DMVI.

A continuación, se presenta en la Figura 17 un boceto para la carcasa del dispositivo.

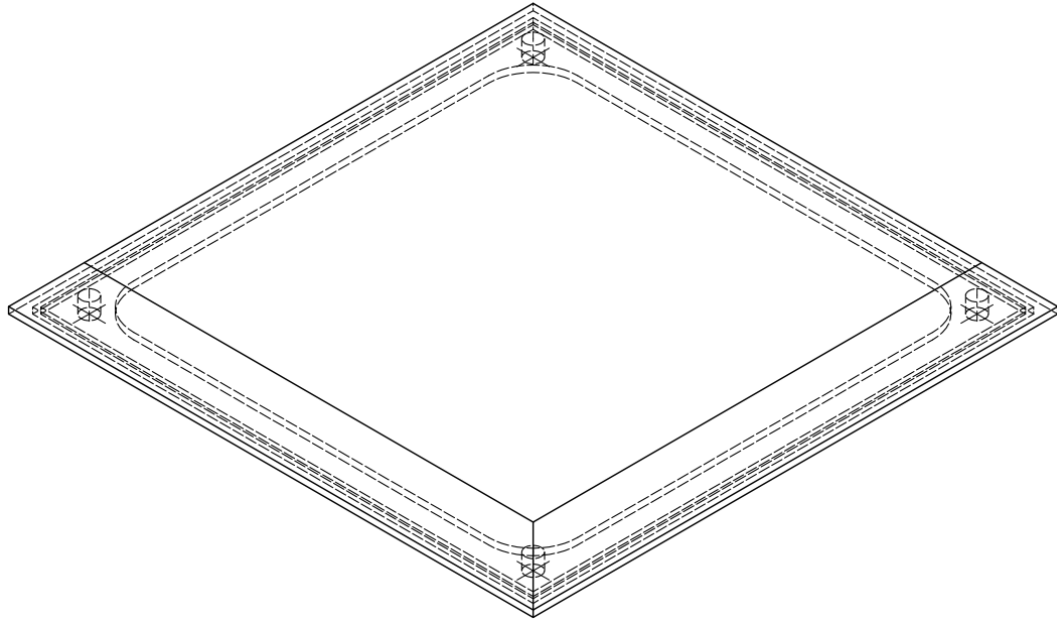


Figura 17: Boceto Carcasa Superior

Base inferior con vástago

Las dimensiones del contorno exterior de este componente están basadas en las de la carcasa superior, debido a que se desea tener una superficie de contorno coincidente entre ambas partes. Así mismo, se replica la ranura estilo “O-ring” implementada en la carcasa, alineando ambas ranuras con el objetivo de reforzar el funcionamiento del sistema de sellado hidráulico definido. De esta forma, la goma queda posicionada entre la base y la carcasa y evita el paso de humedad hacia el interior del dispositivo.

El vástago inferior será hueco y estará conformado del mismo material que la base. La finalidad de este espacio es contener el sistema de almacenamiento energético del DMVI.

Con la finalidad de facilitar el ensamblaje del DMVI, se deja un agujero entre la superficie exterior de la base y el vástago. Esto permitirá posicionar las células de energía desde arriba, evitando tener que implementar una especie de tapa en la zona inferior del vástago. Evitar el uso de tapas y secciones abiertas también realiza un aporte en disminuir la entrada de humedad al dispositivo.

Se considera agregar ranuras a lo largo del perímetro exterior del vástago con el objetivo de generar zonas de acumulación de adhesivo epóxico, aumentando así la adherencia al agujero perforado en el pavimento. Estas ranuras tienen una orientación vertical, ya que si fueran posicionadas de manera horizontal lo único que se consigue es que dichas ranuras empujen el adhesivo epóxico hacia abajo, desperdiciando así el material y disminuyendo la eficacia de la adhesión.

A continuación, se presenta en la Figura 18 un boceto para la base del dispositivo.

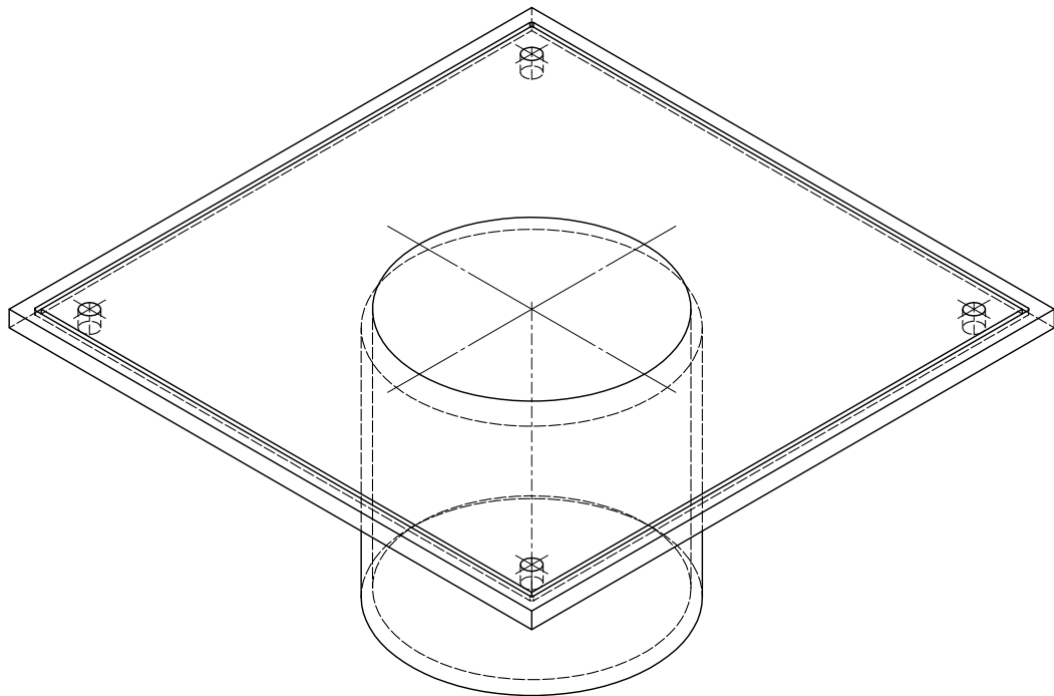


Figura 18: Boceto Base Inferior

Placa PCB

Se presenta en la Figura 19 un boceto de la placa PCB, el cual sirve como referente para las posteriores pruebas y análisis de esfuerzo realizados. La implementación de este modelo para la electrónica se hace necesario, ya que como se mencionó en puntos anteriores, las placas solares y la placa PCB aportan en la distribución de esfuerzos mecánicos.

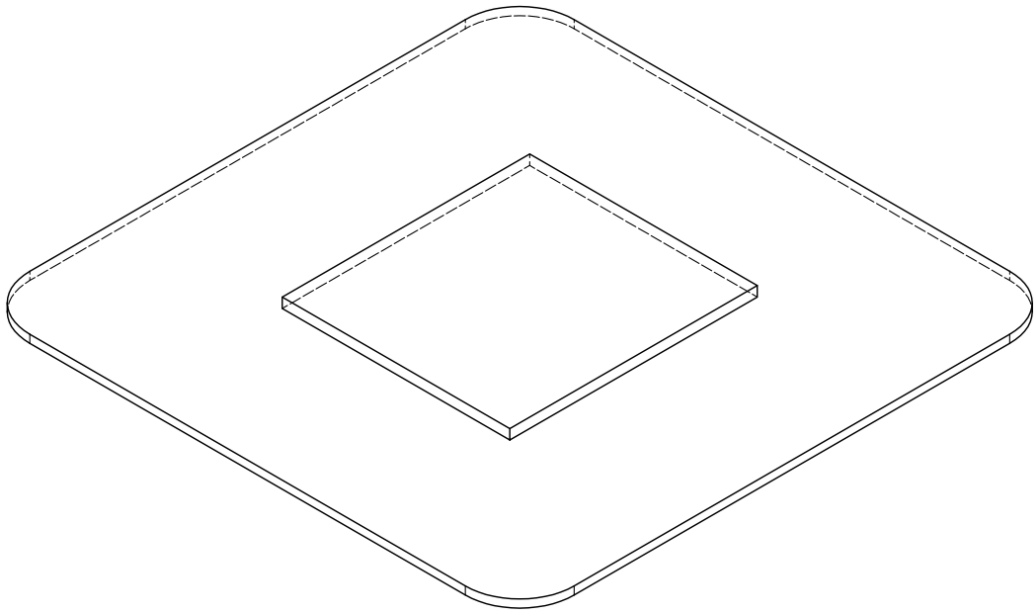


Figura 19: Boceto Placa PCB

Sello hidráulico

En la Figura 20 se incluye este componente que se diseña en base a las dimensiones de las ranuras establecidas en la carcasa y la base del DMVI. El ancho y forma específica de este componente se define posteriormente a la implementación de las ranuras en la carcasa y la base del DMVI.

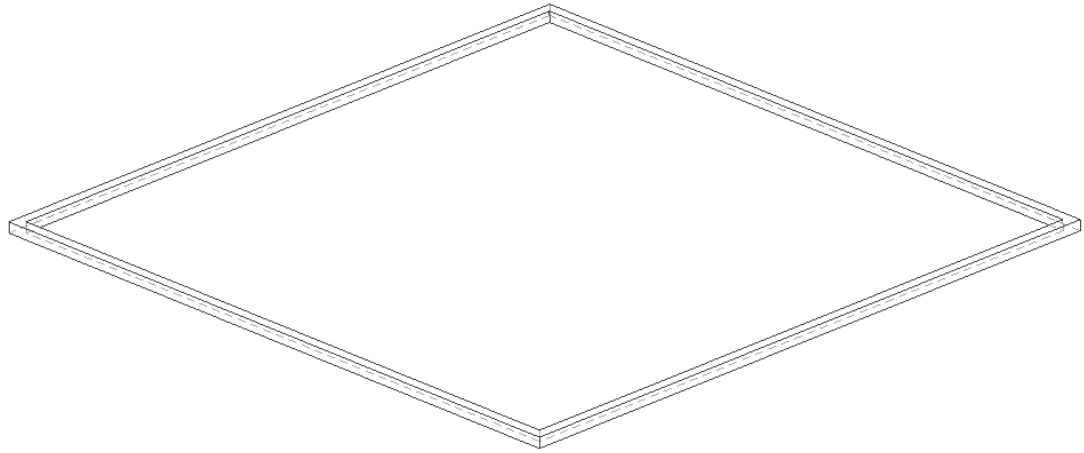


Figura 20: Boceto sello hidráulico

4.2.2. Componentes estándar

Insertos metálicos

Se instalarán en las perforaciones realizadas en las esquinas de la carcasa con el objetivo de reforzar el sistema de unión entre las piezas del DMVI. Esta inserción se realiza en caliente, lo que genera que el plástico se derrita en el contorno del inserto metálico. De esta manera se garantiza una buena adherencia y se evita el desprendimiento de estos elementos de la carcasa.

Las dimensiones de estos elementos dependerán espacio disponible en las esquinas de la carcasa. Sin embargo, los fabricantes de los insertos metálicos suelen dar información sobre el tamaño recomendado que deben tener las perforaciones para garantizar una buena instalación de los componentes.

Tornillos metálicos

Corresponden a los tornillos que serán instalados en los insertos metálicos de la carcasa. De esta manera no se utilizan tornillos para plástico que tienen una menor resistencia mecánica en general. Al ser componentes pequeños, no generan una interferencia

importante en las señales producidas por los componentes electrónicos interiores, por lo que no será un inconveniente en el funcionamiento del DMVI. Las dimensiones de los tornillos dependen de los insertos metálicos seleccionados y de las perforaciones realizadas en la carcasa y la base del DMVI.

Cabe mencionar que estos elementos deben ser seleccionados usando los criterios establecidos por la DGAC, es decir, usar catálogos de Norma Chilena o Normas Internacionales.

4.3. Diseño Paramétrico

En esta sección, y gracias a la información obtenida en el punto anterior, se toman las decisiones relacionadas con las tolerancias y dimensiones exactas para el DMVI. También, se hace un análisis para seleccionar los elementos de sujeción, materiales y procesos de fabricación de las diferentes piezas del dispositivo.

4.3.1. Selección de material y proceso de fabricación

Tomando en consideración las condiciones establecidas al principio de este trabajo, se desarrolla a continuación un análisis de selección de material, que hace enfoque en los polímeros transparentes debido a que cumplen con todas las condiciones iniciales. A continuación, se analiza cada punto a detalle:

Propiedades ópticas de los polímeros transparentes

Estas propiedades [\[10\]](#) se refieren a la forma en que estos materiales interactúan con la luz visible, es decir, con las longitudes de onda de la luz que son visibles con nuestros ojos. Las principales propiedades ópticas son transparencia, índice de refracción, dispersión, polarización y absorción.

A continuación, se adjunta la Tabla 13 que abarca distintos polímeros transparentes y sus correspondientes valores de transmisión lumínica, índice de refracción y el porcentaje de dispersión de la luz:

Tabla 13: Propiedades ópticas de los polímeros

Polímero	Transmisión [%]	Índice de refracción [-]	Dispersión [%]
PC	86-91	1.584	0.2-2.7
PMMA	89-92	1.49	0.1-2.6
PET	87-92.1	1.575	0.2-5.1
PETG	92	1.55	0.7
PVC	97	1.381	2.5
LSR	94	1.41	<1
COC	91	1.53	3
LDPE	4.4-94	1.476	3-12
Resina de ionómero	93.4	1.49	2.7-4.2
FEP	92	1.55	0.7
SMMA	89-92.8	1.59	0.3-1.0
SAN	86.2-89.3	1.57	0.4-2.8
GPPS	88-90	1.6	0.3-1.1
ABS Transparente	86	1.52	3

Procesos de fabricación para plásticos

Un proceso de fabricación para plásticos [11] es un conjunto de operaciones y técnicas utilizadas para transformar los polímeros en piezas o componentes útiles. Estos procesos pueden variar según el tipo de plástico utilizado, las características del producto final y las condiciones de fabricación. En general, los procesos de fabricación para plásticos implican la fusión del polímero y la conformación del material en una forma deseada mediante la aplicación de calor, presión o ambos.

Estos procesos se utilizan en la producción de una amplia variedad de productos, desde juguetes hasta piezas de automóviles, envases, electrodomésticos, entre otros. Algunos de

los procesos de fabricación más comunes son Moldeo por inyección, extrusión, moldeo por soplado, termoformado y moldeo por compresión.

Propiedades de interés de los materiales

Existen conceptos que son muy importantes en la industria de los materiales en general porque permiten comprender y caracterizar el comportamiento mecánico, térmico, eléctrico, físico y químico de los materiales. Estos parámetros son cruciales en la selección y diseño de materiales para diferentes aplicaciones, ya que determinan la capacidad del material para soportar cargas, resistir deformaciones, soportar altas temperaturas, conducir calor y electricidad, expandirse y contraerse con los cambios de temperatura, entre otros aspectos.

Las propiedades de los materiales [12] que son de interés en este trabajo son: densidad, módulo de Young, límite elástico, resistencia a la tracción, resistencia al agrietamiento, temperatura de fusión, y resistencia al impacto.

Ahora que se comprenden las propiedades de los materiales que tienen los termoplásticos mencionados anteriormente, se incluye la Tabla 14 que indica los valores [13] para cada propiedad antes mencionada con sus respectivas unidades de medida:

Tabla 14: Propiedades de los polímeros [13]

Termoplástico	Precio [US\$/kg]	Densidad [kg/m ³]	Módulo de Young [GPa]	Límite elástico [MPa]	Resistencia a la tracción [MPa]	Resistencia al agrietamiento [MPa* \sqrt{m}]	Temperatura de fusión [°C]
ABS	2.4 - 2.7	1000-1200	1.1 - 2.9	19 - 51	28 - 55	1.2 - 4.3	88 - 130
CA (Acetato de celulosa)	4.1 - 4.5	980-1300	1.6 - 2	25 - 45	25 - 50	1 - 2.5	-9 - 110
Ionómero	3.2 - 4.2	930-960	0.2 - 0.42	8.3 - 16	17 - 37	1.1 - 3.4	30 - 64
PA (Poliamida)	4.1 - 4.5	1100	2.6 - 3.2	50 - 95	90 - 170	2.2 - 5.6	44 - 56
PC (Policarbonato)	4.6 - 5.1	1100-1200	2 - 2.4	59 - 70	60 - 72	2.1 - 4.6	140 - 200
PEEK	94 - 100	1300	3.8 - 4	65 - 95	70 - 100	2.7 - 4.3	140 - 200
PE (Polietileno)	2.1 - 2.3	940-960	0.62 - 0.9	18 - 29	21 - 45	1.4 - 1.7	120 - 130
PET (Tereftalato de polietileno)	2.1 - 2.3	1300-1400	2.8 - 4.1	57 - 62	48 - 72	4.5 - 5.5	68 - 80
PMMA (Polimetilmetacrilato)	2.7 - 3	1200	2.2 - 3.8	54 - 72	48 - 80	0.7 - 1.6	85 - 160
POM (Polioximetileno)	3 - 3.3	1400	2.5 - 5	49 - 72	60 - 90	1.7 - 4.2	160 - 180
PP (Polipropileno)	2.1 - 2.4	890-910	0.9 - 1.6	21 - 37	28 - 41	3 - 4.5	150 - 170
PS (Poliestireno)	2.8 - 3.5	1000-1100	1.2 - 2.6	29 - 56	36 - 57	0.7 - 1.1	74 - 110
TP-PU (Termoplástico poliuretano)	4.1 - 4.6	1100-1200	1.3 - 2.1	40 - 54	31 - 62	1.8 - 5	60 - 90
PVC (Policloruro de vinilo)	2 - 2.2	1300-1600	2.1 - 4.1	35 - 52	41 - 65	1.5 - 5.1	75 - 100
PTFE	15 - 17	2100-2200	0.4 - 0.55	15 - 25	20 - 30	1.3 - 1.8	110 - 120

De la tabla anterior se visualiza que, a pesar de que todos los materiales forman parte de los termoplásticos, existe una gran variación para los distintos valores descritos. Con la finalidad de hacer una selección inteligente, se debe escoger un material que tenga el menor valor posible en precio [US\$/kg], y a su vez tenga los valores de resistencia [MPa] lo más alto posible.

Gracias a una inspección de los datos presentados en la tabla, se hace una selección de los diferentes materiales que son potenciales candidatos para la conformación del dispositivo. En este caso son: PA (Poliamida), PC (Policarbonato), PET (Tereftalato de polietileno), PMMA (Polimetilmetacrilato) y el POM (Polioximetileno).

Debido a las condiciones iniciales propuestas, se decide no trabajar con materiales que tengan una temperatura de fusión cercana a los 60 [°C], por lo que la PA y el PET quedarían descartados de la selección. También, se decide no trabajar con el PMMA ya que es uno de los termoplásticos que tiene el menor valor de resistencia al agrietamiento de la tabla junto al Poliestireno. Finalmente, la selección se reduce al Policarbonato (PC) y al Polioximetileno (POM), por lo que se realizará una comparativa directa entre estos dos termoplásticos:

Precio:

El POM tiene un valor medio de 3.15 [US\$/kg], mientras que el PC tiene un valor medio de 4.85 [US\$/kg]. Esto indica que el POM es aproximadamente un 35% más económico que el PC.

Densidad:

Considerando que el volumen del modelo será el mismo independientemente del material, esto implica que una mayor densidad significará una mayor masa total, lo cual se traduce en un costo de materiales mayor.

Esto se justifica por la fórmula de densidad que dice lo siguiente:

$$Densidad = \frac{Masa}{Volumen}$$

Es por esto, que el PC es más interesante que el POM ya que los valores de densidad son de 1150 [kg/m³] y 1400 [kg/m³] respectivamente. Esto dice que un modelo conformado por PC requiere aproximadamente un 18% menos masa que uno conformado por POM.

Módulo de Young:

Para el Módulo de Young, se tiene que el valor mínimo para ambos materiales es bastante cercano, pero el valor máximo que pueden llegar a tener es muy distinto. El rango para el

PC es de 2 – 2.4 [GPa], mientras que para el POM es de 2.5 – 5 [GPa]. De esta manera, se tienen valores más interesantes para el POM.

Límite elástico:

Para el límite elástico, hay una ventaja para el Policarbonato. Esto debido a que el rango del PC es de 59 – 70 [MPa], mientras que para el POM es de 49 – 72 [MPa]. De esta manera se tiene un valor mínimo más interesante para el PC, y un valor máximo muy similar para ambos termoplásticos.

Resistencia a la tracción:

Para la resistencia a la tracción, existe una ventaja para el POM. Esto se debe a que el rango del PC es de 60 – 72 [MPa], mientras que para el POM es de 60 – 90 [MPa]. De esta manera, se tiene un valor mínimo muy similar para ambos termoplásticos, pero un mayor valor máximo para el POM.

Resistencia al agrietamiento:

En el caso de la resistencia al agrietamiento, la ventaja se la lleva el PC, teniendo valores que comprenden un rango de 2.1 – 4.6 [MPa* \sqrt{m}], mientras que el POM comprende un rango de 1.7 – 4.2 [MPa* \sqrt{m}].

Temperatura de fusión:

Para la temperatura de fusión no se define una clara ventaja de un termoplástico sobre otro. Esto se debe a que ambos tienen un valor de al menos 140 [°C], lo cual significa que no tendrán variaciones importantes en sus resistencias mecánicas a los 60 [°C] que se podrían alcanzar en la carretera.

En general, los valores mecánicos de cada material indican que las resistencias son bastante similares entre estos dos materiales, teniendo un mejor límite elástico mínimo para el PC, y una mayor resistencia a la tracción máxima para el POM. Sin embargo,

mediante la búsqueda de información se tiene que la resistencia al impacto del PC es mucho más alta que la del POM, teniendo los siguientes valores:

Termoplástico	Impacto Charpy [J/m^2]	Impacto Izod [J/m]
PC	600 – 900	700 – 1000
POM	250 – 700	200 - 600

Finalmente se tiene el aspecto óptico, en donde el POM tiene una mayor opacidad, y si bien se puede procesar el material para aumentar la transmisión de la luz que permite, este nunca será tan transparente como el PC.

Ahora, se calcula cuál material es más económico entre ambos candidatos. Esto es necesario ya que si bien el costo en [US\$/kg] es menor para el POM, se aprecia que debido a la diferencia entre las densidades de los materiales existe una mayor eficiencia para el PC en términos de masa.

Para realizar los cálculos correspondientes, se toma como ejemplo una caja con un volumen de 1 [m^3] (ya que el volumen del modelo será independiente del material seleccionado), y la fórmula vista anteriormente indica que:

$$Densidad = \frac{Masa [kg]}{Volumen [m^3]}$$

Termoplástico	Volumen [m^3]	Densidad [kg/m^3]	Precio [US\$/kg]	Masa [kg]	Costo caja [US\$]
POM	1	1400	3,15	1400	4410
PC	1	1150	4,85	1150	5578

Entonces, se desprende de los cálculos que el costo final del POM será menor que el costo final del PC. Ahora, se usa otra fórmula para determinar el porcentaje:

$$\text{Porcentaje de eficiencia} = \left[\frac{(\text{Valor más eficiente} - \text{Valor menos eficiente})}{\text{Valor menos eficiente}} \right] * 100$$

$$\text{Porcentaje de eficiencia} = \left[\frac{(4410 - 5578)}{5578} \right] * 100$$

$$\text{Porcentaje de eficiencia} = -20,93\%$$

El porcentaje de eficiencia del POM respecto al PC en términos de precio por metro cúbico es aproximadamente de -20,93%. Esto indica que el POM es aproximadamente un 20,98% más eficiente en términos de costo por metro cúbico en comparación con el PC.

En conclusión, el precio del POM es un 21% menor que el del PC, las resistencias mecánicas son bastante similares entre ambos materiales, y la resistencia al impacto del PC es mucho más alta que la del POM. Si a esto se le suma la ventaja óptica que tiene el PC al ser transparente, definitivamente el mejor termoplástico para la fabricación de nuestro modelo es el Policarbonato. Esto considerando que se decida asumir el 21% de costo a cambio de obtener mejores resistencias generales del material.

4.3.2. Definición de dimensiones

Como se mencionó en capítulos anteriores, las dimensiones de contorno máximas del DMVI vienen limitadas según la normativa aplicable D4280. Sin embargo, las dimensiones de ranuras y extrusiones de corte interiores del modelo se rigen por las dimensiones de los componentes electrónicos que van posicionados entre la carcasa y la base del dispositivo.

Estos elementos electrónicos son de tamaños generalmente pequeños, pero que varían según la función que desempeñan. Es por esto, que se definen las dimensiones de cada componente en el [Anexo 4](#), en donde se aprecia la lista de componentes, las dimensiones

exactas de cada uno, y una breve explicación de las funciones que desempeñan dentro del dispositivo.

A continuación, se visualiza en la Tabla 15 un resumen de los componentes electrónicos y sus dimensiones de interés medidas en milímetros (mm) y definidas por Largo (L), Ancho (A) y Alto (Al).

Tabla 15: Dimensiones Componentes Electrónicos

Elemento	Dimensiones L x A x Al [mm]
Acelerómetro IIS2DH	2,0 x 2,0 x 1,0
Módulo LoRa-E5	14,3 x 14,3 x 2,5
Sensor VEML7700	6,8 x 2,4 x 3,0
Celdas solares IXOLARTM	50,0 x 23,0 x 2,1
Antena	46,0 x 15,0
Banda LED zona superior	38,0 x 4,0 x 4,0
Banda LED zona inferior	30,0 x 4,0 x 3,0
Placa PCB FR4	110,0 x 110,0 x 1,6
Supercapacitores	46,0 x 23,0 x 55,0
Conector	10,0 x 13,0 x 6,0
Microchips varios	29,0 x 29,0 x 2,0

4.3.3. Agrupación de componentes electrónicos

Considerando las fallas mecánicas vistas en el análisis estructural del concepto número 3, es que se decide implementar una disposición de estilo maciza en el diseño final. Sin embargo, existe una gran cantidad de componentes electrónicos del DMVI que carecen de altas resistencias mecánicas, por lo que no pueden ser utilizados para distribuir esfuerzos a lo largo de la estructura del dispositivo.

Debido a esto, es que se hace necesario establecer cuáles son los componentes que pueden aportar en la distribución de esfuerzos (resistentes), y cuáles son los componentes que deben estar aislados de fuerzas mecánicas para así proteger su integridad (sensibles). Gracias al punto anterior y al análisis de componentes se presenta la siguiente Tabla 16 en donde se agrupan los elementos según sus resistencias mecánicas generales.

Tabla 16: Diferenciación Componentes Electrónicos

Elemento	Agrupación
Acelerómetro IIS2DH	Sensible
Módulo LoRa-E5	Sensible
Sensor VEML7700	Sensible
Celdas solares IXOLARTM	Resistente
Antena	Resistente
Banda LED	Sensible
Placa PCB FR4	Resistente
Supercapacitores	Sensible
Conector	Sensible
Microchips varios	Sensible

4.3.4. Dimensiones generales individuales

En esta sección se toman las decisiones correspondientes a las dimensiones generales de las partes involucradas y se incluyen representaciones visuales de los modelos 3D finales seleccionados.

4.3.4.1. Carcasa

La carcasa superior presentada en la Figura 21 está destinada a asegurar los elementos sensibles del interior gracias a sus altas resistencias mecánicas. Es por esto que se define

una extrusión de corte en donde irá encajada la placa PCB, aislando así los elementos sensibles de las posibles deformaciones que pudieran producirse.

Mientras que los elementos electrónicos interiores que se encuentran en la categoría de “Resistente” están en contacto directo con la carcasa, los elementos sensibles tienen contacto cero con la estructura, estableciendo una distancia mínima de 0,5 [mm] entre el componente sensible y el material estructural del dispositivo.

La carcasa tiene unas dimensiones generales de 130,0 [mm] x 130,0 [mm]. El espesor de la carcasa se define mediante iteraciones realizadas en la simulación de esfuerzos, obteniendo que la dimensión que mejor se desempeña y abarata costos es de 11 [mm].

El espesor de la extrusión de corte tiene el mismo espesor que la placa PCB y el resto de los elementos electrónicos interiores. Las cuatro perforaciones de las esquinas comparten un diámetro de 5,5 [mm] y están hechas de una forma que facilita la instalación de los insertos metálicos para plástico seleccionados. La ranura rectangular de la carcasa tiene como función establecer una zona segura para la banda de luces LED, y sus dimensiones corresponden a 40 x 4,5 x 5 [mm].

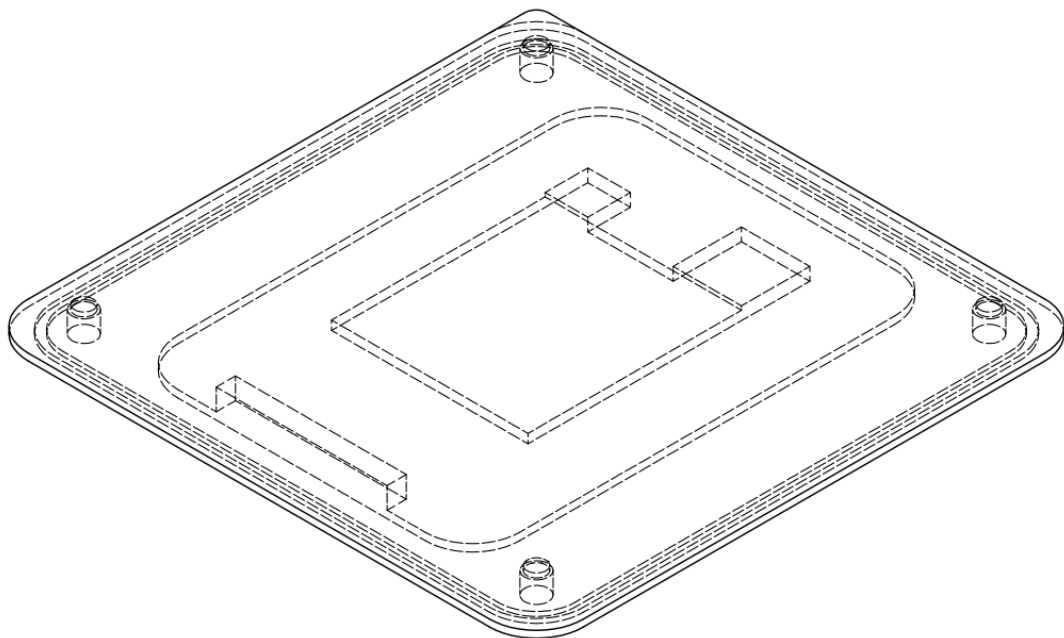


Figura 21: Imagen carcasa final

4.3.4.2. Base

La base inferior con vástago presentada en la Figura 22 está destinada a almacenar las unidades energéticas del dispositivo. Es por esto que se define una extrusión de corte que comparte las dimensiones de dos paquetes de unidades energéticas, es decir, 46 [mm] de largo y ancho.

Otra función que desempeña la base es mantener la posición de instalación del dispositivo, por lo que se establece un vástago con un diámetro de 60 [mm], lo cual permite tener zonas gruesas de material, incrementando la resistencia mecánica de la base. Esta extrusión de 60 [mm] de diámetro también permite posicionar a los microchips de la cara inferior de la placa PCB, generando así una zona segura de contacto cero entre dichos elementos sensibles y la estructura del dispositivo.

Las dimensiones generales de la base se comparten con las de la carcasa para tener un acabado superficial congruente entre ambas partes, por lo que se replican las dimensiones de 130,0 [mm] x 130,0 [mm]. El espesor de la base se define mediante iteraciones realizadas en la simulación de esfuerzos, obteniendo que la dimensión que mejor se desempeña y abarata costos es de 4 [mm].

La ranura rectangular de la base tiene como función establecer una zona segura para la banda de luces LED, y sus dimensiones corresponden a 32 x 4 x 3 [mm].

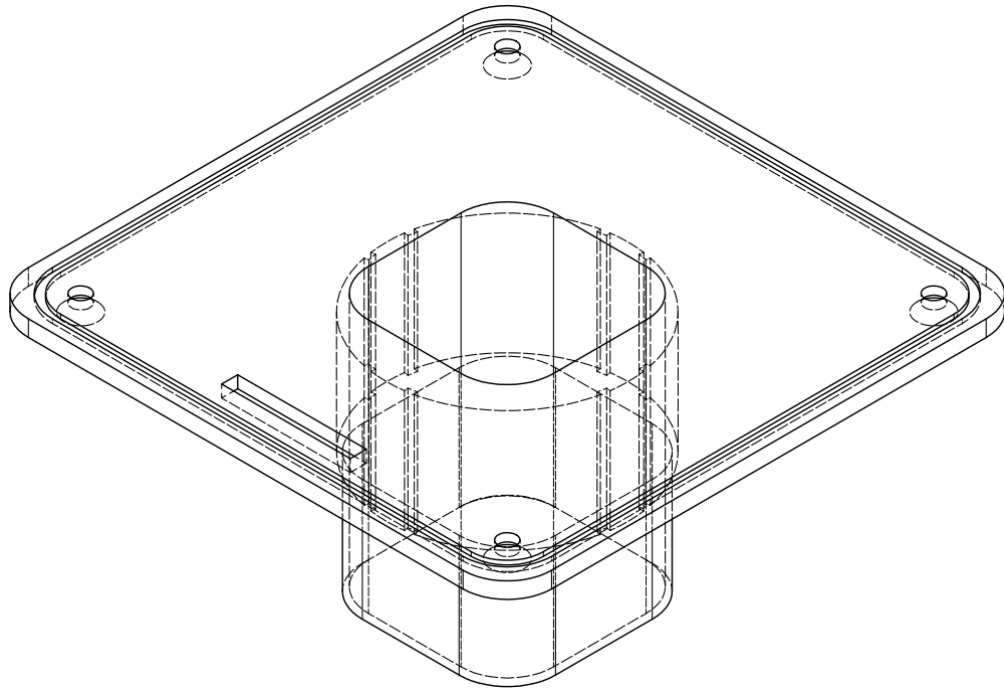


Figura 22: Imagen base final

4.3.4.3. Electrónica interior

En la Figura 23 se presenta un modelo referencial de la electrónica interior para visualizar con mayor facilidad el posicionamiento de los elementos sensibles. El uso de este modelo genera un gran impacto en la simulación de esfuerzos, ya que la placa compuesta de FR-4 y las placas solares generan un apoyo importante en las resistencias mecánicas del dispositivo.

Se establecen unas dimensiones generales de 110 [mm] x 80 [mm] x 1,7 [mm], junto con las dimensiones específicas de cada elemento posicionado sobre la placa de FR-4.

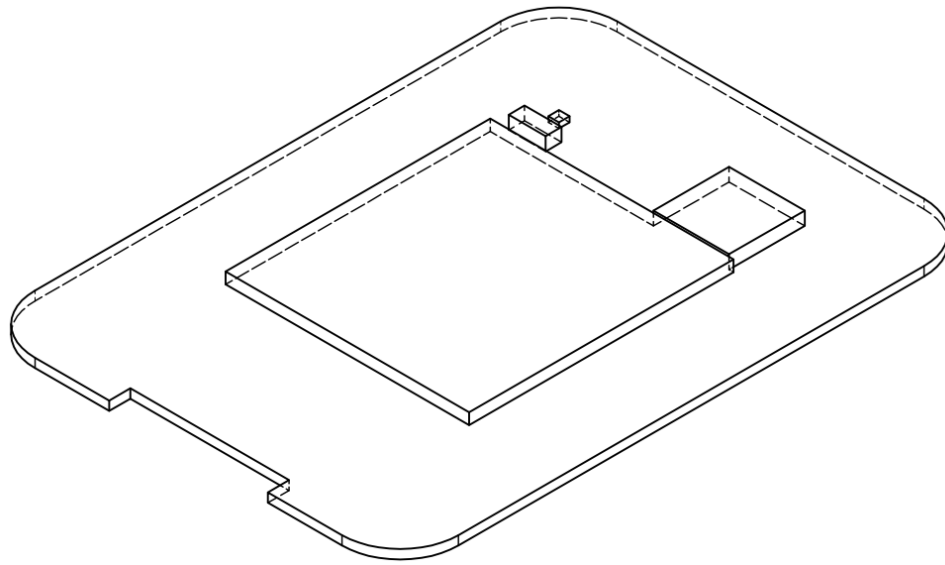


Figura 23: Imagen electrónica final

4.3.4.4. Elementos de sujeción

Para asegurar la unión entre las diferentes piezas del dispositivo, se incorpora un inserto metálico en cada perforación realizada en la carcasa superior. Se hace necesaria la implementación de estos elementos ya que el hilo trabajado en plástico no garantiza el desempeño requerido. Estos insertos metálicos están conformados por latón y son para pernos M4.

En dichos insertos metálicos van posicionados tornillos M4 de cabeza plana. De esta manera, quedarán alineados con la superficie inferior de la base, evitando zonas discontinuas. A continuación, se presentan las Figuras 24 y 25 para estos elementos de sujeción.

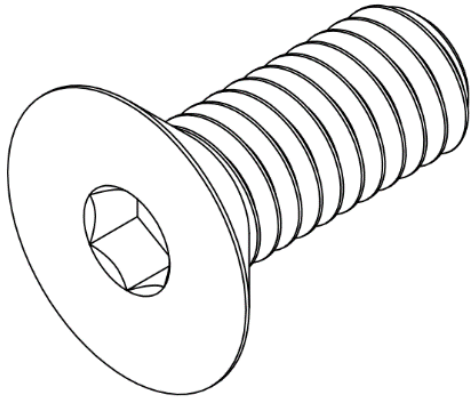


Figura 24: Imagen tornillo M4

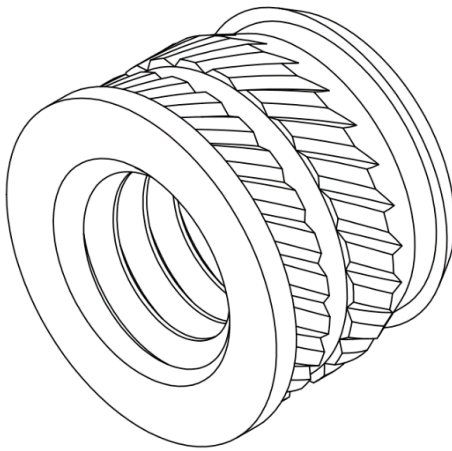


Figura 25: Imagen inserto metálico

CAPÍTULO 5. DISEÑO DETALLADO

En esta sección se presenta la fase final del diseño, en donde se consideran las dimensiones, materiales seleccionados, y planos de los componentes y conjunto del diseño. También, se incluyen los cálculos de costos asociados a la compra y manufactura de las partes que conforman el dispositivo.

Finalmente, se hace una revisión general del diseño que toma en consideración los objetivos definidos al comienzo de este trabajo para evaluar el cumplimiento de los requisitos establecidos por el cliente.

5.1. Análisis de esfuerzos

En esta sección se presentan los resultados obtenidos para las pruebas de compresión y flexo tracción descritas en la normativa del manual de carreteras. Estas pruebas se realizan en el ensamblaje completo del dispositivo en el software ANSYS, en específico la herramienta Static Structural con una cantidad de 61.979 elementos. Las condiciones de borde, fuerzas, materiales, y dimensiones requeridas se encuentran específicamente en el Volumen N°8, sección 8.602.23 del manual de carreteras, llamado “Seguridad vial: Método para determinar la resistencia a la compresión y flexo tracción de tachas reflectantes” [5].

Se analizan los resultados obtenidos para la deformación máxima y factor de seguridad mínimo para cada una de las piezas del dispositivo, en las diferentes pruebas realizadas. En el [Anexo 5](#) se presentan imágenes que permiten visualizar el comportamiento de cada pieza en las pruebas correspondientes a compresión y flexo tracción.

A continuación, se visualizan las Figuras 26, 27, 28 y 29 que representan al ensamblaje completo sometido a las pruebas tal y como se detalla en el manual de carreteras [5], con una visualización en despiece y otra ensamblada.

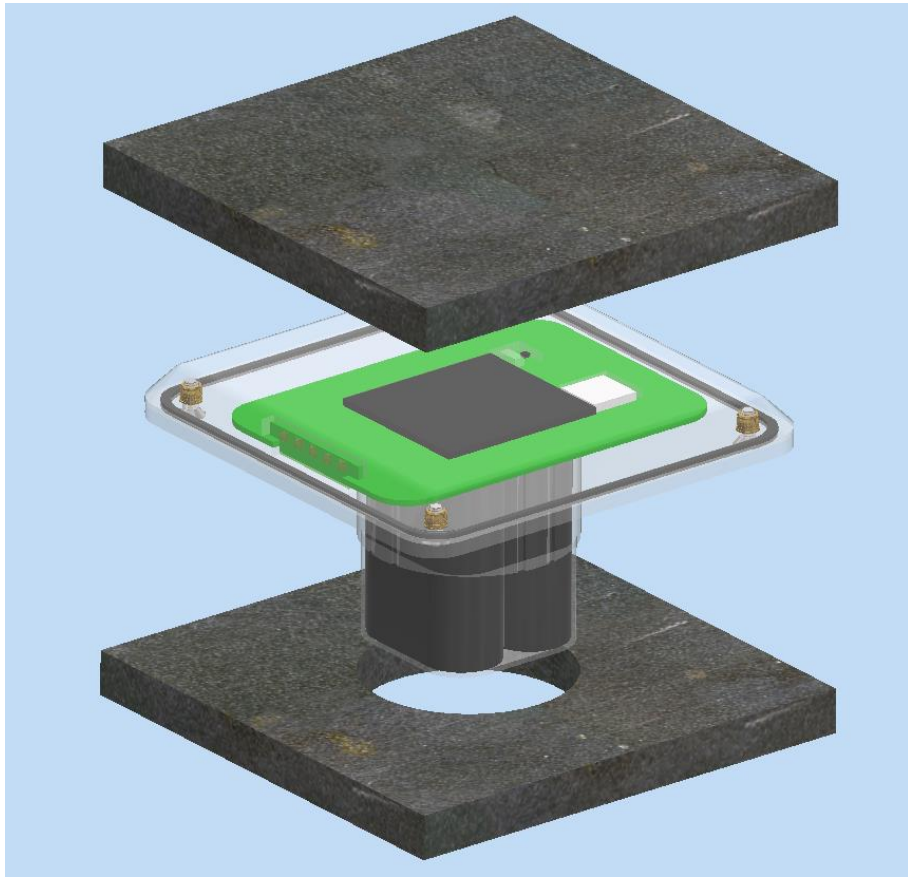


Figura 26: Prueba compresión en despiece

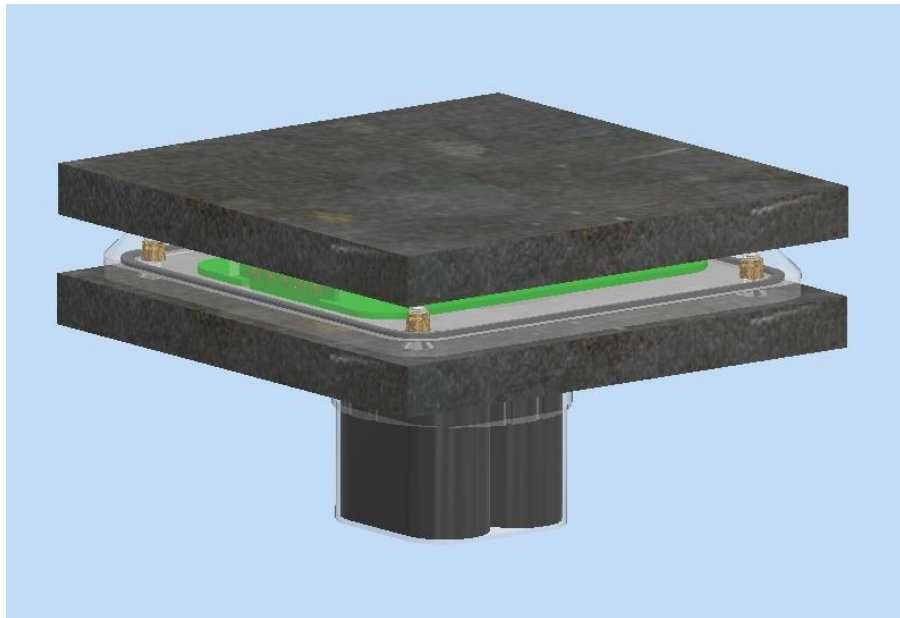


Figura 27: Prueba compresión ensamblada

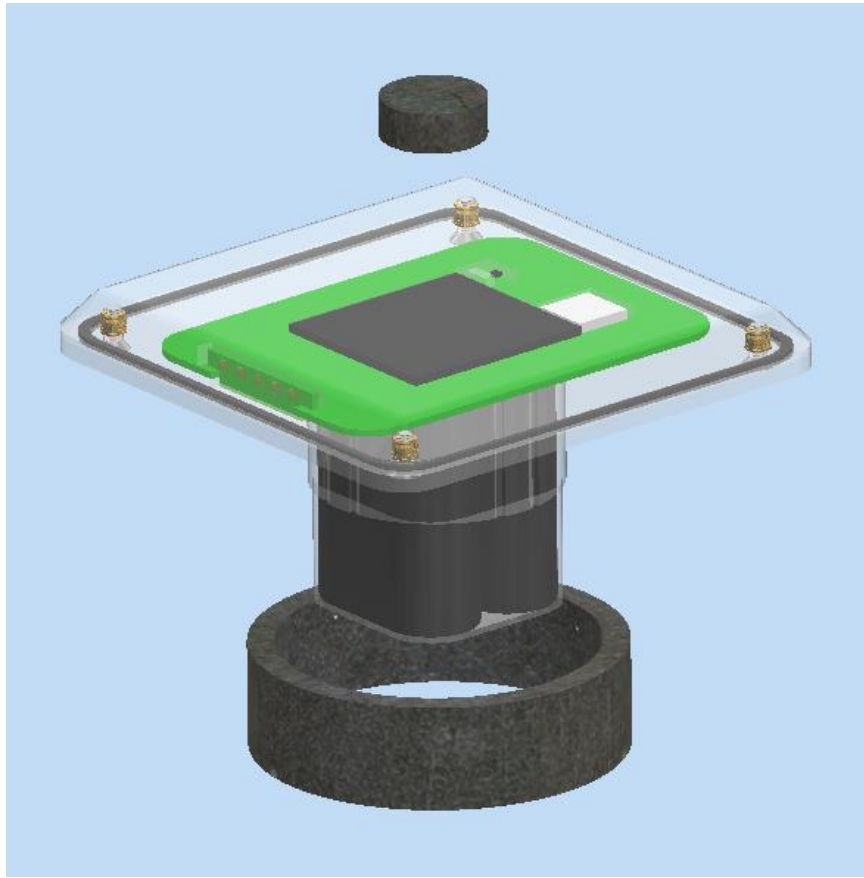


Figura 28: Prueba tracción en despiece

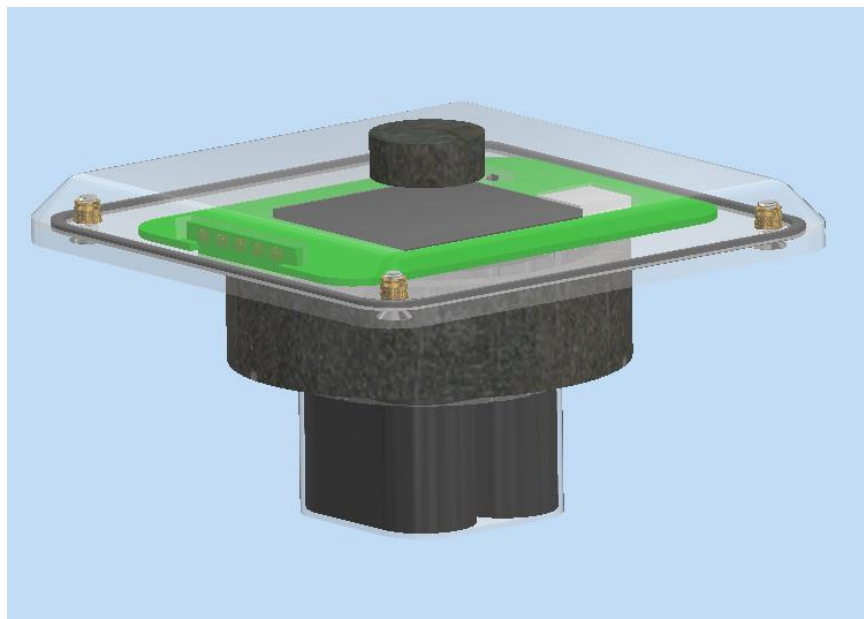


Figura 29: Prueba tracción ensamblada

De los resultados obtenidos se desprende la Tabla 17, la cual permite visualizar los valores de factor de seguridad mínimo y deformación máxima correspondiente a cada pieza y prueba en particular.

Tabla 17: Resultados Análisis de Esfuerzo

Pieza	Prueba	Factor de seguridad mínimo [-]	Desplazamiento máximo [mm]
Carcasa	Compresión Normativa	12,09	0,016
	Flexotracción Normativa	1,58	0,301
	Compresión 32 [Ton]	1,02	0,197
Base	Compresión Normativa	15,00	0,006
	Flexotracción Normativa	2,38	0,147
	Compresión 32 [Ton]	1,63	0,072
PCB	Compresión Normativa	15,00	0,006
	Flexotracción Normativa	6,09	0,301
	Compresión 32 [Ton]	1,95	0,075

Se concluye de estos resultados que la carcasa, la base y la placa PCB muestran resultados positivos en las pruebas de compresión y flexo tracción de acuerdo con las normativas vigentes, incluida la prueba de compresión a 32 toneladas.

La carcasa cumple con los requisitos mínimos establecidos en la normativa, que especifica una deformación máxima de 0,016 [mm] para la prueba de compresión y una deformación máxima de 0,301 [mm] para la prueba de flexo tracción. Además, se logra un factor de seguridad mínimo de 1,02 [-] y una deformación máxima de 0,197 [mm] en la prueba de compresión a 32 toneladas, obteniendo la capacidad máxima que puede soportar el dispositivo.

La base exhibe un comportamiento satisfactorio en todas las pruebas, sin deformaciones significativas ni factores de seguridad insuficientes, demostrando que cumple con los estándares establecidos.

En cuanto a la placa PCB, se observan altos valores de factor de seguridad y deformaciones máximas mínimas en todas las pruebas, incluida la prueba de compresión a 32 toneladas. Esto indica que los elementos electrónicos destinados a apoyar la distribución de esfuerzos no experimentan deformaciones significativas ni presentan riesgos en términos de factores de seguridad, cumpliendo así con uno de los objetivos clave del modelo.

5.2. Esquema 3D conjunto diseñado

Finalmente, una vez que se han diseñado en detalle todas las piezas que componen el dispositivo de monitoreo vial, en la Figura 30 se presenta un esquema del ensamblaje de las piezas. En él se puede apreciar que gracias al proceso iterativo realizado en el diseño de detalle en conjunto con el cliente se cumplen con los requisitos y parámetros propuestos, y se obtienen valores de resistencias mecánicas interesantes respecto a los requisitos solicitados por el cliente.

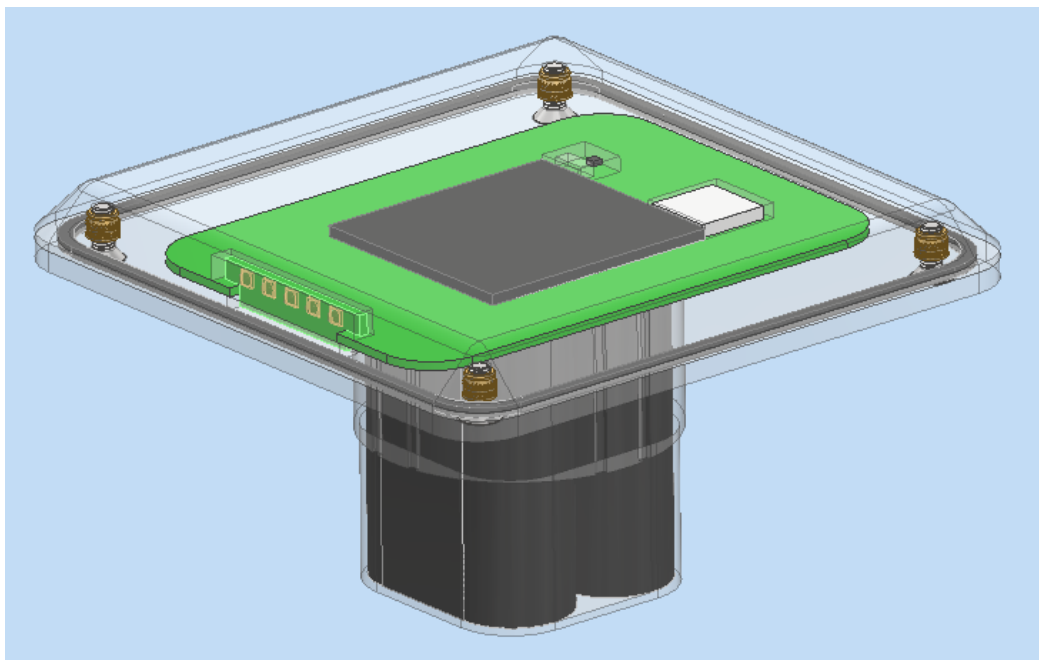


Figura 30: Imagen ensamblaje completo

CAPÍTULO 6. RESULTADO DEL DISEÑO

En esta sección se presentan los planos de fabricación desarrollados como resultado final del diseño de detalle. Además, en la Tabla 18 se presentan los procesos de fabricación correspondientes a cada una de las piezas en conjunto con la masa, costo del material, y costo aproximado de la pieza. De este análisis se deduce que el peso aproximado del dispositivo es de unos 0,280 [kg] sin considerar los tornillos, insertos metálicos, la electrónica interior, ni el sello hidráulico.

Tabla 18: Detalle costos componentes

Pieza	Masa [kg]	Costo material [CLP/kg]	Costo Unidad [CLP]	Nro. Piezas [-]	Costo final [CLP]
Carcasa	0,171	\$ 4.351	\$ 744	1	\$ 744
Base	0,109	\$ 4.351	\$ 474	1	\$ 474
Tornillo M4	0,001	-	\$ 83	4	\$ 332
Inserto Metálico	0,001	-	\$ 170	4	\$ 680
Sello hidráulico	0,002	-	\$ 100	1	\$ 100
TOTAL	0,284	\$ 8.702	\$ 1.571	11	\$ 2.330

El desglose de mecanizados y costos para los componentes principales del DMVI tiene como objetivo proporcionar una primera aproximación al proyecto en términos de fabricación. Es importante tener en cuenta que hay factores que no se están considerando en este análisis, principalmente debido a la falta de información, como los costos de mano de obra en talleres, costos de mecanizados especiales, acabados superficiales, entre otros. De igual manera, se considera que el proceso de fabricación es mediante la utilización de moldes, por lo que en gran medida ese será el costo más importante en la producción del dispositivo.

CAPÍTULO 7. EVALUACIÓN DEL DISEÑO

Ahora que ya está terminado el diseño del dispositivo de monitoreo vial inteligente, se procede a evaluar el cumplimiento de cada uno de los requerimientos y objetivos definidos al comienzo de este trabajo.

A continuación, se presenta la Tabla 19 con una lista de los atributos iniciales indicando si se cumplieron o no en el modelo diseñado según lo solicitado por el cliente.

Tabla 19: Evaluación de atributos iniciales

Atributo Inicial	Resultado
Fácil de ensamblar	✓
Fácil de instalar	✓
El lado mayor de la base de la tacha debe ser menor o igual a 130 [mm]	✓
El ángulo entre las caras de la tacha y la horizontal no debe ser mayor a 45 [°]	✓
Altura máxima de la tacha desde la base debe ser menor a 21 [mm].	✓
No estar conformada por materiales metálicos	✓
Estructura con alta capacidad de transmisión de la luz	✓
Bajo costo de materiales	✓
Bajo costo de fabricación	✓
Capaz de soportar todos los ensayos establecidos en las normativas aplicables	✓
Capaz de soportar hasta 20 Toneladas en compresión	✓
Tener volumen suficiente para contener a los componentes interiores	✓
Mantiene seguros a los componentes electrónicos interiores	✓
No debe permitir el ingreso de humedad a la zona interior	✓
La estructura debe conservar su resistencia a temperaturas cercanas a los 60 [°C]	✓
Ser seguro ante intentos de robo	✓
Resistente a la compresión	✓
No realiza daños en los neumáticos de los vehículos	✓
Buena visibilidad de las luces LED	✓
Apariencia discreta	✓
Buena visibilidad del dispositivo	✓

Gracias al cumplimiento de los requisitos iniciales establecidos por el cliente, se logra desarrollar un modelo que satisface las expectativas de la compañía. En consecuencia, el producto se considerará como un prototipo viable que podrá ser sometido a las pruebas especificadas en la normativa actual en un centro de pruebas. Este proceso permitirá validar el rendimiento del dispositivo conforme a la norma D4280, posibilitando su utilización tanto a nivel nacional como internacional.

Conclusiones

Durante la elaboración de este proyecto se hizo un análisis de diversos aspectos que, gracias a la metodología de diseño aplicada, evolucionaron hasta finalizar en el diseño definitivo del DMVI.

Dentro de la fase conceptual, la definición y agrupación de los atributos iniciales fue una tarea clave que, luego de ser exitosamente apoyada por metodologías como la QFD y TRIZ, permitió obtener un concepto de trabajo inicial que cumpliera con las necesidades del cliente.

Durante el diseño de configuración se utilizó un software de modelado 3D para desarrollar el concepto inicial. Luego de varias iteraciones y toma de decisiones, se obtuvo la forma final del dispositivo.

En la fase correspondiente al diseño detallado, se realizó un análisis de esfuerzos en ANSYS, lo que permitió evaluar el comportamiento del dispositivo para verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos de manera inicial.

Se concluye entonces el proceso de diseño del dispositivo con una evaluación de los atributos iniciales definidos al comienzo del trabajo, obteniendo resultados favorables para todos los puntos de interés. Se finaliza con un modelo del dispositivo apto para ser considerado un prototipo, el cual será analizado en un centro de pruebas para confirmar que su rendimiento sea similar al obtenido en los análisis de esfuerzos realizados en este trabajo.

Cabe mencionar que a lo largo del trabajo realizado existieron ciertas dificultades relacionadas, por ejemplo, a la utilización de los softwares de modelamiento. Las limitaciones de las licencias de los programas o de las capacidades de los equipos son un factor de importancia en este tipo de trabajos ya que influyen en la calidad de los

resultados y el tiempo necesario para obtenerlos. Sin embargo, la libertad que otorgan en aspectos de variedad de funciones y materiales permiten apaciguar otras dificultades que se pudieran encontrar en caso de no contar con su disponibilidad.

Como recomendaciones para ampliar el alcance del proyecto, se contempla la implementación de un sistema que permita elevar la temperatura del dispositivo cuando este tenga una disminución drástica. De esta manera, se podría derretir la nieve que se acumulara en la superficie del dispositivo, lo cual aseguraría mantener su visibilidad hacia los conductores.

También, se sugiere llevar a cabo un análisis de las normativas actuales en otros países para determinar la posibilidad de realizar ajustes necesarios en el modelo. Esto facilitará que el dispositivo cumpla con las regulaciones de un mayor número de países, permitiendo su comercialización a una escala más amplia.

Bibliografía

- [1] E. Dieter & L. Schmidt, Engineering Design., 2009.
- [2] Yoji Akao & Glenn H. Mazur, Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design., 1990.
- [3] Clayton R. Paul, Introduction to Electromagnetic Compatibility., 1992.
- [4] Henry W. Ott, Electromagnetic Compatibility Engineering., 2009.
- [5] Dirección de Vialidad, Manual de Carreteras., 2022.
- [6] ASTM United States, Standard Specification for Extended Life Type, Nonplowable, Raised Retroreflective Pavement Markers., 2000.
- [7] Thomas Saaty, The Analytic Hierarchy Process (AHP)., 1990.
- [8] Genrich Altshuller, 40 Principles: TRIZ Keys to Technical Innovation de Genrich., 1998.
- [9] C. Coon & D. Marshall B. Handley, Principles of Engineering., 2012.
- [10] Jean-Michel Nunzi, Optics of Polymers., 1995.
- [11] Charles A. Harper, Plastics Materials and Processes: A Concise Encyclopedia., 2003.
- [12] Joseph E. Shigley & Charles R. Mischke, Mechanical Engineering Design., 2022.
- [13] Mike Ashby, Material property data for engineering materials., 2021.

Anexos

Anexo 1: Tablas pesos ponderados ([sección 3.1.7.](#))

Se presenta el detalle del cálculo de ponderación por criterios de categorización de objetivos:

Criterio		1	2	3	4	Total	Peso Relativo
Desempeño	1	1	5	8	10	24	0,50
Seguridad	2	0,25	1	4	8	13,25	0,28
Costos	3	0,125	0,25	1	8	9,375	0,20
Apariencia	4	0,1	0,1	0,2	1	1,4	0,03
Gran total						48,025	1,00

Escala	
1	Igual importancia
5	Mas importante
10	Mucho más importante
1/5	Menos importante
1/10	Mucho menos importante

A continuación, se muestra el detalle de los cálculos para los pesos ponderados de cada uno de los objetivos de diseño según la categoría en que se clasifican. Cabe mencionar que para este proceso se utiliza la misma escala de valores representada anteriormente:

1. Desempeño (0,50)							
Criterio	1.1	1.2	1.3	1.4	Total	Peso relativo	Peso absoluto
1.1	1	5	7	10	23,00	0,51	0,25
1.2	0,25	1	3	8	12,25	0,27	0,13
1.3	0,20	0,50	1	7	8,70	0,19	0,10
1.4	0,10	0,14	0,17	1	1,41	0,03	0,02
Gran total					45,36	1,00	0,50

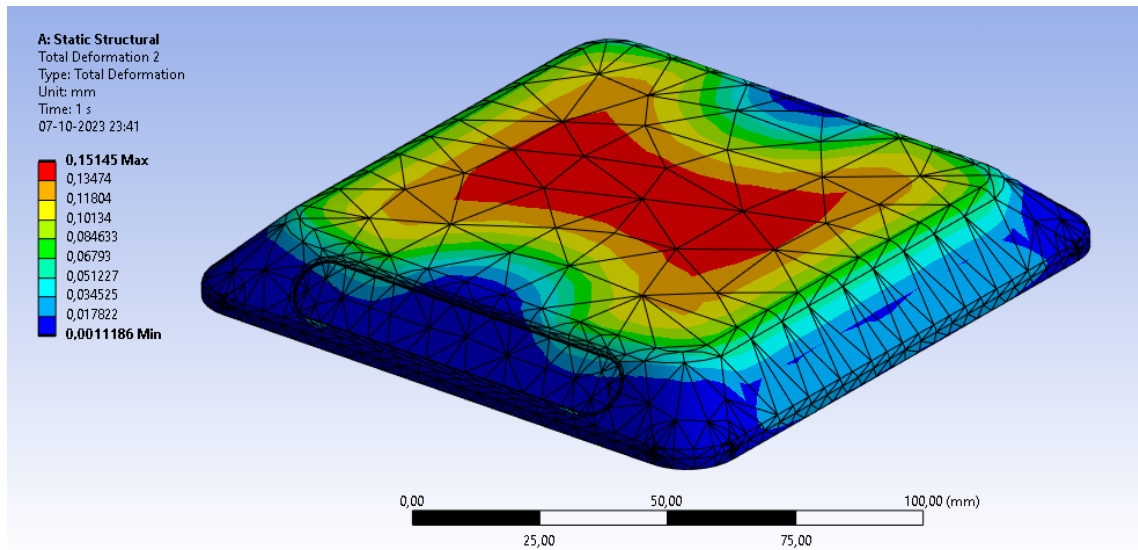
2. Seguridad (0,28)					
Criterio	2.1	2.2	Total	Peso relativo	Peso absoluto
2.1	1	4	5,00	0,77	0,21
2.2	0,50	1	1,50	0,23	0,06
Gran total			6,50	1,00	0,28

3. Costos (0,2)					
Criterio	2.1	2.2	Total	Peso relativo	Peso absoluto
2.1	1	5	6,00	0,82	0,16
2.2	0,33	1	1,33	0,18	0,04
Gran total			7,33	1,00	0,20

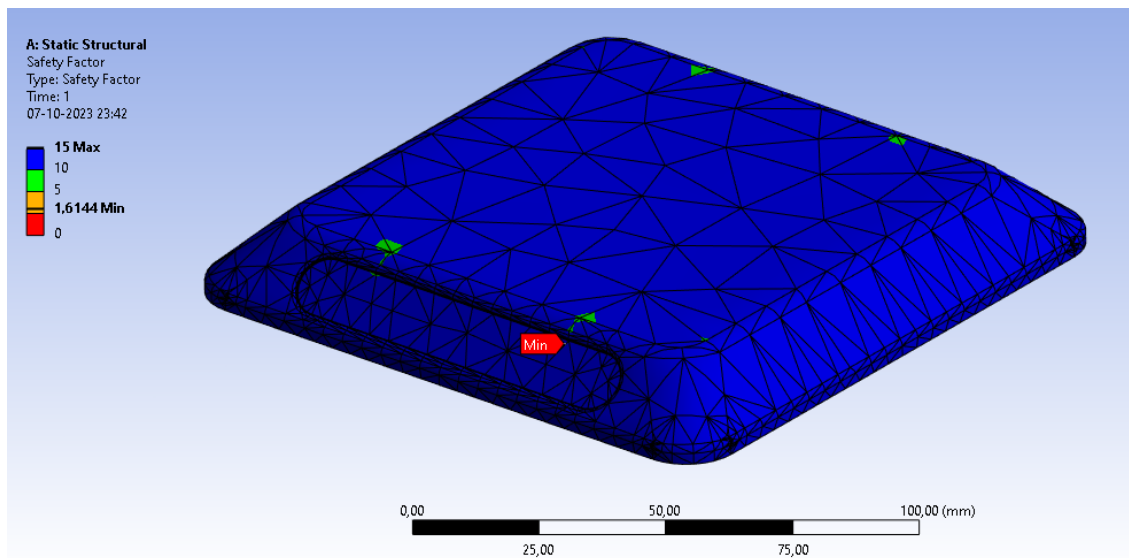
4. Apariencia (0,03)					
Criterio	2.1	2.2	Total	Peso relativo	Peso absoluto
2.1	1	2	3,00	0,67	0,02
2.2	0,50	1	1,50	0,33	0,01
Gran total			4,50	1,00	0,03

Anexo 2: Resultados análisis de esfuerzos concepto 3 ([sección 3.4.2](#))

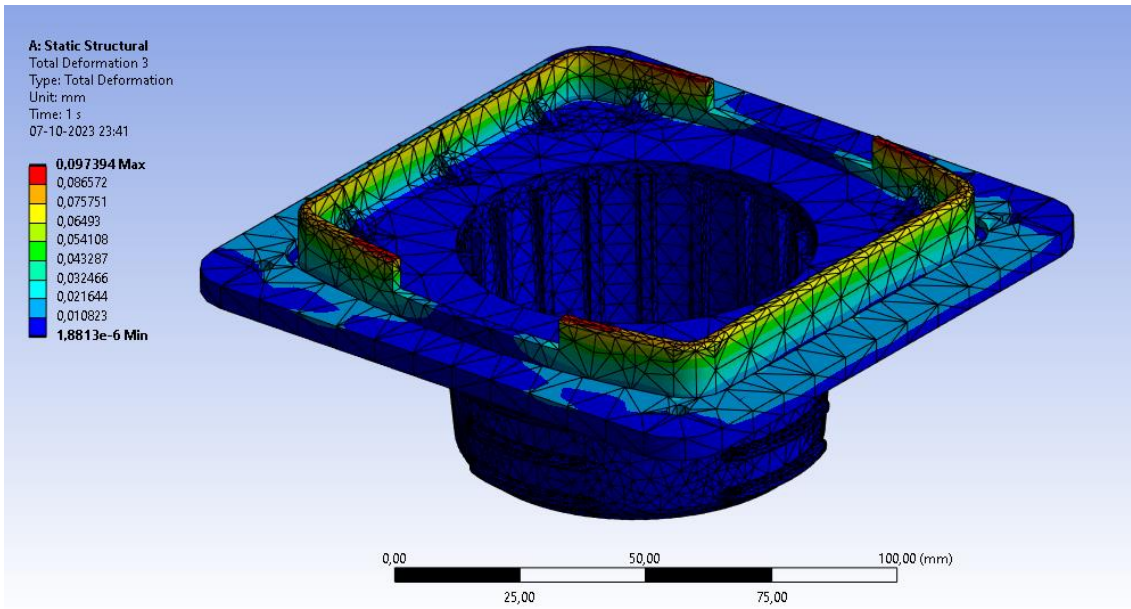
A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el análisis de esfuerzos del concepto 3, visualizando imágenes para medidas de deformación en milímetros y para factor de seguridad.



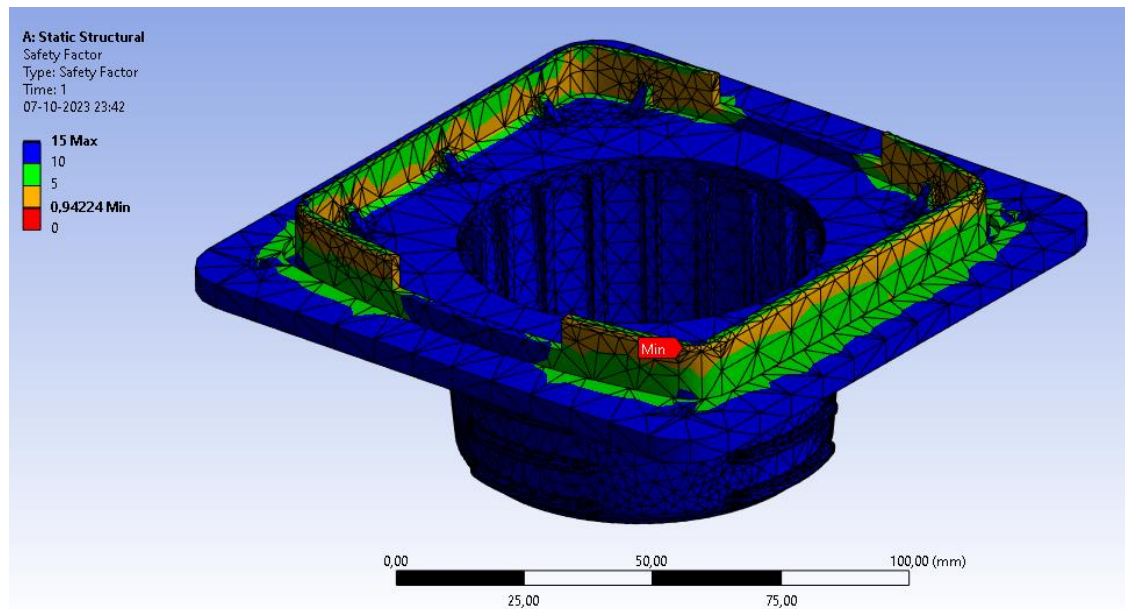
Resultados Deformación Carcasa en Compresión Por Normativa



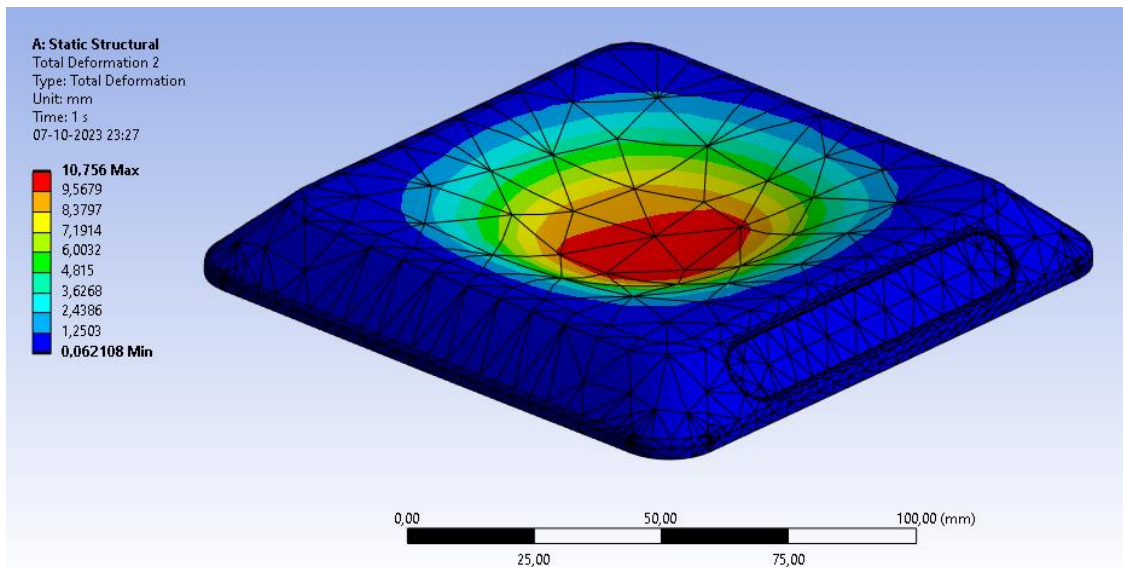
Resultados Factor de Seguridad Carcasa en Compresión Por Normativa



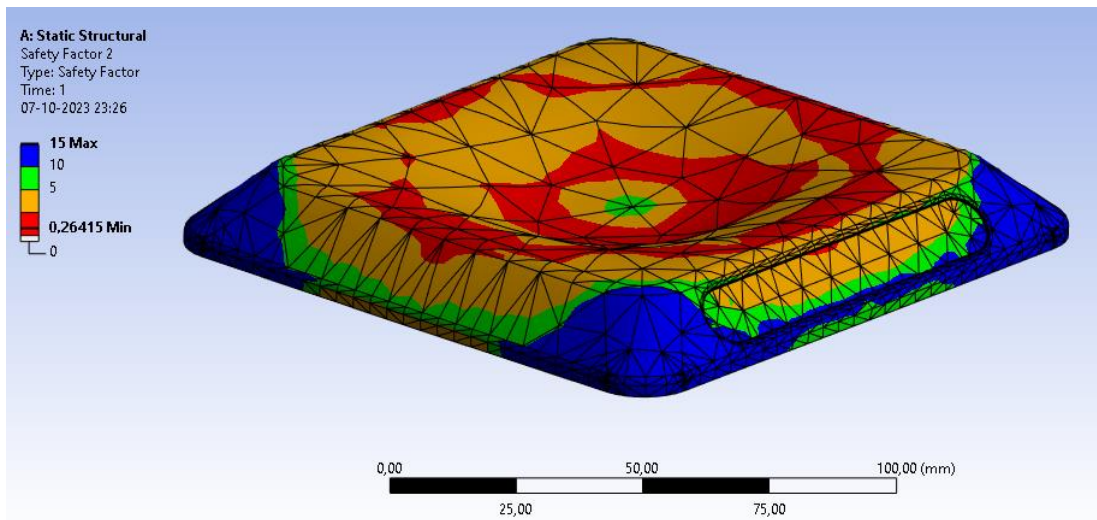
Resultados Deformación Base en Compresión Por Normativa



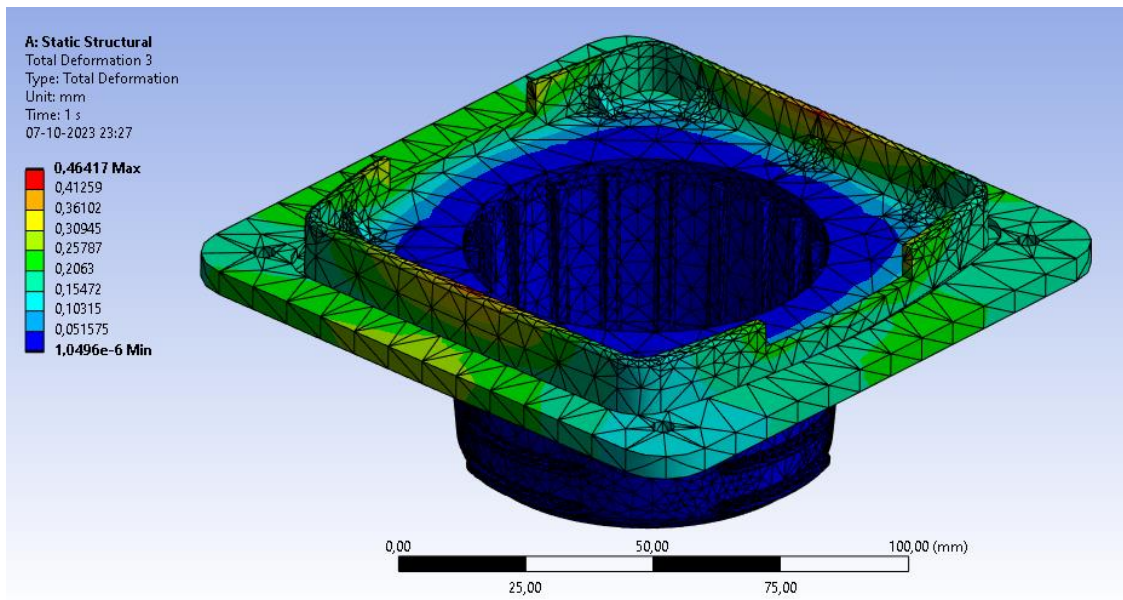
Resultados Factor de Seguridad Base en Compresión Por Normativa



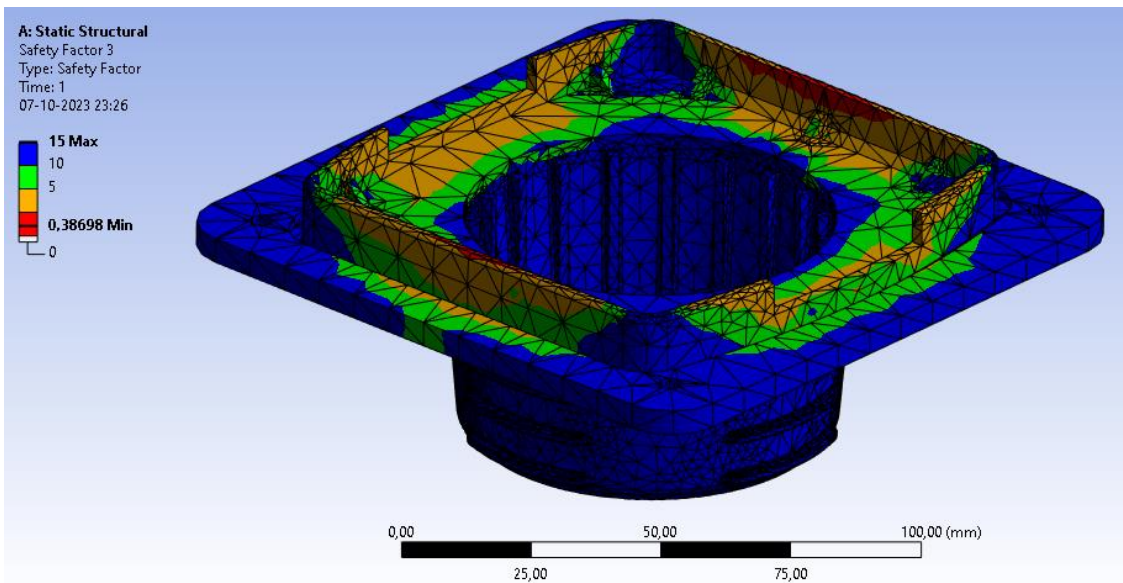
Resultados Deformación Carcasa en Tracción Por Normativa



Resultados Factor de Seguridad Carcasa en Tracción Por Normativa



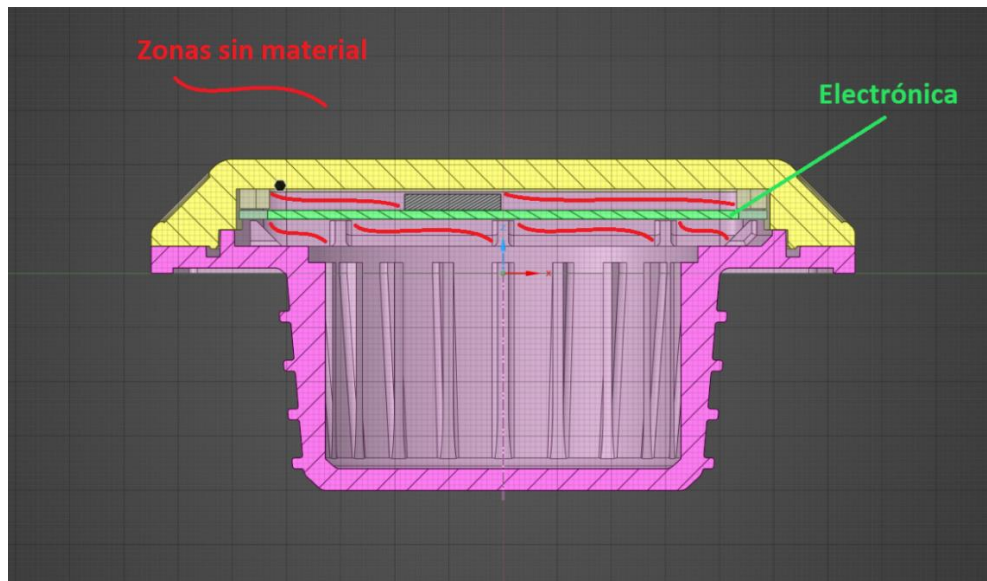
Resultados Deformación Base en Tracción Por Normativa



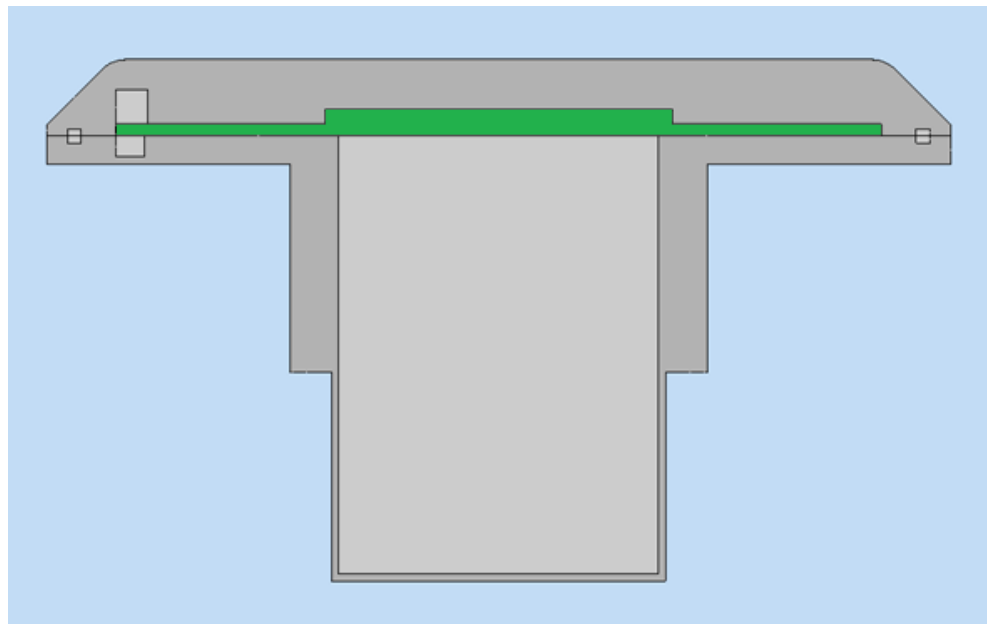
Resultados Factor de Seguridad Base en Tracción Por Normativa

Anexo 3: Análisis de estilos flotantes y macizos ([sección 4.2.1.](#))

A continuación, se presentan imágenes representativas para una disposición flotante y una disposición maciza, respectivamente.



Representación de estilo flotante



Representación de estilo macizo

Anexo 4: Lista de componentes electrónicos ([sección 4.3.2.](#))

A continuación, se presenta la lista de componentes esenciales a considerar:

Acelerómetro IIS2DH:

El IIS2DH es un acelerómetro lineal de tres ejes de ultra baja potencia y alto rendimiento con una salida estándar de interfaz serial digital I2C/SPI. El IIS2DH tiene escalas completas seleccionables de $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g/\pm 16g$, y es capaz de medir aceleraciones con tasas de datos de salida desde 1 Hz hasta 5.3 kHz.

El dispositivo puede configurarse para generar señales de interrupción mediante dos eventos independientes de activación/caída inercial, así como por la posición del propio dispositivo. Y la capacidad de auto prueba permite al usuario comprobar la funcionalidad del sensor en la aplicación final.

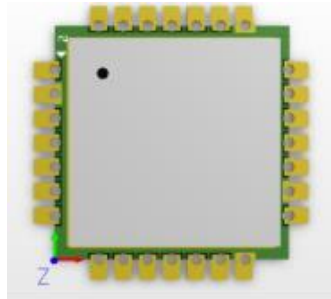
El IIS2DH está disponible en un paquete de matriz de rejilla de tierra de plástico delgado (LGA) y está garantizado para funcionar en un rango de temperatura extendido de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las dimensiones físicas del acelerómetro IIS2DH corresponden a 2.0 [mm] de largo x 2.0 [mm] de ancho x 1.0 [mm] de alto.



Módulo LoRa-E5:

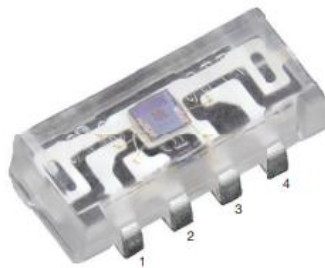
LoRa-E5 es un módulo LoRaWAN de bajo costo, ultra baja potencia y tamaño ultra pequeño diseñado por Seeed Technology Co., Ltd. El módulo utiliza el chip de paquete de nivel de sistema ST STM32WLE5JC, el chip LoRa de alto rendimiento SX126X, y un consumo de energía ultra bajo de MCU. El objetivo de aplicación de este módulo son las redes de sensores inalámbricos y otros dispositivos de Internet, especialmente en

ocasiones de bajo consumo de energía y larga distancia alimentados por batería. Las dimensiones físicas del módulo LoRa-E5 corresponden a 14.3 [mm] de largo x 14.3 [mm] de ancho x 2.5 [mm] de alto.



Sensor de luminosidad VEML7700:

VEML7700 es un sensor de luz ambiental de alta precisión con resolución digital de 16 bits en un paquete transparente con dimensiones físicas correspondientes a 7.0 [mm] de largo x 5 [mm] de ancho x 2.5 [mm] de alto. Incluye un fotodiodo de alta sensibilidad, un amplificador de bajo ruido, un convertidor A/D de 16 bits y admite una interfaz de comunicación I2C fácil de usar.



Celda solar IXOLARTM:

IXOLARTM SolarMD es una línea de productos ANYSOLAR de módulos solares fabricados con células solares monocristalinas de alta eficiencia. El IXOLARTM SolarMD es ideal para cargar varios productos de consumo alimentados por batería y portátiles, como teléfonos móviles, cámaras, PDAs, reproductores de MP3 y juguetes.

También son adecuados para aplicaciones industriales como sensores inalámbricos, instrumentación portátil y para cargar baterías de respaldo de emergencia.

Con una eficiencia celular típica del 25%, SolarMD ofrece la capacidad de extender el tiempo de funcionamiento incluso en condiciones de “poca luz” y aumentar la vida útil y el tiempo de funcionamiento de la batería en un espacio reducido, que puede ser fácilmente acomodado en el diseño de productos portátiles. El diseño permite conectar SolarMD de manera flexible en serie y / o en paralelo para satisfacer perfectamente los requisitos de energía de la aplicación específica del cliente.

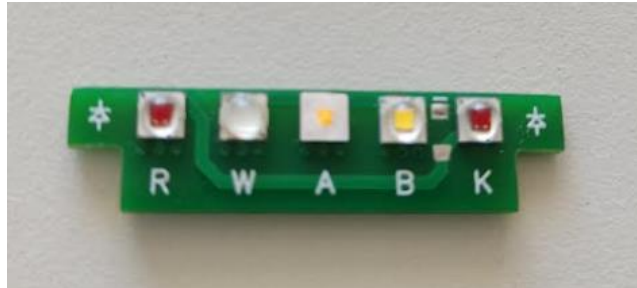
Las dimensiones físicas de la celda solar IXOLARTM SM141K07L corresponden a 50.0 [mm] de largo x 23.0 [mm] de ancho x 2.1 [mm] de alto.



Banda LED:

Una tira de luces LED es un dispositivo flexible y delgado que contiene una serie de diodos emisores de luz montados en una tira o cinta. Estas tiras suelen estar hechas de material flexible como el poliuretano o el polietileno, lo que les permite adaptarse a diferentes formas y superficies.

En el caso de este dispositivo, la distribución de luces LED van en una sección de placa PCB, siendo sus dimensiones las siguientes: 38.0 [mm] de largo (30.0 [mm] en la zona inferior) x 5.0 [mm] de ancho (incluyendo luces LED) x 9.0 [mm] de alto.

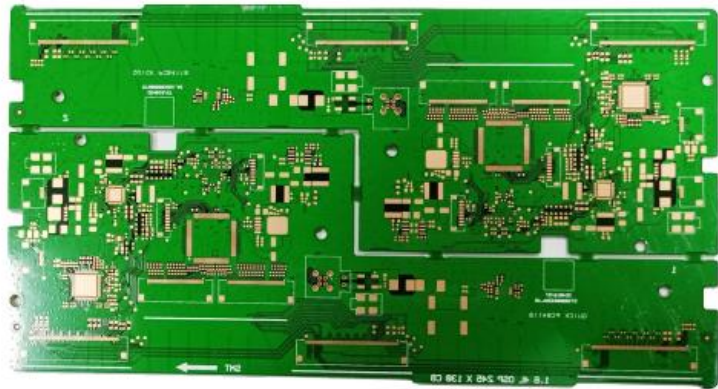


Placa PCB FR4:

Una placa PCB FR4 (Flame Retardant 4) es un tipo de placa de circuito impreso (PCB) fabricada con un material de base llamado FR4. El FR4 es un laminado de fibra de vidrio y resina epoxi que proporciona propiedades aislantes y mecánicas necesarias para la fabricación de las PCB.

Las placas PCB FR4 son ampliamente utilizadas en la industria electrónica debido a su durabilidad, confiabilidad y capacidad para soportar una amplia gama de temperaturas y entornos. Son compatibles con diversos métodos de ensamblaje de componentes y permiten el diseño de circuitos complejos con una alta densidad de componentes.

Cabe destacar que la geometría de la placa PCB es muy flexible, por lo que se puede adaptar su forma y distribuir los componentes que vayan ensamblados a ella según los requerimientos del modelo.



Unidades de almacenamiento energético:

Un supercapacitor es un dispositivo de almacenamiento de energía electroquímica que tiene una capacidad mucho mayor que los condensadores convencionales. A diferencia de las baterías, los supercapacitores almacenan energía electrostáticamente en lugar de químicamente, lo que les permite cargar y descargar rápidamente y tener una vida útil más larga en términos de ciclos de carga y descarga.

Este módulo doble de supercapacitores permite almacenar energía que será posteriormente utilizada para las funciones del dispositivo. Sus dimensiones físicas corresponden a 46.0 [mm] de largo x 46.0 [mm] de ancho x 55.0 [mm] de alto.



Conector almacenamiento de energía:

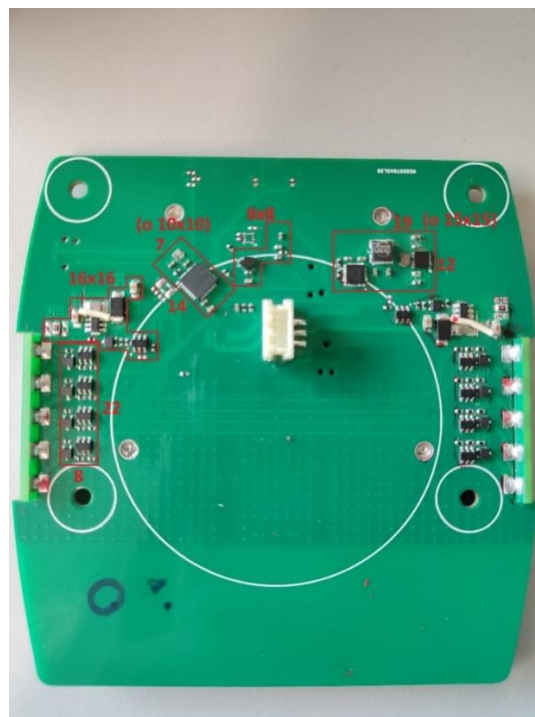
Un conector a un módulo de almacenamiento de energía en una placa PCB es un componente que proporciona una interfaz física y eléctrica para conectar y desconectar un módulo específico diseñado para almacenar energía eléctrica. Los conectores a módulos de almacenamiento de energía suelen tener un diseño específico para garantizar una

conexión segura y eficiente entre la placa PCB y el módulo. Estos conectores pueden variar en términos de número de pines, disposición física y características eléctricas, dependiendo del tipo de módulo y de las necesidades del sistema en el que se integran. Sus dimensiones físicas corresponden a 11.0 [mm] de largo x 11.0 [mm] de ancho x 7.0 [mm] de alto.



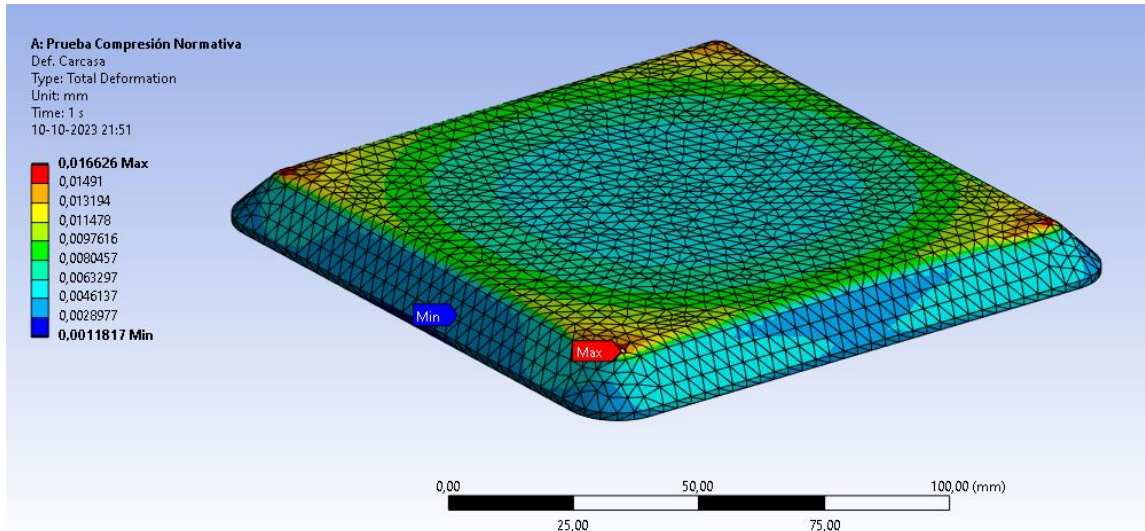
Microchips zona inferior:

En la parte inferior de la placa PCB se encuentran todos los microchips y elementos que permiten el funcionamiento de los distintos componentes mencionados anteriormente. Estos elementos se encuentran adheridos mediante soldadura de estaño, por lo que se debe asegurar un posicionamiento correcto para evitar las fracturas de soldadura, y por consecuencia el desprendimiento de los microchips.

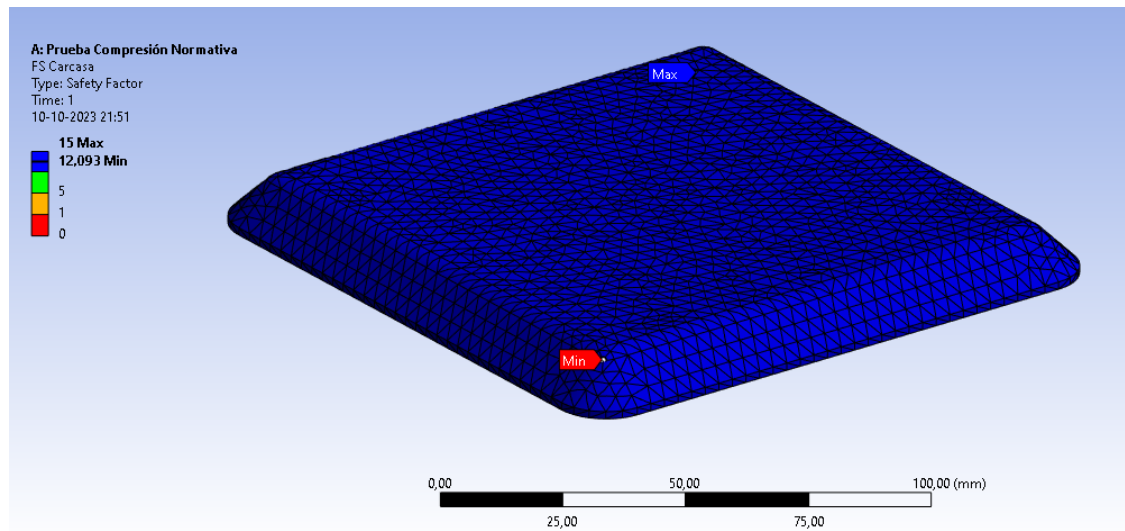


Anexo 5: Resultados análisis de esfuerzos ensamblaje final ([sección 5.1.](#))

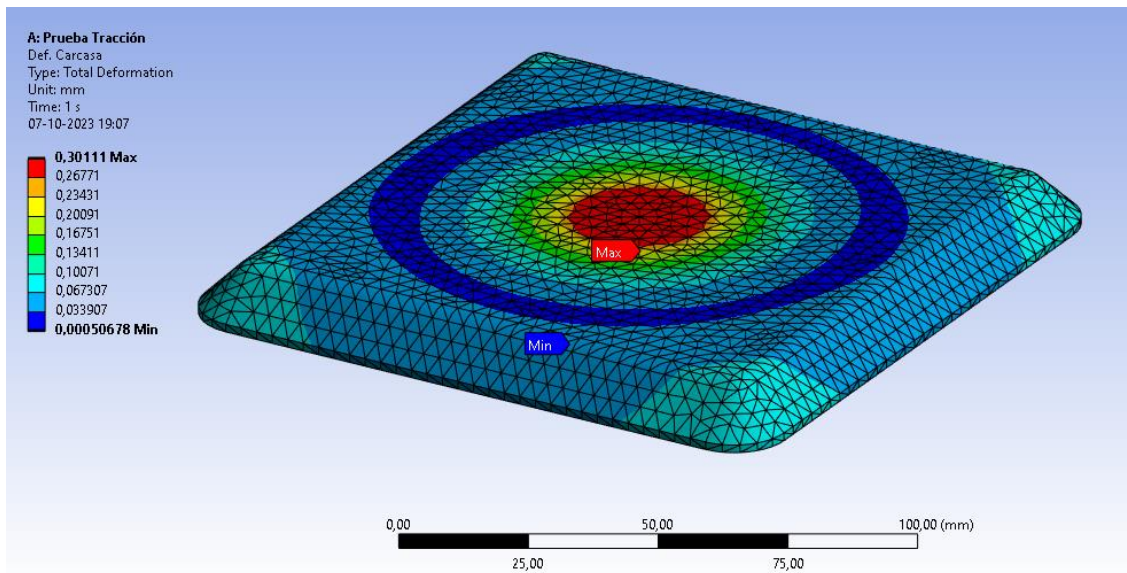
A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el análisis de esfuerzos del modelo final, visualizando imágenes para medidas de deformación en milímetros y para factor de seguridad.



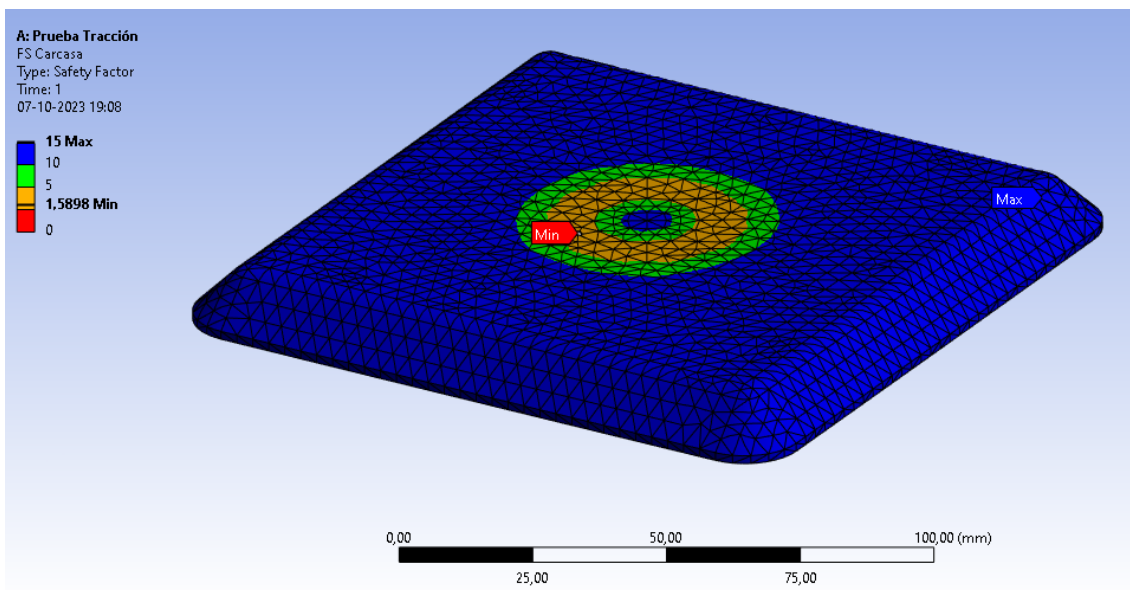
Resultados Deformación Carcasa en Compresión Por Normativa



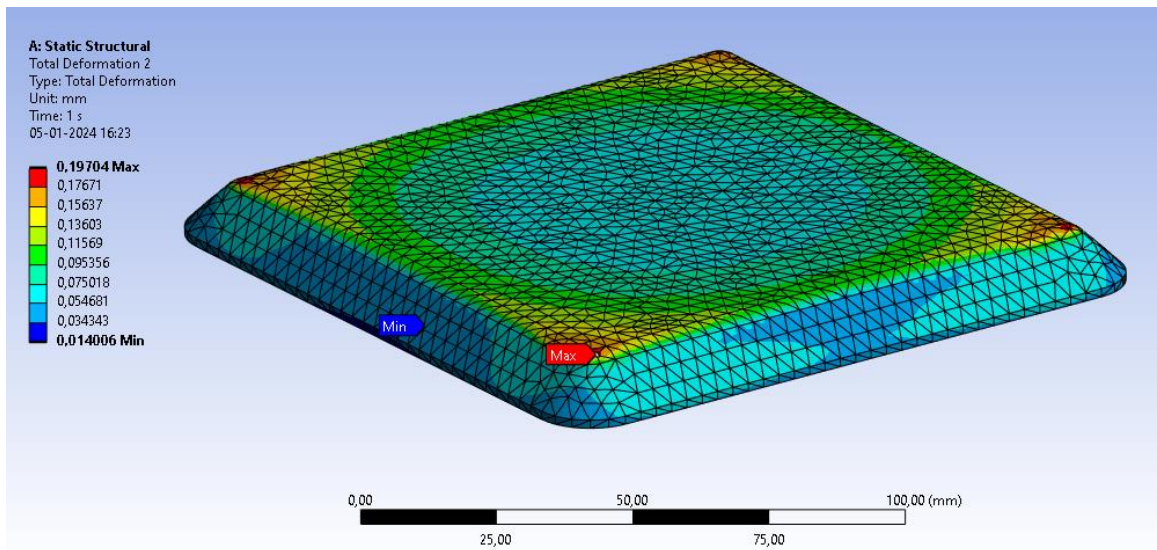
Resultados Factor de Seguridad Carcasa en Compresión Por Normativa



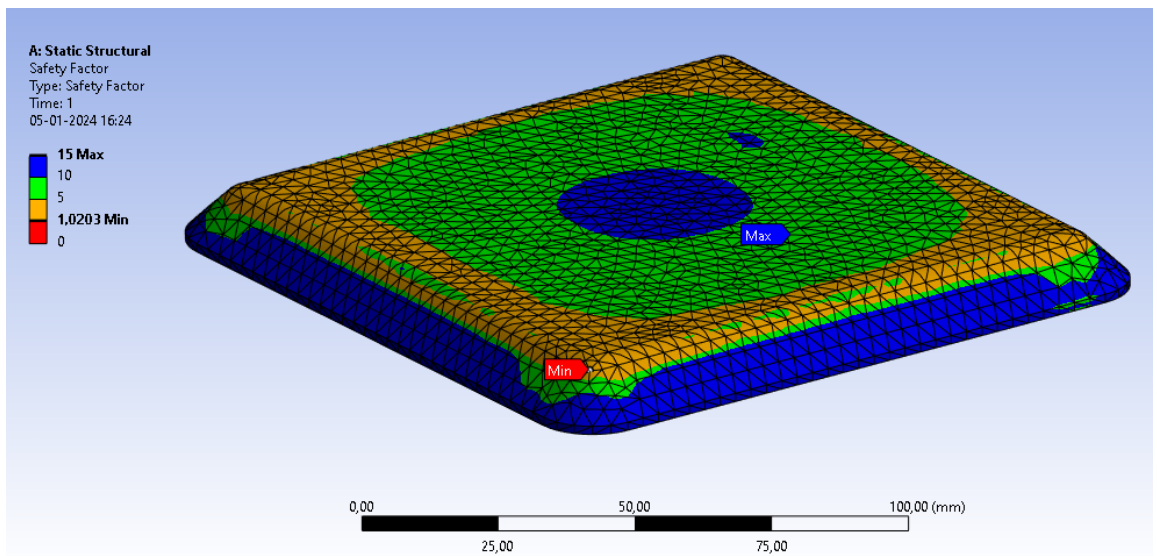
Resultados Deformación Carcasa en Tracción Por Normativa



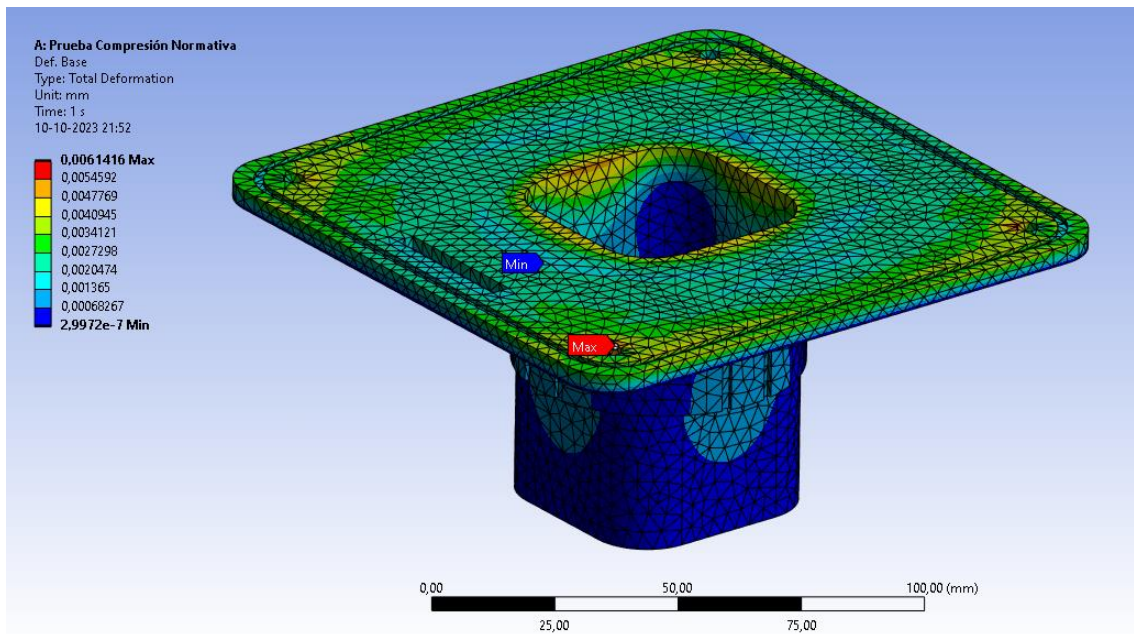
Resultados Factor de Seguridad Carcasa en Tracción Por Normativa



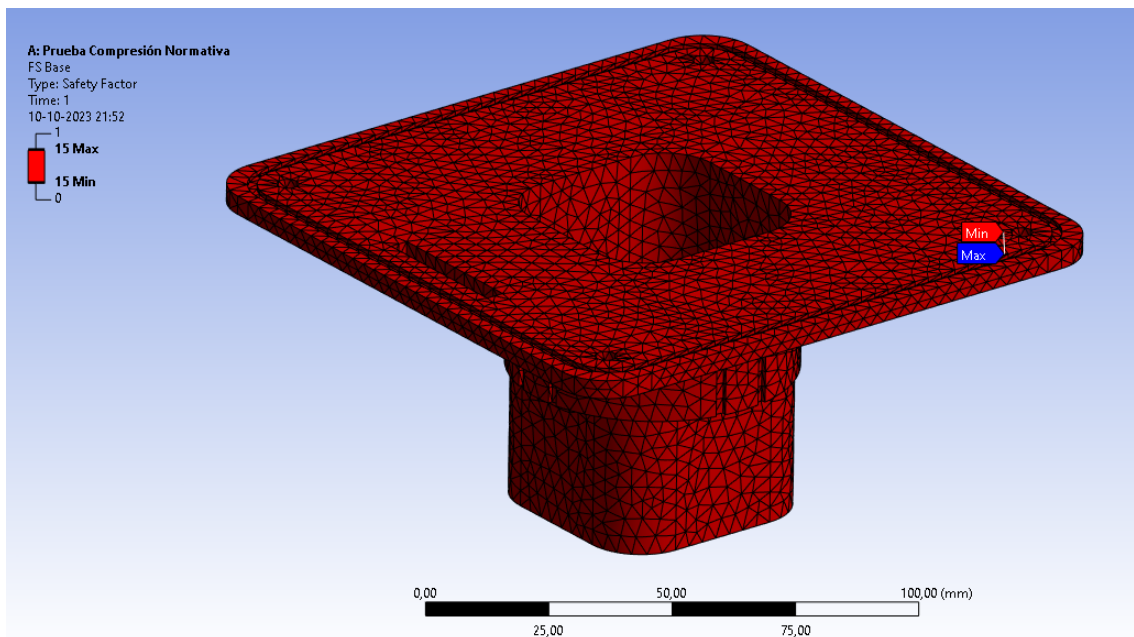
Resultados Deformación Carcasa en Compresión a 32 Toneladas



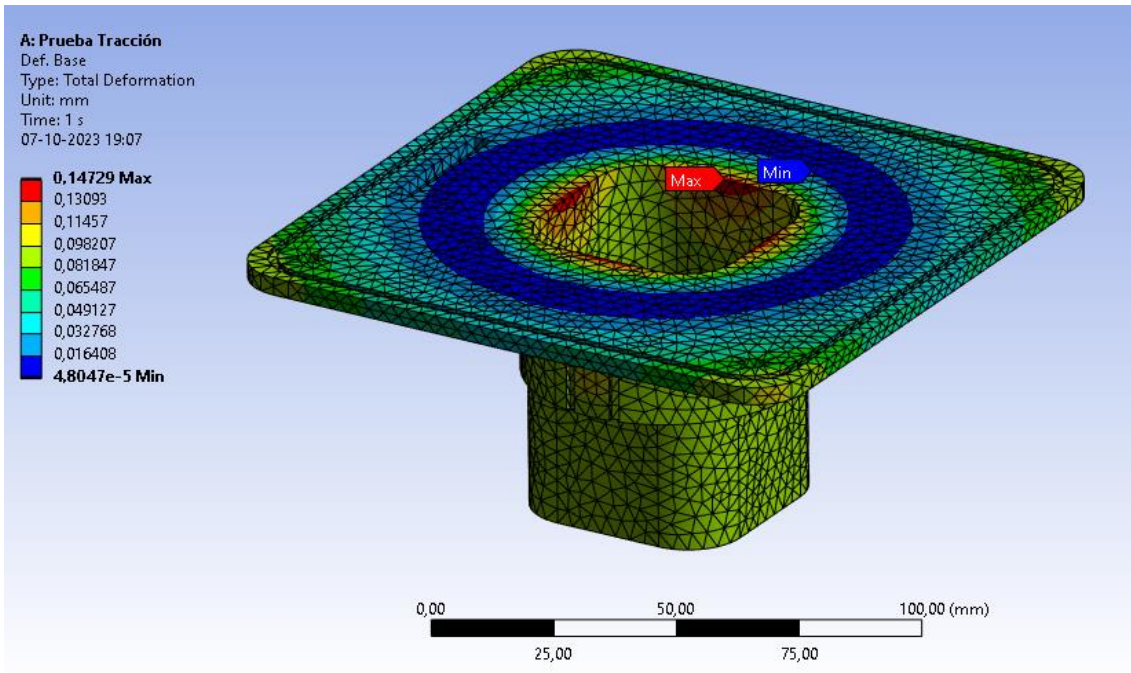
Resultados Factor de Seguridad Carcasa en Compresión a 32 Toneladas



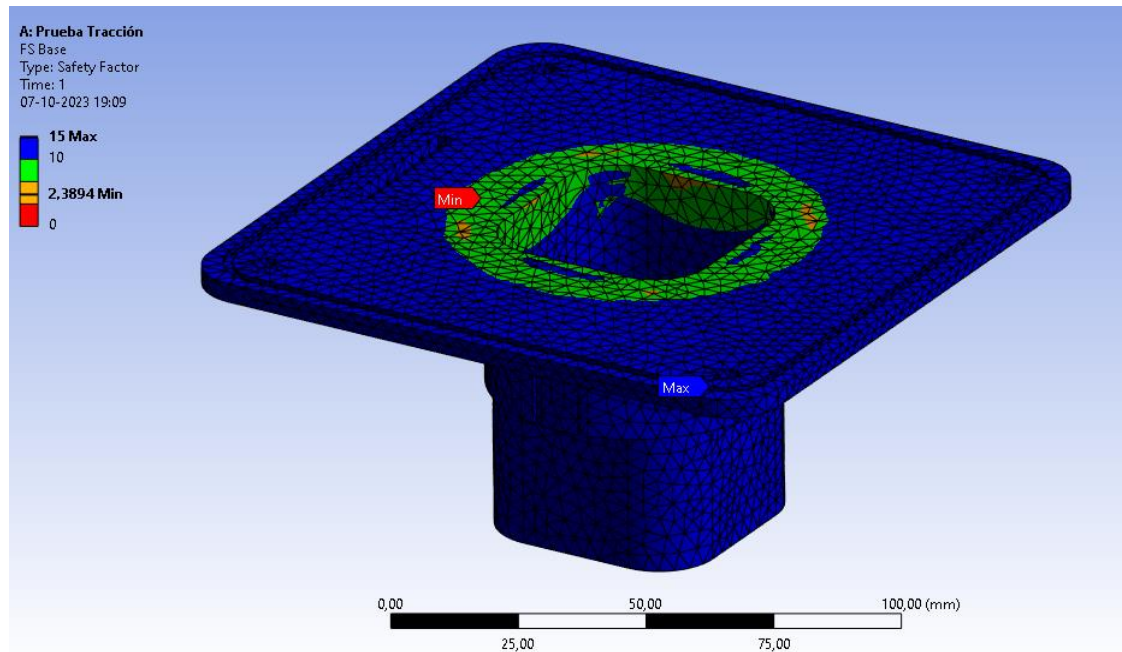
Resultados Deformación Base en Compresión Por Normativa



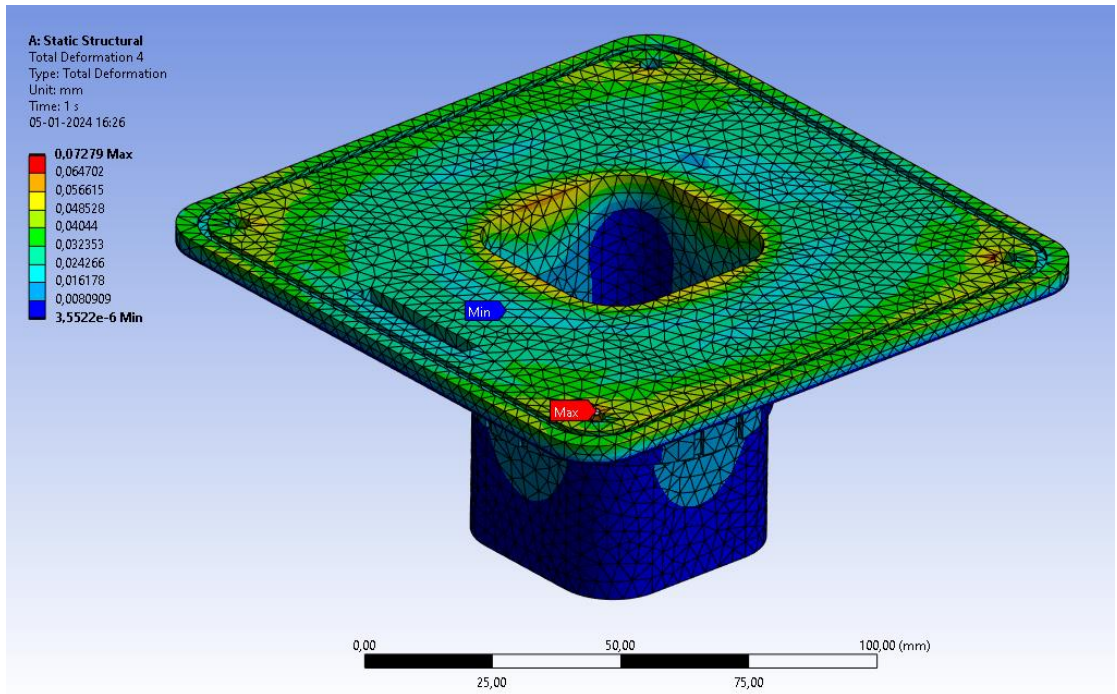
Resultados Factor de Seguridad Base en Compresión Por Normativa



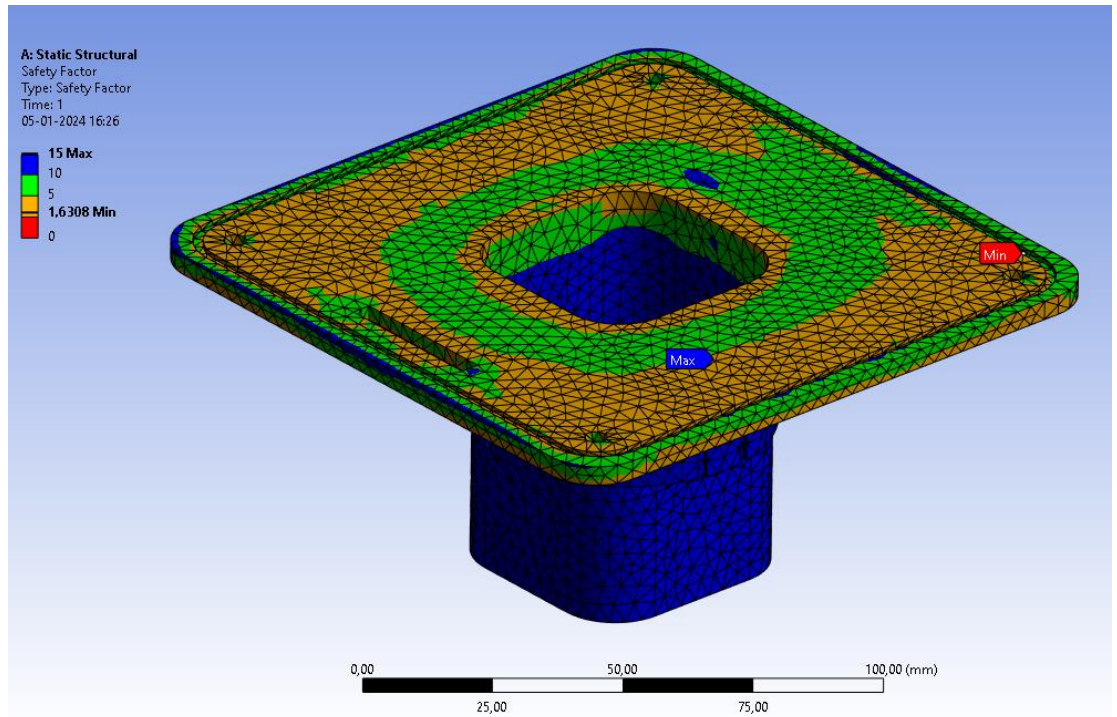
Resultados Deformación Base en Tracción Por Normativa



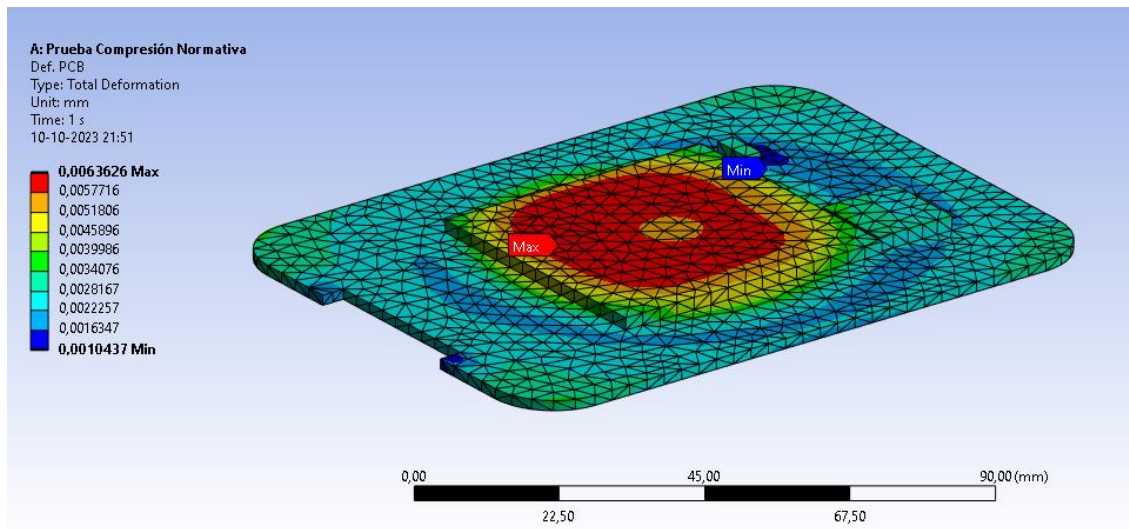
Resultados Factor de Seguridad Base en Tracción Por Normativa



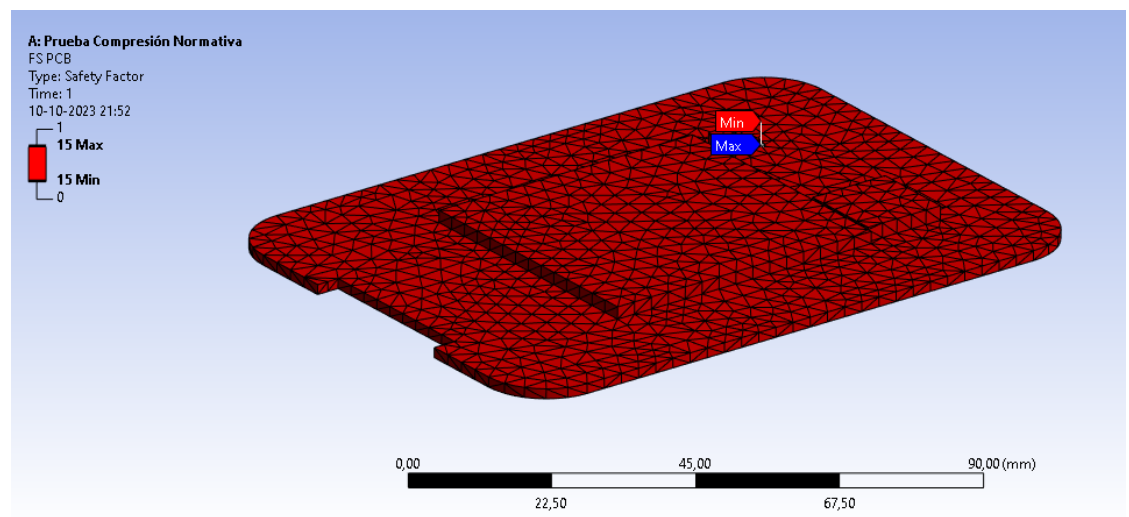
Resultados Deformación Base en Compresión a 32 Toneladas



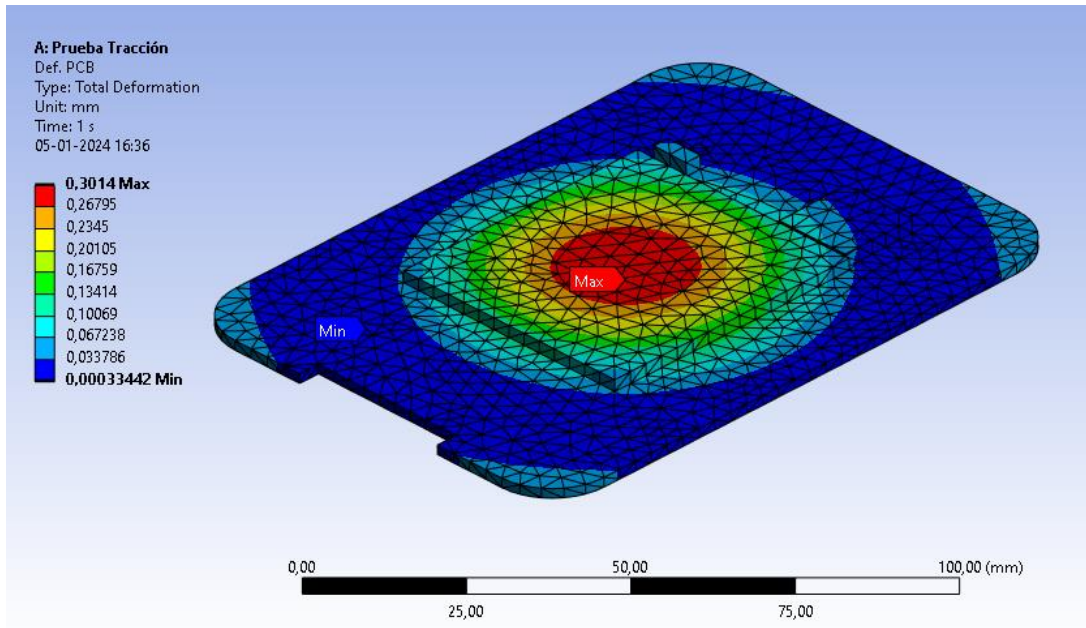
Resultados Factor de Seguridad Base en Compresión a 32 Toneladas



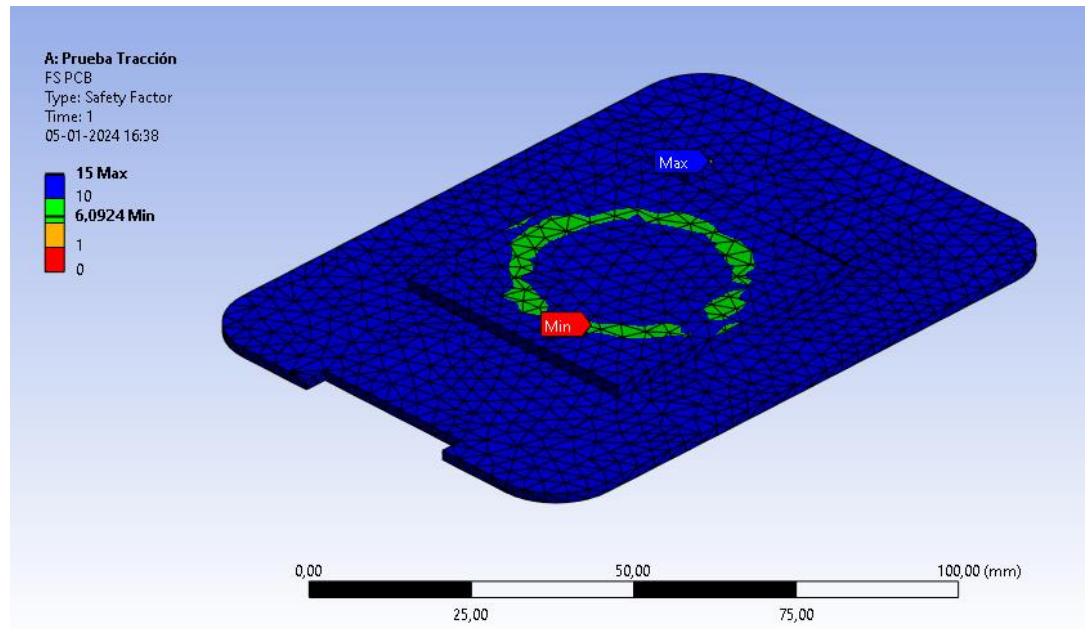
Resultados Deformación PCB en Compresión Por Normativa



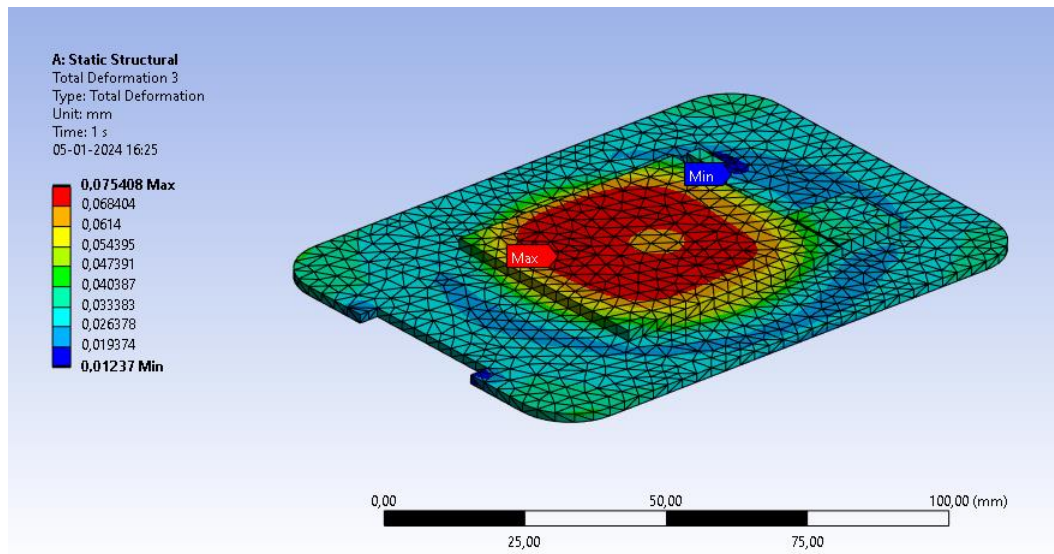
Resultados Factor de Seguridad PCB en Compresión Por Normativa



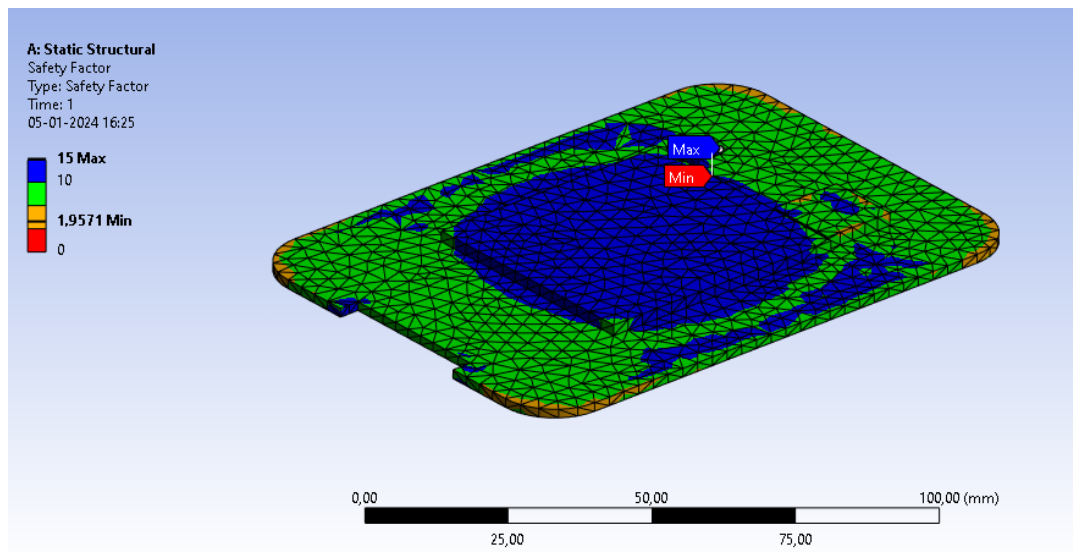
Resultados Deformación PCB en Tracción Por Normativa



Resultados Factor de Seguridad PCB en Tracción Por Normativa



Resultados Deformación PCB en Compresión a 32 Toneladas



Resultados Factor de Seguridad PCB en Compresión a 32 Toneladas