



**Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero  
Automotriz**

# **INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**Autor:** Justin Victor San Martin Anzules.

**Tutor:** Ing. Darwin Gregorio Chele Sancán, MSc.

**Optimización Topológica de un Pistón del Motor Kappa 1.2L**

**MPI Mediante Simulación**



**Certificado de Autoría**

Yo, Justin Victor San Martin Anzules, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada. Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

---

Justin Victor San Martin Anzules

C.I.: 0954881249

### **Aprobación del Tutor**

Yo, Darwin Gregorio Chele Sancán certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

---

Ing. Darwin Gregorio Chele Sancán, MSc.

C.I: 0916349681

Director de Proyecto

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mi familia, quienes han sido mi pilar en todo momento. A mis padres quienes me han enseñado el valor del esfuerzo, la perseverancia y la dedicación. Gracias por su amor, por estar siempre a mi lado y por ser mi mayor fuente de inspiración.

A mis amigos, quienes me han acompañado a lo largo de este camino, brindándome su apoyo y motivación. Cada uno de ustedes ha tenido un impacto importante en mi vida y ha contribuido a que este proyecto fuera posible.

Finalmente, dedico esta tesis a todos aquellos que luchan por alcanzar sus sueños y que, a pesar de los obstáculos, siguen adelante con determinación. Que este trabajo sirva como ejemplo de que, con esfuerzo y pasión, todo es posible.

***Justin San Martín***

## **Agradecimiento**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de alguna manera, han sido parte de este proyecto y me han acompañado durante el proceso de investigación y redacción de esta tesis.

En primer lugar, agradezco profundamente a mi tutor de tesis, Chele Sancán, por su constante apoyo, dedicación y orientación. Sus consejos y su paciencia me han permitido crecer como persona y completar este trabajo de manera satisfactoria. Su capacidad para guiarme, incluso en los momentos más complejos, ha sido fundamental para el desarrollo de esta tesis.

A mis compañeros y amigos, les agradezco por su compañía y apoyo durante este tiempo. De igual manera, quiero agradecer a mi familia, quienes han sido mi mayor fuente de apoyo. A mis padres por su amor incondicional, por siempre creer en mí y por su constante aliento. Gracias por su comprensión y paciencia durante todo este proceso. Este logro también es suyo.

Finalmente, quiero agradecer a todos aquellos que, de una u otra forma, contribuyeron a que este proyecto se hiciera realidad. Sin su ayuda, no habría sido posible completar este trabajo.

***Justin San Martín***

## Índice General

Certificado de Autoría .....	iii
Aprobación del Tutor.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice General .....	vii
Índice de Figuras .....	xi
Índice de Tablas.....	xiii
Resumen .....	xv
Abstract.....	iv
Capítulo I .....	1
Antecedentes.....	1
1.1 Título de Investigación.....	1
1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización de la Investigación .....	1
1.2.1 Planteamiento del Problema .....	1
1.2.2 Formulación del Problema .....	2
1.2.3 Sistematización del Problema.....	3
1.3 Objetivo de la Investigación .....	3
1.3.1 Objetivo General .....	3
1.3.2 Objetivos Específicos .....	3
1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación.....	3
1.4.1 Justificación Teórica.....	4
1.4.2 Justificación Metodológica.....	4
1.4.3 Justificación Práctica.....	4
1.4.4 Delimitación Temporal.....	5

1.4.5 Delimitación Geográfica .....	5
1.4.6 Delimitación del Contenido.....	5
Capítulo II .....	7
Marco Referencial.....	7
2.1 Marco Teórico.....	7
2.1.1 Optimización Estructural .....	7
2.1.2 Optimización de Diseño en Ingeniería Automotriz.....	8
2.1.3 Ciencia de Materiales Aplicada a Pistones .....	9
2.1.4 Pistones en Motores de Combustión Interna.....	10
2.1.5 Tratamientos Térmicos y Revestimientos del Pistón .....	12
2.1.6 Distribución de Tensiones y Fatiga.....	14
2.1.7 Simulación Computacional y CAD en la Optimización de Pistones .....	15
2.1.8 Simulación Computacional de Rendimiento.....	15
2.1.9 Reducción de Peso en Componentes Automotrices .....	16
2.2 Marco Conceptual .....	19
2.2.1 Optimización Topológica .....	19
2.2.2 Pistón en Motor de Combustión Interna .....	19
2.2.3 Simulación .....	19
2.2.4 Modelado .....	20
2.2.5 Características del Pistón.....	20
2.2.6 Técnicas de Diseño.....	20
2.2.7 Reducción de Masa .....	21
2.2.8 Diseño Óptimo .....	21
2.2.9 Resistencia .....	21
2.2.10 Durabilidad.....	22



2.2.11 Presión .....	22
2.2.12 Temperatura .....	22
2.2.13 Material .....	22
2.2.14 Ecuaciones .....	23
Capítulo III.....	24
Modelación, Simulación y Optimización del Pistón.....	24
3.1 Selección y Características del Pistón.....	24
3.1.1 Criterios de selección .....	26
3.1.2 Relevancia Técnica.....	26
3.2 Metodología Aplicada .....	27
3.2.1 Tipo de Estudio .....	28
3.3 Equipos y Herramientas Utilizadas .....	28
3.3.1 Equipos de Medición Manual.....	28
3.3.2 Herramientas Digitales y de Modelado.....	29
3.4 Procedimiento Experimental .....	31
3.4.1 Toma de Medidas Físicas .....	31
3.4.2 Determinación de la Fuerza y Presión Actuales en el Pistón del Motor .....	17
3.4.3 Modelado en CAD.....	31
3.4.4 Proceso de Importación y Simulación en Autodesk Inventor.....	33
3.4.5 Optimización y Simulación del Pistón.....	41
Capítulo IV.....	45
Análisis de Resultados .....	45
4.1 Datos Obtenidos .....	46
4.2 Análisis de Resultados después de la Simulación .....	47
4.2.1 Impacto de la Reducción de Peso en las Tensiones, Deformaciones y Coeficiente de	

Seguridad .....	47
4.2.2 Comparación con Métodos Convencionales .....	48
Conclusiones.....	49
Recomendaciones .....	50
Bibliografía.....	51

## Índice de Figuras

Figura 1 <i>Ubicación Geográfica de la Universidad Internacional del Ecuador</i> .....	5
Figura 2 <i>Pistón Animación 3D</i> .....	8
Figura 3 <i>Fallas Prematuras del Pistón</i> .....	14
Figura 4 <i>Pistón Hyundai 1.2L</i> .....	25
Figura 5 <i>Calibrador Vernier</i> .....	29
Figura 6 <i>Software de Diseño CAD</i> .....	30
Figura 7 <i>Autodesk Inventor</i> .....	30
Figura 8 <i>Toma de Dimensiones del Pistón</i> .....	31
Figura 9 <i>Dibujo Inicial en CAD</i> .....	32
Figura 10 <i>Proceso del Dibujo en CAD</i> .....	33
Figura 11 <i>Finalización del Dibujo en CAD</i> .....	33
Figura 12 <i>Importación del Archivo a Inventor</i> .....	34
Figura 13 <i>Opciones de Importación de Capas</i> .....	35
Figura 14 <i>Opciones de Destino de Importación</i> .....	35
Figura 15 <i>Importación Final en Inventor</i> .....	36
Figura 16 <i>Creación del Nuevo Material</i> .....	37
Figura 17 <i>Ejecución de Malla</i> .....	38
Figura 18 <i>Ejecución de Simulación</i> .....	38
Figura 19 <i>Simulación Tensión de Von Mises</i> .....	39
Figura 20 <i>Simulación de Desplazamientos</i> .....	40
Figura 21 <i>Factor de Seguridad</i> .....	40
Figura 22 <i>Optimización del Pistón</i> .....	41
Figura 23 <i>Reducción de Masa del Pistón</i> .....	42
Figura 24 <i>Rediseño del Pistón</i> .....	42

Figura 25 <i>Simulación de Tensión de Von Mises</i> .....	43
Figura 26 <i>Simulación de Desplazamiento</i> .....	43
Figura 27 <i>Coefficiente de Seguridad</i> .....	44
Figura 28 <i>Resultado del Desplazamiento</i> .....	45

## Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Materiales de Pistones</i> .....	9
Tabla 2 <i>Datos de la Simulación</i> .....	46
Tabla 3 <i>Resumen de Resultados Simulación Pistón</i> .....	47

## Índice de Anexos

Anexo A <i>Vistas con Cotas Pistón</i> .....	55
Anexo B <i>Vistas con Cotas Pistón Optimizado</i> .....	56

## Resumen

La meta de esta investigación consistió en mejorar el diseño del pistón del motor Kappa 1.2L MPI a través de métodos sofisticados de modelado en CAD y simulación de elementos finitos (FEA), manteniendo en cuenta las dimensiones y atributos del componente inicial. Mediante un análisis detallado, se detectaron zonas para disminuir la masa del pistón, implementando tácticas de diseño para preservar su resistencia y durabilidad. Las simulaciones llevadas a cabo posibilitaron analizar el rendimiento estructural y térmico del pistón bajo diferentes circunstancias de operación. Los hallazgos revelaron que la mejora del pistón posibilitó una disminución considerable en su peso sin afectar la resistencia del material ni el rendimiento del componente. No obstante, se registró un aumento en las tensiones máximas y desplazamientos, lo que indica que el pistón optimizado podría ser más propenso a deformarse bajo cargas intensas. A pesar de estos aumentos, la mayoría de las áreas del pistón conservaron el coeficiente de seguridad en los niveles aceptables. Se determinó que, pese a que la disminución de peso plantea retos en cuanto a la concentración de tensiones y movimientos, el diseño optimizado es factible y eficaz en cuanto al desempeño del motor. Se aconseja llevar a cabo estudios extra, como el análisis de fatiga, para valorar la longevidad a largo plazo del pistón bajo condiciones de funcionamiento reales. Además, se recomienda la aplicación de nuevas tecnologías de producción que posibiliten incrementar la exactitud y el desempeño del componente. En conclusión, la investigación evidencia que la mejora de los pistones puede aportar de manera significativa a la optimización de la eficiencia del motor sin poner en riesgo la solidez estructural.

**Palabras Clave:** Optimización Topológica, Pistón, Simulación Estructural, Esfuerzos de Tensión, Diseño.

## Abstract

The aim of this study was to optimize the design of the Kappa 1.2L MPI engine piston using advanced CAD modeling and finite element analysis (FEA) techniques, while maintaining the dimensions and characteristics of the original component. Through detailed analysis, mass-reduction areas were identified, applying design strategies to preserve its strength and durability. Simulations were conducted to evaluate the structural and thermal behavior of the piston under various operating conditions. The results showed that the optimized piston achieved a significant weight reduction without compromising material strength or component functionality. However, an increase in maximum stresses and displacements was observed, suggesting that the optimized piston may be more prone to deformation under extreme loads. Despite these increases, the safety factor remained within acceptable limits in most areas. It was concluded that although weight reduction presents challenges in terms of stress concentrations and displacements, the optimized design is viable and efficient in engine performance. Further analysis, such as fatigue testing, is recommended to assess long-term durability under real operating conditions. Additionally, the implementation of new manufacturing technologies is suggested to improve precision and performance. In summary, the study demonstrates that piston optimization can significantly contribute to engine efficiency improvement without compromising structural integrity.

**Keywords:** Topological Optimization, Piston, Structural Simulation, Tensile Stresses, Design.



## **Capítulo I**

### **Antecedentes**

#### **1.1 Título de Investigación**

Optimización topológica de un pistón del motor Kappa 1.2L MPI mediante simulación.

#### **1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización de la Investigación**

Actualmente, existen métodos avanzados de diseño asistido por computadora que permiten realizar optimizaciones de peso manteniendo la resistencia estructural de los componentes. Sin embargo, no se ha explorado ampliamente la reducción de masa en los pistones del motor Kappa 1.2L MPI del Hyundai Grand i10 para su uso en competencias, lo que representa una oportunidad para mejorar su rendimiento. Esto plantea la pregunta de cuánta masa se puede eliminar del pistón sin comprometer su integridad estructural y su funcionalidad bajo las exigentes condiciones de operación de un motor de alto rendimiento.

Uno de los componentes clave en este contexto es el pistón, una pieza crítica en el funcionamiento del motor. La reducción de la masa del pistón puede mejorar la dinámica del motor, reducir la inercia de los componentes móviles y optimizar el consumo de combustible.

Además, la disminución del peso contribuye a aumentar las revoluciones del motor y, por ende, el rendimiento en condiciones de alta exigencia. No obstante, cualquier modificación en el pistón debe garantizar que su integridad estructural no se vea comprometida, ya que está sometido a fuerzas intensas durante su funcionamiento.

##### **1.2.1 Planteamiento del Problema**

En el ámbito automotriz, mejorar el rendimiento de un vehículo requiere optimizar los elementos internos del motor, entre ellos los pistones, ya que su función dentro del ciclo de combustión impacta de manera significativa la eficiencia y potencia del sistema. Como parte fundamental del tren de potencia, estos componentes móviles influyen directamente en la respuesta dinámica y el uso energético del motor. En el caso de motores compactos, como el

Kappa 1.2L MPI del Hyundai Grand i10, conocidos por su confiabilidad y economía en entornos urbanos, la eficiencia en el consumo de combustible y la rápida respuesta del motor son atributos clave. Sin embargo, el diseño de este motor no está orientado hacia aplicaciones de alto rendimiento, como la competencia.

Una estrategia eficaz para mejorar el desempeño de un motor sin elevar demasiado los costos ni modificar su tamaño es reducir el peso de sus componentes móviles. Al disminuir la masa del pistón, se reduce la inercia de su movimiento alternativo, lo cual permite menor resistencia durante el ciclo de trabajo. Esto aporta una respuesta más ágil y suave del motor, lo que favorece tanto la aceleración como la eficiencia en el consumo de combustible y disminuye el desgaste en otras partes del tren de potencia.

Reducir el peso del pistón también disminuye la energía requerida para su desplazamiento, contribuyendo a un menor consumo de combustible, reducción de emisiones y mejor desempeño térmico y mecánico del motor. Sin embargo, esta reducción debe realizarse cuidadosamente, conservando la resistencia estructural del pistón y su capacidad para soportar las altas fuerzas y temperaturas presentes en el ciclo de combustión.

Lograr un balance adecuado entre reducción de peso y durabilidad es un reto técnico, especialmente cuando se intenta optimizar un motor originalmente diseñado para condiciones urbanas y convertirlo en un sistema de alto rendimiento. Surge así la necesidad de analizar cuánto peso es posible reducir del pistón del motor Kappa 1.2L MPI, manteniendo sus características de resistencia y desempeño bajo exigentes condiciones de uso, mediante un enfoque de diseño optimizado en CAD.

### ***1.2.2 Formulación del Problema***

En este contexto, surge la pregunta: ¿Cómo se puede optimizar el diseño del pistón del motor Kappa 1.2L MPI del Hyundai Grand i10 utilizando simulación en CAD para reducir su

masa sin comprometer su resistencia estructural y su funcionamiento en condiciones de alta exigencia?

### **1.2.3 Sistematización del Problema**

- ¿Cuáles son las dimensiones y características técnicas del pistón original que deben ser replicadas en el modelo digital?
- ¿Cuáles son las técnicas de diseño en CAD para la identificación de posibles zonas de reducción de masa del pistón?
- ¿Cuál es el diseño óptimo del pistón que permita preservar su resistencia y durabilidad?

## **1.3 Objetivo de la Investigación**

### **1.3.1 Objetivo General**

Optimizar topológicamente el pistón del motor Kappa 1.2L MPI mediante simulación.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Modelar el pistón del motor Kappa 1.2L MPI en CAD respetando las dimensiones y características reales del componente original.
- Aplicar técnicas de diseño en CAD para la identificación de posibles zonas de reducción de masa del pistón.
- Determinar el diseño óptimo del pistón preservando su resistencia y durabilidad.

## **1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación**

La presente investigación se enfoca en la optimización del diseño del pistón del motor Kappa 1.2L MPI del Hyundai Grand i10, utilizando exclusivamente CAD para reducir su masa sin comprometer su resistencia estructural. A través de técnicas avanzadas de simulación por elementos finitos (FEA) en esta plataforma, se busca mejorar el rendimiento del pistón, particularmente para aplicaciones de alta exigencia. El estudio se justifica por su potencial para

contribuir al desarrollo de motores más ligeros y eficientes, limitando el análisis únicamente al entorno de CAD.

#### ***1.4.1 Justificación Teórica***

La optimización de componentes automotrices, específicamente de pistones, ha sido un tema de interés en el campo de la ingeniería automotriz debido a su impacto directo en la eficiencia y rendimiento de los motores. Esta investigación se fundamenta en teorías de dinámica de fluidos y materiales aplicados a motores de combustión interna, apoyada en el análisis de elementos finitos (FEA) para evaluar la integridad estructural de componentes sometidos a condiciones extremas. Además, se busca contribuir al cuerpo teórico existente sobre la optimización de diseño de pistones mediante la reducción de peso, tomando en cuenta los avances tecnológicos en el uso de software de simulación como CAD. Los resultados proporcionarán una base teórica para futuras investigaciones en el diseño de pistones, con aplicaciones tanto en vehículos de uso urbano como en competencias.

#### ***1.4.2 Justificación Metodológica***

Desde una perspectiva metodológica, esta investigación utilizará técnicas avanzadas de modelado 3D y simulación por elementos finitos (FEA) en CAD. Esta metodología permite realizar un análisis preciso del comportamiento estructural del pistón bajo diferentes condiciones de operación, como carga, temperatura y presión. Se seleccionó esta herramienta de simulación debido a su capacidad para proporcionar resultados detallados sobre la distribución de tensiones y deformaciones en componentes mecánicos. La metodología garantiza que el proceso de optimización esté respaldado por datos precisos y replicables, minimizando riesgos y optimizando tiempos de desarrollo.

#### ***1.4.3 Justificación Práctica***

La reducción de la masa del pistón del motor Kappa 1.2L MPI del Hyundai Grand i10 tiene importantes implicaciones prácticas en el ámbito del diseño y fabricación de motores

más eficientes y competitivos. Al disminuir la masa del pistón sin comprometer su resistencia, se espera mejorar la respuesta del motor, reducir la inercia de los componentes internos y optimizar el consumo de combustible. Este tipo de optimización puede ser particularmente valiosa en vehículos de competencia, donde cada mejora en peso y eficiencia puede traducirse en una ventaja significativa.

#### **1.4.4 Delimitación Temporal**

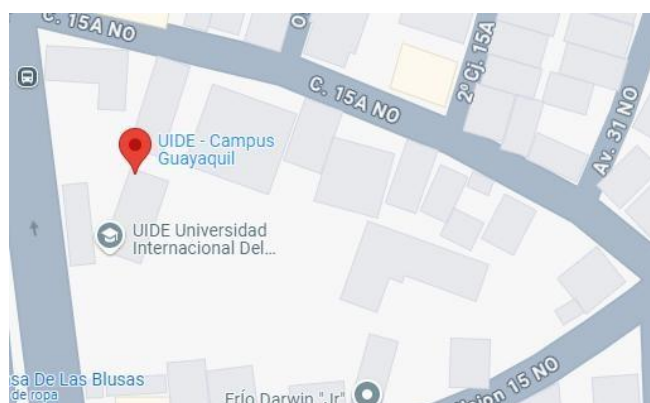
El presente proyecto se desarrollará durante un período de 4 meses, comenzando en octubre de 2024 y finalizando en febrero de 2025.

#### **1.4.5 Delimitación Geográfica**

El estudio se realizará con datos obtenidos del pistón del motor Kappa 1.2L MPI del Hyundai Grand i10, con foco en un contexto global de ingeniería automotriz, la recolección de información, simulaciones y análisis se llevarán a cabo en la ciudad de Guayaquil, tanto en el domicilio como en la Universidad Internacional del Ecuador dado que se trata de diseño y simulación.

### **Figura 1**

*Ubicación Geográfica de la Universidad Internacional del Ecuador.*



Tomado de: (Google Maps, 2024)

#### **1.4.6 Delimitación del Contenido**

El contenido de la investigación se centrará exclusivamente en la optimización del diseño del pistón del motor Kappa 1.2L MPI mediante el uso de CAD. No se incluirán otros

componentes del motor, ni análisis relacionados con el rendimiento del motor. El estudio estará limitado al análisis estructural y de peso del pistón, excluyendo cualquier intervención física o pruebas experimentales en motores reales. La optimización se basará en simulaciones y análisis computacionales, con un enfoque en la reducción de masa manteniendo la integridad estructural del pistón.

## Capítulo II

### Marco Referencial

#### 2.1 Marco Teórico

El desarrollo y análisis de componentes en motores de combustión interna han sido pilares fundamentales en la ingeniería automotriz y mecánica. Dentro de estos sistemas, el pistón juega un rol crucial al ser el encargado de transformar la energía generada por la combustión en movimiento mecánico, permitiendo que el vehículo funcione eficientemente. La importancia del diseño optimizado de pistones radica en su impacto directo sobre la eficiencia del motor, el consumo de combustible, y la durabilidad de las piezas involucradas en el ciclo de combustión. Se contempla conceptos fundamentales sobre los materiales empleados en la fabricación de pistones, el análisis de esfuerzos y deformaciones, la transferencia de calor, y los ciclos de carga a los que son sometidos durante el funcionamiento del motor.

Cada uno de estos aspectos es esencial para comprender las variables que influyen en el rendimiento del pistón y en el desgaste de sus componentes. Además, se exploran innovaciones en materiales y técnicas de simulación para predecir y optimizar su comportamiento bajo condiciones de operación exigentes.

##### 2.1.1 *Optimización Estructural*

La optimización estructural busca maximizar la eficiencia y resistencia del pistón minimizando el material y, por lo tanto, su peso. Esto requiere un equilibrio cuidadoso entre diferentes factores de diseño y análisis para asegurar que el pistón pueda soportar condiciones extremas de presión y temperatura sin comprometer su integridad estructural.

Según (FormLabs, 2024), como la optimización topológica la cual tiene un enfoque que se centra en identificar las áreas del pistón donde se puede reducir el material sin afectar su resistencia estructural. Se utiliza una combinación de simulaciones que muestran cómo se puede redistribuir el material de manera óptima para lograr el máximo rendimiento.

En la práctica, la optimización topológica involucra definir el material, los límites de carga y restricción, y luego dejar que el software "reconstruya" el diseño dentro de esos parámetros. De igual manera el análisis modal es crítico en motores de alto rendimiento, donde la frecuencia de vibración y las resonancias naturales pueden inducir tensiones adicionales en el pistón.

Este tipo de análisis permite simular las condiciones de vibración para prever si el pistón va a responder adecuadamente o si necesita ser rediseñado para evitar problemas como fatiga o fracturas por resonancia. También es de considerar que, en condiciones de funcionamiento típicas, el pistón está expuesto a ciclos repetitivos de carga y descarga.

Según (Neurtek, 2024), el análisis de carga de fatiga permite determinar la vida útil del pistón bajo estos ciclos, identificando el número de ciclos que soportará antes de fallar. Este análisis es fundamental para aplicaciones en las que la durabilidad del pistón es crucial, y permite predecir y mejorar su resistencia ante el desgaste progresivo.

### ***2.1.2 Optimización de Diseño en Ingeniería Automotriz***

La optimización de diseño en ingeniería automotriz es una estrategia clave para mejorar el rendimiento de los componentes del vehículo, como los pistones, sin comprometer su durabilidad ni seguridad (Automotive, 2022).

## **Figura 2**

### ***Pistón Animación 3D***



Tomado de: (MotorService Group, 2018)



A través de este proceso, se logra una mejora en la eficiencia de los componentes, lo que contribuye tanto al desempeño del motor como a la reducción de su consumo de combustible (Figura 2).

**2.1.2.1 Optimización Geométrica.** La geometría del pistón se optimiza para hacer un uso más eficiente del material, permitiendo una distribución equilibrada de las cargas. Esto implica eliminar zonas de material en áreas donde las tensiones son mínimas, lo que ayuda a reducir el peso general del pistón, y reforzar las áreas sometidas a cargas más altas. Este enfoque permite que el pistón sea más ligero y conserve la resistencia necesaria para operar en condiciones exigentes.

**2.1.2.2 Evaluación de Resistencia y Durabilidad.** Una vez optimizado, el diseño del pistón se somete a pruebas rigurosas de resistencia para verificar su capacidad de soportar las tensiones y temperaturas de funcionamiento real. Estas evaluaciones aseguran que el pistón mantenga su integridad estructural y no sufra deformaciones o rupturas prematuras, garantizando así un funcionamiento seguro y prolongado en el motor.

### **2.1.3 Ciencia de Materiales Aplicada a Pistones**

La selección del material es uno de los factores determinantes en el diseño de pistones. La ciencia de materiales estudia las propiedades y el comportamiento de los materiales bajo diferentes condiciones, como altas temperaturas y cargas, para seleccionar el material adecuado para el pistón (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Materiales de Pistones*

Material	Composición %	Material	Composición %
Aluminio	80.54	Magnesio	1.181
Silicio	12.362	Zinc	0.075
Hierro	0.456	Cromo	0.002
Cobre	4.361	Níquel	0.946
Manganeso	0.011	Titanio	0.011

Teniendo como referencia o más importantes dentro de la selección del material para los pistones, podemos clasificarlos en:

**2.1.3.1 Aleaciones de Aluminio.** Son las más comunes en motores livianos y de alto rendimiento debido a su baja densidad y alta conductividad térmica. Las aleaciones de aluminio permiten fabricar pistones más ligeros, lo cual reduce la carga en el cigüeñal y mejora la eficiencia del combustible. Sin embargo, también requieren tratamientos para evitar el desgaste en condiciones de alta fricción.

**2.1.3.2 Aleaciones de Acero.** Estas son más densas y pesadas que el aluminio, pero ofrecen una mayor resistencia al desgaste y a la fatiga, lo que las hace ideales para motores que deben soportar grandes cargas. Su aplicación es común en motores industriales y comerciales de alto rendimiento, donde el peso no es un factor tan crítico.

**2.1.3.3 Compuestos de Cerámica y Materiales de Fibra.** Estos materiales se están investigando para mejorar la resistencia a temperaturas extremas y reducir el desgaste. La cerámica tiene una excelente resistencia a la corrosión y la oxidación, pero es frágil, por lo que se están desarrollando compuestos que combinen su resistencia con flexibilidad.

#### ***2.1.4 Pistones en Motores de Combustión Interna***

Los pistones son componentes fundamentales en los motores de combustión interna, responsables de transformar la energía térmica producida en el proceso de combustión en energía mecánica que permite el funcionamiento del motor (FlexFuel, 2022). Su diseño y funcionamiento influyen directamente en la eficiencia y el rendimiento del vehículo, destacándose tanto por su capacidad de soportar condiciones extremas como por su importancia en la optimización del ciclo de combustión.

**2.1.4.1 Función del Pistón.** El pistón cumple la función vital de convertir la energía química liberada durante la combustión del combustible en movimiento lineal, el cual se

transmite a través de la biela al cigüeñal. Este movimiento lineal se transforma en movimiento rotacional, que finalmente impulsa el vehículo.

Durante el ciclo de combustión, el pistón se mueve rápidamente dentro del cilindro, experimentando variaciones de presión y temperatura significativas. La precisión en su funcionamiento asegura una transmisión de energía eficiente, minimizando las pérdidas térmicas y contribuyendo a la estabilidad de la potencia entregada por el motor (Medina, 2019). Además, su interacción constante con otros componentes, como los anillos de compresión y los bulones del pistón, es esencial para mantener la presión y evitar fugas de gases.

**2.1.4.2 Diseño del Pistón.** El diseño del pistón es una combinación de ligereza, resistencia y durabilidad, buscando siempre un equilibrio entre peso y rigidez para minimizar la inercia sin comprometer su estructura. Para mejorar el rendimiento del motor y reducir el consumo de combustible, los pistones deben ser lo suficientemente ligeros como para reducir la inercia y, al mismo tiempo, ser resistentes a las altas temperaturas y presiones generadas en el proceso de combustión (Barona López Gustavo, 2019).

La forma del pistón, su aleación y características, como las ranuras para los anillos de compresión y de control de aceite, permiten no solo una combustión eficiente sino también la reducción del desgaste. En aplicaciones de alta potencia, como en motores de competición, el diseño del pistón puede incluir modificaciones específicas para maximizar la durabilidad y responder mejor a mayores revoluciones y cargas.

**2.1.4.3 Materiales del Pistón.** Los materiales utilizados en la fabricación de pistones desempeñan un papel crucial en su rendimiento y durabilidad. Generalmente, se utilizan aleaciones de aluminio por su ligereza y buena conductividad térmica, lo que permite una rápida disipación del calor acumulado durante la combustión.

En ciertos casos, como en motores de alta performance, se pueden emplear pistones de acero o aleaciones especiales para resistir condiciones de mayor presión y temperatura (R.C.

McCune, 2020). Estos materiales también contribuyen a mantener un peso bajo en el pistón, lo cual es esencial para minimizar las fuerzas de inercia y reducir el desgaste del motor, además de mejorar la eficiencia térmica.

### **2.1.5 Tratamientos Térmicos y Revestimientos del Pistón**

Los tratamientos térmicos y los revestimientos son técnicas esenciales para mejorar el desempeño y la durabilidad de los pistones en motores de combustión interna (Otaí, 2023). Debido a que los pistones operan en entornos de altas temperaturas y presiones, es fundamental optimizar su resistencia a la fricción, al desgaste, y su capacidad de disipar el calor, lo que contribuye a una mayor vida útil y un mejor rendimiento del motor, teniendo diferentes tipos de los tratamientos térmicos y los revestimientos.

**2.1.5.1 Templado y Revenido.** Estos tratamientos se utilizan para aumentar la dureza y resistencia del material del pistón, especialmente en pistones de acero. El templado consiste en calentar el pistón a altas temperaturas y luego enfriarlo rápidamente, lo cual modifica su estructura interna y aumenta su resistencia.

El revenido, que suele aplicarse después del templado, se usa para reducir la fragilidad del material, logrando un equilibrio entre dureza y ductilidad, ideal para soportar las vibraciones y cargas constantes.

**2.1.5.2 Tratamiento de Solución Sólida y Envejecido.** En el caso de pistones fabricados con aleaciones de aluminio, el tratamiento de solución sólida seguido de un envejecido artificial mejora significativamente la resistencia mecánica y la capacidad de soportar altas temperaturas.

Según (Lee, 2023), este proceso consiste en calentar el aluminio a una temperatura específica para disolver los elementos de aleación, como el cobre o el silicio, y luego enfriarlo rápidamente. El envejecido controlado endurece el material sin comprometer su maleabilidad.

**2.1.5.3 Nitruración y Carburación:** Estos tratamientos modifican químicamente la superficie del pistón, aumentando su dureza superficial. En la nitruración, se introduce nitrógeno en la superficie del pistón, creando una capa dura que mejora la resistencia al desgaste y reduce la fricción. En la carburación, se añade carbono a la superficie para aumentar la dureza, lo cual es útil en pistones que requieren alta resistencia superficial sin comprometer la tenacidad interna.

**2.1.5.4 Revestimientos de Cerámica.** La cerámica es una opción popular debido a su excelente resistencia al calor y sus propiedades aislantes. Los revestimientos cerámicos ayudan a reflejar el calor de la combustión, reduciendo la transferencia de calor al pistón y, por ende, al sistema de refrigeración.

Además, reducen la fricción entre el pistón y el cilindro, lo cual disminuye el desgaste y contribuye a la eficiencia del motor. Estos revestimientos son especialmente beneficiosos en motores de alto rendimiento donde las temperaturas son extremadamente elevadas.

**2.1.5.5 Recubrimientos de Grafito y Molibdeno.** Los revestimientos de grafito y molibdeno se emplean por sus propiedades autolubricantes y su capacidad para reducir la fricción y el desgaste en el pistón (YENMAK, 2024).

Estos materiales forman una capa suave y resistente sobre el pistón que permite un movimiento más suave dentro del cilindro, lo cual es particularmente beneficioso durante los arranques en frío, cuando el aceite no ha llegado a todos los componentes. Además, estos recubrimientos contribuyen a una menor pérdida de energía, mejorando la eficiencia de combustión.

**2.1.5.6 Revestimiento de PVD (Depósito Físico de Vapor).** Este proceso deposita una capa delgada y dura sobre la superficie del pistón mediante técnicas de evaporación y condensación en una cámara de vacío. Los recubrimientos PVD, como el titanio-nitruro o el carburo de cromo, ofrecen alta resistencia al desgaste y son resistentes a altas temperaturas.

Esta tecnología mejora la durabilidad del pistón y permite una mayor estabilidad bajo condiciones de carga intensa.

### **2.1.6 Distribución de Tensiones y Fatiga**

La resistencia a la fatiga y la adecuada distribución de tensiones en los pistones son aspectos fundamentales para asegurar su durabilidad en el motor, especialmente dado el carácter cíclico de su funcionamiento en cada ciclo de combustión (Recambios, 2022). La exposición continua a altas presiones y temperaturas puede causar tensiones repetitivas en el material, lo que eventualmente lleva a la fatiga si no se han tomado medidas de diseño adecuadas (Figura 3).

#### **Figura 3**

##### *Fallas Prematuras del Pistón*



Tomado de: (MAHLE, 2022)

**2.1.6.1 Zonas de Alto Esfuerzo.** Durante el proceso de diseño, es crucial identificar las zonas del pistón donde se concentra el esfuerzo, ya que estas áreas suelen ser propensas a sufrir daños por fatiga. Estas zonas críticas se pueden reforzar o rediseñar para reducir el riesgo de fracturas y aumentar la resistencia del pistón frente a ciclos continuos de alta presión. Este enfoque permite que el pistón funcione de manera más segura y prolongue su vida útil, al tiempo que mantiene su rendimiento en condiciones extremas.

**2.1.6.2 Análisis de Vida Útil.** El análisis de vida útil calcula el número de ciclos que un pistón puede soportar antes de que ocurra una falla estructural, basándose en los niveles de carga y las condiciones de operación específicas. Estos estudios ayudan a seleccionar los materiales y diseños más adecuados para aplicaciones de alto rendimiento, asegurando que el pistón pueda soportar las exigencias del motor sin comprometer su integridad.

### **2.1.7 Simulación Computacional y CAD en la Optimización de Pistones**

Según (Experts, 2019) el uso de software CAD y simulaciones computacionales es crucial en la etapa de diseño y evaluación de pistones, permitiendo a los ingenieros analizar y modificar el diseño de un pistón sin necesidad de fabricar prototipos físicos.

Los análisis de tensiones permiten observar cómo se distribuyen las cargas en el pistón. La simulación ayuda a identificar zonas críticas donde se podría concentrar el esfuerzo, permitiendo rediseñar esas áreas para evitar fallos estructurales. Las simulaciones CAD permiten prever cómo el pistón responderá a las condiciones de vibración del motor, lo cual es clave para reducir el ruido y el desgaste. Este análisis también contribuye a la durabilidad del pistón, evitando que las vibraciones provoquen fracturas o desgaste irregular.

Según (StudySmarter, 2019), las pruebas de simulaciones térmicas son esenciales para entender cómo el pistón disipa el calor bajo condiciones de alta temperatura. Las simulaciones térmicas permiten a los ingenieros optimizar el diseño para mejorar la disipación de calor, asegurando que el pistón funcione dentro de los límites térmicos seguros.

### **2.1.8 Simulación Computacional de Rendimiento**

Las simulaciones computacionales son herramientas valiosas para predecir el comportamiento de los pistones y evaluar cómo distintos factores, como la carga y la temperatura, pueden afectar su rendimiento en el motor. Según (IntecHeat, 2024), a través de estas simulaciones, los ingenieros pueden observar en detalle las tensiones y deformaciones, y ajustar los diseños para maximizar la eficiencia y resistencia del pistón.

Tales como el modelado y el análisis en CAD con el uso de este software se pueden probar diferentes configuraciones y diseños del pistón sin la necesidad de fabricar prototipos físicos para cada variación. Esto permite a los ingenieros estudiar cómo se comportará el pistón bajo condiciones de carga real, identificando posibles fallos y realizando ajustes necesarios en el diseño para mejorar la respuesta a los esfuerzos a los que estará sometido el componente.

Las simulaciones de carga y temperatura ofrecen una validación preliminar y efectiva del diseño, evaluando la resistencia del pistón antes de pasar a la fase de producción. Esto reduce los riesgos de fallos durante el uso y permite optimizar el rendimiento del producto final, ya que cualquier ajuste o refuerzo necesario se puede realizar con anticipación.

### ***2.1.9 Reducción de Peso en Componentes Automotrices***

Según (Industries, 2024), la reducción de peso es una tendencia clave en la industria automotriz, impulsada principalmente por la necesidad de mejorar la eficiencia del combustible y el rendimiento general del vehículo. En los motores de combustión interna, la optimización del peso de los componentes móviles, como los pistones, es especialmente relevante para mejorar su rendimiento.

Al reducir el peso del pistón, no solo se disminuye el esfuerzo requerido para moverlo, sino que también se reducen las fuerzas inerciales que actúan sobre el conjunto del tren alternativo. Esto tiene efectos positivos en el consumo de combustible, la capacidad de respuesta del motor y la durabilidad de sus componentes.

Uno de los beneficios más importantes de reducir el peso de los pistones es la mejora en el rendimiento general del motor. Un pistón más liviano ejerce una menor carga sobre el cigüeñal y los otros componentes móviles, lo cual reduce el esfuerzo del motor y permite un consumo de combustible más eficiente (Nogales, 2024). Esta disminución en la carga significa que el motor puede operar a mayores revoluciones sin comprometer su durabilidad, logrando un mejor rendimiento en términos de potencia.



Un pistón más ligero también ayuda a reducir la inercia de las partes móviles en el motor, lo que mejora la capacidad del motor para acelerar y desacelerar rápidamente. La inercia es una propiedad física que representa la resistencia de un objeto a cambiar su estado de movimiento; cuanto mayor es la masa de un componente, mayor es su inercia.

Por lo tanto, al reducir el peso del pistón, y demás elementos del tren alternativo, se disminuye la inercia de todo el conjunto móvil, facilitando la variación de las revoluciones del motor y mejorando la respuesta del mismo. Este beneficio es particularmente importante en vehículos de alto rendimiento, donde la rapidez de respuesta del motor es una característica valorada. Además, al reducir la inercia, se disminuye el esfuerzo mecánico en el motor, lo cual contribuye a una menor tasa de desgaste en las partes internas, prolongando la vida útil del motor.

Según (Muñoz, 2025), la reducción de peso en los pistones también contribuye a un menor esfuerzo en el sistema de lubricación y en el sistema de refrigeración del motor. Al ser más ligero, el pistón genera menos fricción con las paredes del cilindro, lo que implica una menor necesidad de lubricación y, por ende, una menor acumulación de calor en el proceso de combustión.

Esto permite que el motor se mantenga en una temperatura óptima por más tiempo, lo que es beneficioso tanto para la eficiencia del motor como para la vida útil de los componentes. Además, en términos de diseño, los pistones más ligeros permiten una mayor flexibilidad en la configuración del motor, abriendo posibilidades para optimizar aún más el rendimiento y la eficiencia del sistema de combustión interna.

#### ***2.1.10 Determinación de la Fuerza y Presión Actuales en el Pistón del Motor***

En esta sección, se calcula la presión máxima en el pistón del motor Kappa 1.2L MPI del Hyundai Grand i10, utilizando datos como el torque máximo, las dimensiones del pistón y la carrera. Este cálculo permite evaluar el desempeño del pistón bajo condiciones de carga

máxima y sirve como base para propuestas de optimización en peso y resistencia del componente.

A continuación, se muestran las ecuaciones necesarias para determinar los valores de fuerza, presión y área del pistón. Estos datos son fundamentales para calcular la presión en el momento de la combustión que actúan sobre la cabeza del pistón y aplicarlos como condiciones de carga en la simulación por elementos finitos. Este enfoque permite evaluar el comportamiento estructural del pistón bajo condiciones de operación reales y optimizar su diseño en términos de resistencia y peso. Siendo para determinar la fuerza generada por la presión de combustión sobre el pistón demostrada en la ecuación (1).

$$\text{Fuerza} = \frac{\text{Torque Máximo}}{\text{Brazo de Palanca}} \quad (1)$$

Donde se tiene gracias a las fichas técnicas los datos necesarios para realizar estas ecuaciones, dándonos que el torque máximo del motor es de 113 Nm y la carrera del pistón es de 0.076 m, para determinar el dato del brazo de palanca se toma la carrera del pistón dividido para 2 quedando en 0.038 m, esto significa que al aplicar la ecuación nos dará una fuerza generada por el pistón es de 2973.68 N.

Dentro de las demás ecuaciones que necesitamos para encontrar la presión, teniendo ya el valor de la fuerza se debe aplicar la ecuación (2).

$$\text{Presión} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área del Pistón}} \quad (2)$$

Aquí, el área es simplemente la fórmula del círculo porque estamos trabajando con la sección transversal del pistón. Siendo la ecuación (3), la indicada para determinar esta área.

$$\text{Área del pistón} = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (3)$$

Teniendo ciertos datos conocidos como el de la fuerza siendo 2973.68 N y el diámetro del pistón proporcionado por la ficha técnica de 0.0715 m podemos continuar con la resolución de las ecuaciones, siendo el resultado del área previamente sustituyendo los datos encontrados,

un valor de  $0.004015 \text{ m}^2$ . Teniendo el área se reemplaza en la ecuación de la presión, siendo así la división de la fuerza por el área, quedando un valor de 740628 Pascales, esto transformándolo a Mega Pascales, queda 0.741 MPa. Este valor representa la presión máxima ejercida sobre el pistón para alcanzar el torque máximo del motor, para las simulaciones se aplicará una presión de 1 MPa por seguridad.

## **2.2 Marco Conceptual**

### **2.2.1 Optimización Topológica**

La optimización topológica es una de las varias técnicas de diseño empleada para establecer una ideal distribución de material en una estructura, con el objetivo de optimizar el desempeño a la vez que se reduce el consumo de recursos (FormLabs, 2024).

Este método emplea algoritmos sofisticados y simulaciones informáticas para determinar la distribución ideal del material de acuerdo a las cargas y las limitaciones particulares. Se utiliza frecuentemente en la ingeniería de componentes estructurales, aeronáutica, automovilística y otras áreas en las que la eficiencia y el ahorro de material son esenciales.

### **2.2.2 Pistón en Motor de Combustión Interna**

Según (Motorba, 2020), el pistón es un elemento crucial en los motores de combustión interna, responsable de convertir la energía producida por la combustión del combustible en energía mecánica. Su diseño debe ser extremadamente eficaz y apto para resistir las elevadas temperaturas, presiones y fuerzas cíclicas producidas durante la operación del motor. Su desempeño tiene un impacto directo en la eficiencia global del motor, así que su diseño debe equilibrar resistencia, durabilidad y eficiencia térmica.

### **2.2.3 Simulación**

La simulación es el procedimiento de replicar las condiciones verdaderas de funcionamiento de un sistema mediante modelos informáticos. En el campo de la ingeniería,

las simulaciones facilitan la predicción del comportamiento de un diseño bajo diversas circunstancias, tales como carga, temperatura o vibraciones. Esto contribuye a perfeccionar los diseños previos a la producción, disminuyendo gastos, periodos de desarrollo y fallos (Unir, 2024).

#### **2.2.4 Modelado**

Según (EuroInnova, 2024), el modelado es el procedimiento de generar una representación de un sistema o elemento a través de instrumentos matemáticos o digitales. En el campo de la ingeniería, el modelado se emplea para generar representaciones tridimensionales de componentes o sistemas, facilitando su análisis y prueba sin la necesidad de producir prototipos tangibles.

#### **2.2.5 Características del Pistón**

El diseño del pistón en un motor de combustión interna debe considerar varios aspectos clave para garantizar su rendimiento, durabilidad y eficiencia. Además, según (Zwick, 2024), el pistón debe ser capaz de soportar las tensiones cíclicas sin fallar, lo que requiere un análisis exhaustivo de la distribución de tensiones y la resistencia a la fatiga. La reducción de peso también es crucial para mejorar la eficiencia y la respuesta del motor, minimizando la inercia sin comprometer la resistencia. Todos estos factores contribuyen a un diseño óptimo que maximiza el rendimiento y la longevidad del motor.

#### **2.2.6 Técnicas de Diseño**

Las técnicas de diseño abarcan los procedimientos y perspectivas empleados para crear productos de forma eficaz y eficiente. Estos abarcan el diseño asistido por computadora (CAD), el estudio de elementos finitos (FEA), el diseño paramétrico, la optimización de materiales, entre otras. Cada método se aplica para solucionar problemas concretos de diseño, tales como incrementar la resistencia, disminuir gastos o perfeccionar los procesos.

### **2.2.7 Reducción de Masa**

La reducción de masa es una táctica relevante en el diseño de componentes, particularmente en usos donde la eficiencia y la disminución del uso de energía son esenciales. Al disminuir el peso de un elemento, se reducen las fuerzas inerciales que influyen en el sistema, lo que incrementa el desempeño y la eficiencia, particularmente en sistemas como vehículos o aeronaves. La disminución de peso puede alcanzarse a través de la elección de materiales ligeros, la mejora geométrica y la aplicación de métodos como la optimización topográfica.

### **2.2.8 Diseño Óptimo**

El diseño óptimo se refiere a la creación de un sistema o componente que cumple con todas las especificaciones requeridas de la manera más eficiente posible. Esto implica no solo encontrar el equilibrio entre costo, rendimiento y durabilidad, sino también considerar factores como la facilidad de fabricación, la sostenibilidad y la seguridad (Eurystic, 2024).

El diseño óptimo se logra mediante el uso de herramientas computacionales, simulaciones y análisis avanzados que permiten explorar diferentes soluciones antes de llegar a la final de cada una de las simulaciones o diseños de los componentes que se están trabajando, dando así que cada una de estas logra un objetivo específico.

### **2.2.9 Resistencia**

La resistencia se refiere a la capacidad de un material o elemento de resistir cargas, tensiones y fuerzas sin experimentar defectos o deformidades duraderas. En el campo de la ingeniería, se mide la resistencia a diferentes clases de esfuerzos, tales como la compresión, tracción, torsión y flexión.

El diseño de componentes debe tener en cuenta la resistencia del material, junto con la forma y el procedimiento de producción, para asegurar que puedan resistir las condiciones de uso durante toda su duración.

### **2.2.10 Durabilidad**

Según (Zwick, 2024), la durabilidad se refiere a la habilidad de un elemento o sistema de soportar el desgaste, el cansancio y otros procesos de degradación a través del tiempo sin presentar fallos. Es particularmente significativo en productos que se encuentran expuestos a condiciones de uso extremas o ciclos de uso repetitivos. Es necesario que los ingenieros diseñen para incrementar la durabilidad a través de la utilización de materiales apropiados, tratamiento térmico, control de calidad y simulaciones de cansancio.

### **2.2.11 Presión**

La presión representa una fuerza por unidad de superficie que se aplica a un material o elemento, y es uno de los elementos más relevantes a considerar en el diseño de componentes mecánicos. Es necesario diseñar los componentes para resistir las presiones que surgen durante su operación, particularmente en sistemas como motores, bombas y estructuras que se encuentran expuestas a cargas dinámicas o estáticas. Es crucial evaluar la presión para garantizar que el componente no se derrumbe o se deforme bajo dichas cargas (Leskow, 2024).

### **2.2.12 Temperatura**

La temperatura influye de manera considerable en el desempeño y la integridad de los materiales en el campo de la ingeniería. Los materiales pueden responder de forma distinta a los cambios de temperatura, lo que puede influir en su resistencia, ductilidad y habilidad para disipar calor. Es fundamental que los elementos sean fabricados para soportar los picos de temperatura previstos, particularmente en ambientes de altas temperaturas como los motores o sistemas de producción de energía. La administración del calor en el diseño es esencial para prevenir averías anticipadas.

### **2.2.13 Material**

El material es un elemento crucial en el diseño de cualquier elemento, puesto que define sus características mecánicas, térmicas y químicas. Los materiales se deben escoger

meticulosamente de acuerdo a las demandas particulares del componente, tales como la resistencia al desgaste, la conductividad térmica, la resistencia a la corrosión y la sencillez de producción.

#### ***2.2.14 Ecuaciones***

En la ingeniería, las ecuaciones son instrumentos matemáticos esenciales que detallan la conducta de los sistemas físicos. Estos modelos pueden emplearse para simular fuerzas, movimientos, temperaturas, presiones y otros fenómenos pertinentes. En la elaboración de componentes, las ecuaciones posibilitan anticipar el comportamiento de un sistema bajo determinadas circunstancias, lo que simplifica la toma de decisiones y la comprobación de los diseños.

## **Capítulo III**

### **Modelación, Simulación y Optimización del Pistón**

Este capítulo detalla los métodos utilizados para el diseño, modelado y estudio del pistón del motor de combustión interna (MCI). Estas tareas comprendieron la recolección de medidas del pistón inicial, la elaboración de un modelo 3D en CAD, y la subsiguiente simulación computacional para valorar su rendimiento bajo condiciones de funcionamiento reales.

Adicionalmente, se llevó a cabo una importación del modelo a Autodesk Inventor para realizar análisis adicionales, garantizando un diseño optimizado que satisfaga las metas de rendimiento, durabilidad y disminución de peso.

El diseño de este estudio no solo se centra en la valoración de las características mecánicas y térmicas del pistón, sino también en la comprobación de cambios orientados a disminuir su peso y potenciar su resistencia estructural. Este método garantiza que las mejoras aplicadas sean factibles tanto en términos de producción como de rendimiento, logrando los propósitos del proyecto. Además, se aspira a que los resultados alcanzados sean reproducibles y valiosos como fundamento para futuros estudios o avances en elementos parecidos.

#### **3.1 Selección y Características del Pistón**

El pistón escogido para esta investigación se asemeja al motor Kappa 1.2L MPI del Hyundai Grand i10, un motor de combustión interna (MCI) de ciclo Otto, frecuentemente empleado en vehículos de pequeña y mediana cilindrada. Este motor, reconocido por su confiabilidad y eficacia, ha sido adquirido por varias marcas en el sector de vehículos urbanos gracias a su habilidad para proporcionar un rendimiento óptimo con un consumo moderado de carburante.

Específicamente, el pistón tiene un rol vital en el motor, dado que es el elemento encargado de convertir la energía térmica producida por la combustión en trabajo mecánico, que posteriormente se transmite al sistema de bielas y cigüeñal, propulsando el vehículo.



La selección de este pistón, como se muestra en la figura 5, se basó en su importancia en el sector automotriz y su habilidad para suponer un reto técnico en cuanto a optimización. Este pistón es un elemento esencial para el correcto desempeño del motor, dado que impacta directamente en diversos factores de rendimiento como la eficiencia térmica, la potencia producida y la longevidad del motor en su totalidad.

#### **Figura 4**

*Pistón Hyundai 1.2L*



Tomado de: (Mercado Libre, 2024)

Su diseño surge de un equilibrio exacto entre varios factores, tales como la disminución de peso, la resistencia a altas temperaturas y la longevidad bajo condiciones de funcionamiento extremas, atributos cruciales para prolongar la vida útil del motor y conservar su eficiencia durante un extenso periodo.

Además, el diseño del pistón en este motor está perfeccionado para proporcionar una respuesta óptima en cuanto a aceleración y eficiencia de la combustión. Se escogió su geometría y materiales para resistir las altas presiones y temperaturas que experimenta durante el ciclo de funcionamiento del motor, sin afectar la eficacia del combustible ni incrementar el desgaste prematura.

Esto convierte al pistón en un elemento óptimo para estudios y análisis de optimización, dado que cualquier optimización en su diseño podría conducir a un incremento notable de la

eficiencia global del motor, lo que se refleja en disminución de emisiones, mejor desempeño y menor consumo de combustible.

### **3.1.1 Criterios de selección**

La elección del pistón del motor Kappa 1.2L MPI para este análisis se basó en una serie de criterios que garantizan la factibilidad y pertinencia técnica del proyecto, asegurando que el análisis no solo sea relevante para la situación actual de la industria automotriz, sino que también brinde resultados valiosos para futuras optimizaciones de componentes. Los criterios definidos incluyen varios elementos, desde la congruencia con los propósitos del estudio hasta la posibilidad de llevar a cabo análisis exhaustivos a través de simulaciones computacionales sofisticadas.

El pistón escogido es muy emblemático de los motores modernos de cilindrada reducida, que son esenciales en la industria de los vehículos de uso urbano. Estos motores, especialmente el Kappa 1.2L MPI, se distinguen por su balance entre eficiencia, rendimiento y durabilidad, lo que los hace una base ideal para llevar a cabo investigaciones de optimización que puedan ser implementadas en una extensa variedad de vehículos compactos.

### **3.1.2 Relevancia Técnica**

El pistón del motor Kappa 1.2L MPI posee propiedades técnicas sofisticadas que lo hacen un aspirante perfecto para investigaciones de optimización. Dentro de estos elementos sobresale su diseño, de fábrica, que incorpora componentes fundamentales de la ingeniería de automóviles dirigidos a incrementar la eficiencia y la resistencia del componente. 4

Uno de los objetivos más importantes en la mejora de los pistones es la optimización de la masa, dado que un peso reducido ayuda a disminuir la inercia del motor, potenciando la aceleración y la eficiencia global del motor.

Adicionalmente, el pistón debe ser apto para soportar altas temperaturas y presiones producidas en la cámara de combustión, lo que demanda un estudio minucioso de su resistencia

al calor. Estos dos elementos, unidos a la necesidad de preservar la confiabilidad a largo plazo, ofrecen un terreno perfecto para llevar a cabo investigaciones sofisticadas de optimización. Concretamente, el estudio de la distribución de tensiones, la eficiencia térmica y las potenciales optimizaciones en el diseño para disminuir el peso del pistón sin comprometer su resistencia estructural son aspectos vitales para garantizar que el pistón pueda satisfacer las exigencias de rendimiento y durabilidad de los motores actuales.

### **3.2 Metodología Aplicada**

El estudio utilizará un enfoque integral basado en modelado 3D y simulación computacional mediante herramientas de diseño asistido por computadora (CAD). En la primera etapa, se procederá a modelar el pistón del motor Kappa 1.2L MPI en CAD, replicando las dimensiones, características geométricas y materiales del componente original. Esta fase es crucial para asegurar que el modelo virtual sea una representación fiel del pistón real, lo que garantiza la validez de las simulaciones posteriores.

Posteriormente, se aplicará el Análisis de Elementos Finitos (FEA), una técnica que permite evaluar el comportamiento del pistón bajo diferentes condiciones de operación, como variaciones en la carga y la temperatura. El FEA permitirá identificar las áreas del pistón que experimentan menor estrés mecánico y deformación durante su funcionamiento. A través del análisis de la distribución de tensiones y los puntos de concentración de esfuerzo, se podrá determinar cuáles zonas del pistón tienen un margen de seguridad suficiente para ser optimizadas.

Finalmente, se procederá con la optimización del diseño, en la que se harán ajustes para reducir la masa del pistón eliminando material de las áreas identificadas como menos críticas para su integridad estructural. Este proceso no solo busca reducir el peso total del pistón, sino también mejorar su rendimiento térmico y mecánico al redistribuir adecuadamente el material. Las modificaciones realizadas serán verificadas a través de simulaciones adicionales,

asegurando que el pistón optimizado mantenga su resistencia y durabilidad bajo las condiciones operativas exigentes del motor.

### ***3.2.1 Tipo de Estudio***

Este es un estudio experimental y cuantitativo. Se considera experimental ya que se realizarán pruebas virtuales para modificar y optimizar el diseño del pistón, identificando y eliminando masa innecesaria. Las simulaciones en CAD permiten recrear condiciones reales de carga y temperatura, lo que equivale a experimentar con el componente en un entorno controlado sin necesidad de pruebas físicas.

El enfoque es cuantitativo porque los datos recolectados se basan en mediciones numéricas, tales como la distribución de tensiones, deformaciones, y el peso total del pistón. Los resultados se analizarán mediante métricas objetivas para evaluar el impacto de las modificaciones en el diseño, lo que proporciona un análisis preciso y basado en números sobre la viabilidad de las mejoras aplicadas.

## **3.3 Equipos y Herramientas Utilizadas**

Para el desarrollo del mismo, se utilizaron diversos equipos y herramientas, tanto manuales como digitales, que fueron escogidos meticulosamente para asegurar la exactitud y efectividad en cada fase del proceso, desde la toma de medidas hasta la simulación de los resultados.

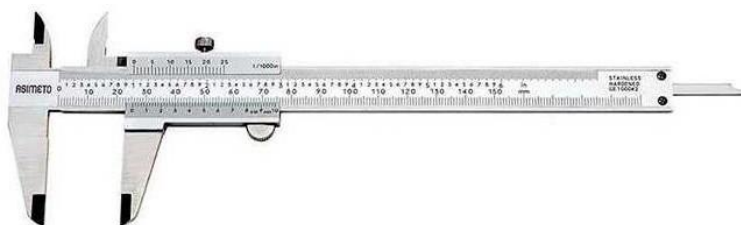
### ***3.3.1 Equipos de Medición Manual***

Los instrumentos de medición manual resultaron esenciales para determinar las dimensiones precisas del pistón, además de llevar a cabo comprobaciones veloces y garantizar que las mediciones se ajustaran a los márgenes de tolerancia. Estos dispositivos resultaron esenciales en la etapa de revisión física del componente y contribuyeron a sentar los cimientos para el modelado en programas CAD.

**3.3.1.1 Calibrador Vernier.** Se empleó el calibrador Vernier con una resolución de 0,02 mm para conseguir medidas exactas de las dimensiones vitales del pistón, tales como su diámetro, altura y ranuras para los anillos de compresión y aceite. Este instrumento facilita la medición precisa, lo que resulta crucial para garantizar que las tolerancias del pistón se conserven dentro de los umbrales necesarios. Esto simplificó el modelado posterior en programas CAD, asegurando que las dimensiones iniciales fueran precisas.

**Figura 5**

*Calibrador Vernier*

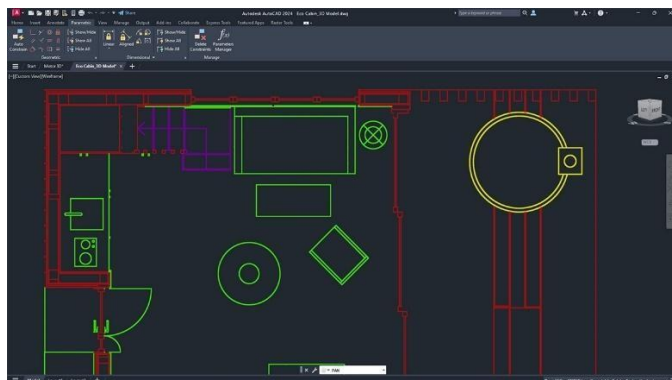


Tomado de: (Elicrom, 2024)

### **3.3.2 Herramientas Digitales y de Modelado**

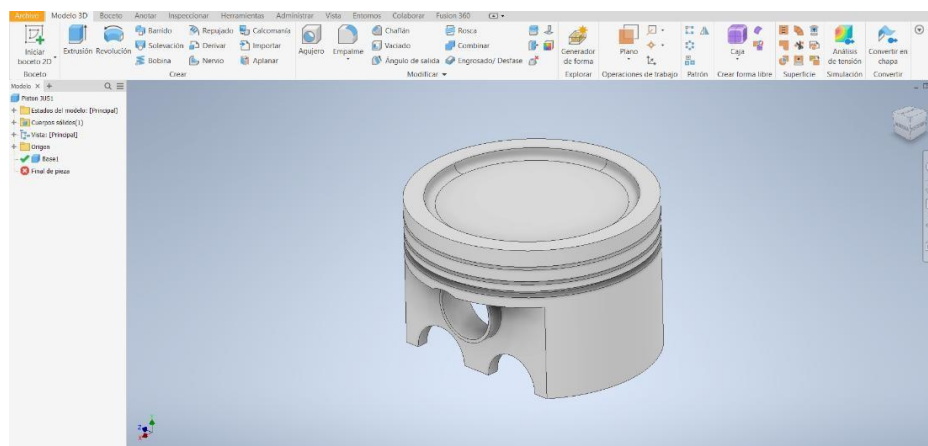
Las herramientas digitales resultaron esenciales para elaborar el modelo tridimensional del pistón y llevar a cabo las simulaciones requeridas para valorar su desempeño bajo diversas circunstancias operativas. Estas herramientas posibilitaron el manejo de las dimensiones sin la necesidad de producir prototipos tangibles y simular diferentes contextos operativos.

**3.3.2.1 Software CAD.** Se empleó el programa CAD para elaborar el modelo tridimensional del pistón. Programas como AutoCAD, SolidWorks y CATIA son habituales en el sector industrial para el modelado de componentes complejos. En este escenario, el programa CAD posibilitó el modelado inicial del pistón, constituyendo el fundamento para el análisis subsiguiente.

**Figura 6***Software de Diseño CAD*

Tomado de: (Autodesk, 2024)

**3.3.2.2 Autodesk Inventor.** Autodesk Inventor se utilizó principalmente para el modelado 3D exhaustivo del pistón y para realizar simulaciones computacionales de mayor complejidad. Este programa dedicado al diseño y simulación de ingeniería facilitó no solo la modelación precisa del pistón, sino también la realización de un análisis de elementos finitos (FEA) para valorar el rendimiento del componente en diversas condiciones de carga y temperatura. Autodesk Inventor brindó los instrumentos indispensables para efectuar modificaciones en el diseño, como la disminución de peso en áreas concretas del pistón, manteniendo a la vez la resistencia estructural y térmica necesarias para su operación.

**Figura 7***Autodesk Inventor*

### 3.4 Procedimiento Experimental

El proceso experimental se desarrolló en tres fases fundamentales, concebidas para garantizar un entendimiento detallado del pistón escogido y su rendimiento bajo condiciones de funcionamiento. Estas fases comprendieron la recopilación de información física, la creación de un modelo digital exacto y la ejecución de simulaciones computacionales sofisticadas para orientar la optimización del diseño.

#### 3.4.1 Toma de Medidas Físicas

La fase inicial se enfocó en la medición del pistón inicial, recolectando la información requerida para el modelado tridimensional. Para lograrlo, se emplearon instrumentos de medición manual de gran exactitud. Se realizaron mediciones de factores esenciales como el diámetro exterior, la altura total, las cavidades para los anillos y el orificio central del bulón. Estas medidas son esenciales para asegurar que el modelo digital reproduzca con precisión las proporciones y particularidades del pistón auténtico, como se muestra en las siguientes figuras.

**Figura 8**

*Toma de Dimensiones del Pistón*



#### 3.4.2 Modelado en CAD

El modelado tridimensional del pistón representó un paso crucial en el progreso del proyecto, pues posibilitó la reproducción exacta de las propiedades físicas del componente y

sentó las bases para futuras evaluaciones y simulaciones. Esta labor se realizó empleando herramientas sofisticadas de diseño asistido por computadora (CAD), las cuales brindan un elevado nivel de exactitud y adaptabilidad en la creación de elementos complejos como los pistones del motor.

El paso inicial en el procedimiento de modelado consistió en elaborar esquemas en dos dimensiones que establecieran los contornos esenciales del pistón. En este sentido, se dibujaron las vistas fundamentales del componente en planos bidimensionales, tales como la vista frontal y la sección transversal.

Este trabajo se llevó a cabo garantizando que las dimensiones representaran con exactitud los datos obtenidos en la fase inicial de medición, siendo estas representadas en las siguientes imágenes.

### **Figura 9**

#### *Dibujo Inicial en CAD*

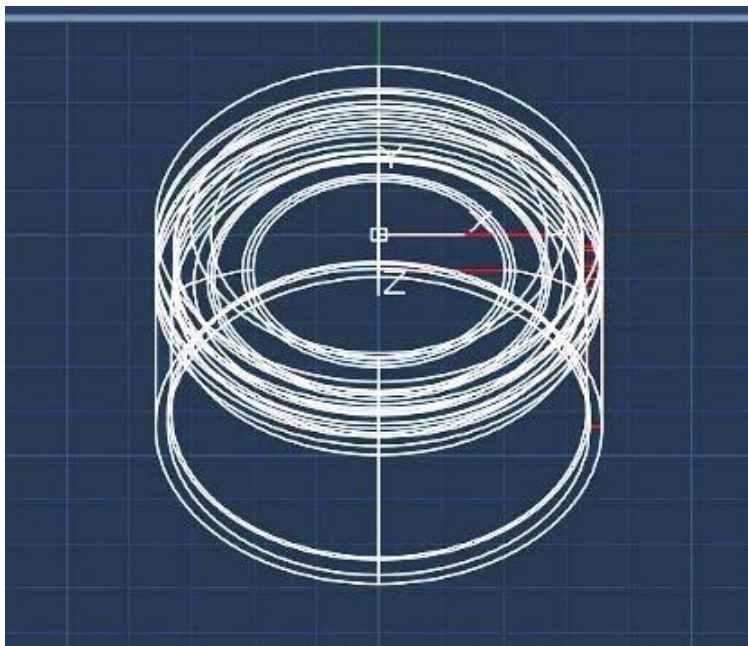


El diseño en permitió establecer una base clara y detallada para las etapas posteriores, incorporando las proporciones correctas y asegurando que todos los elementos esenciales estuvieran representados. Estos bocetos incluyeron detalles como el diámetro exterior, las ranuras para los anillos de compresión y aceite, y la altura general del pistón.

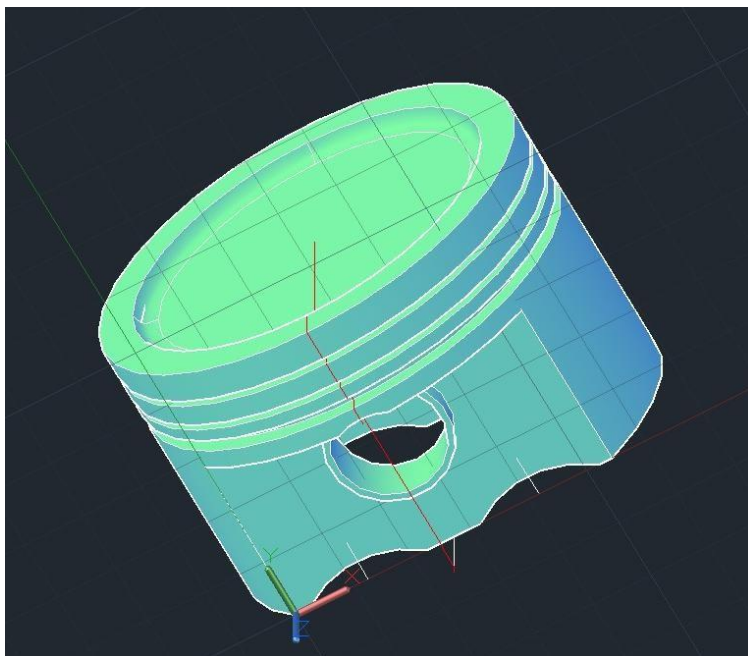


**Figura 10**

*Proceso del Dibujo en CAD*

**Figura 11**

*Finalización del Dibujo en CAD*



### **3.4.3 Proceso de Importación y Simulación en Autodesk Inventor**

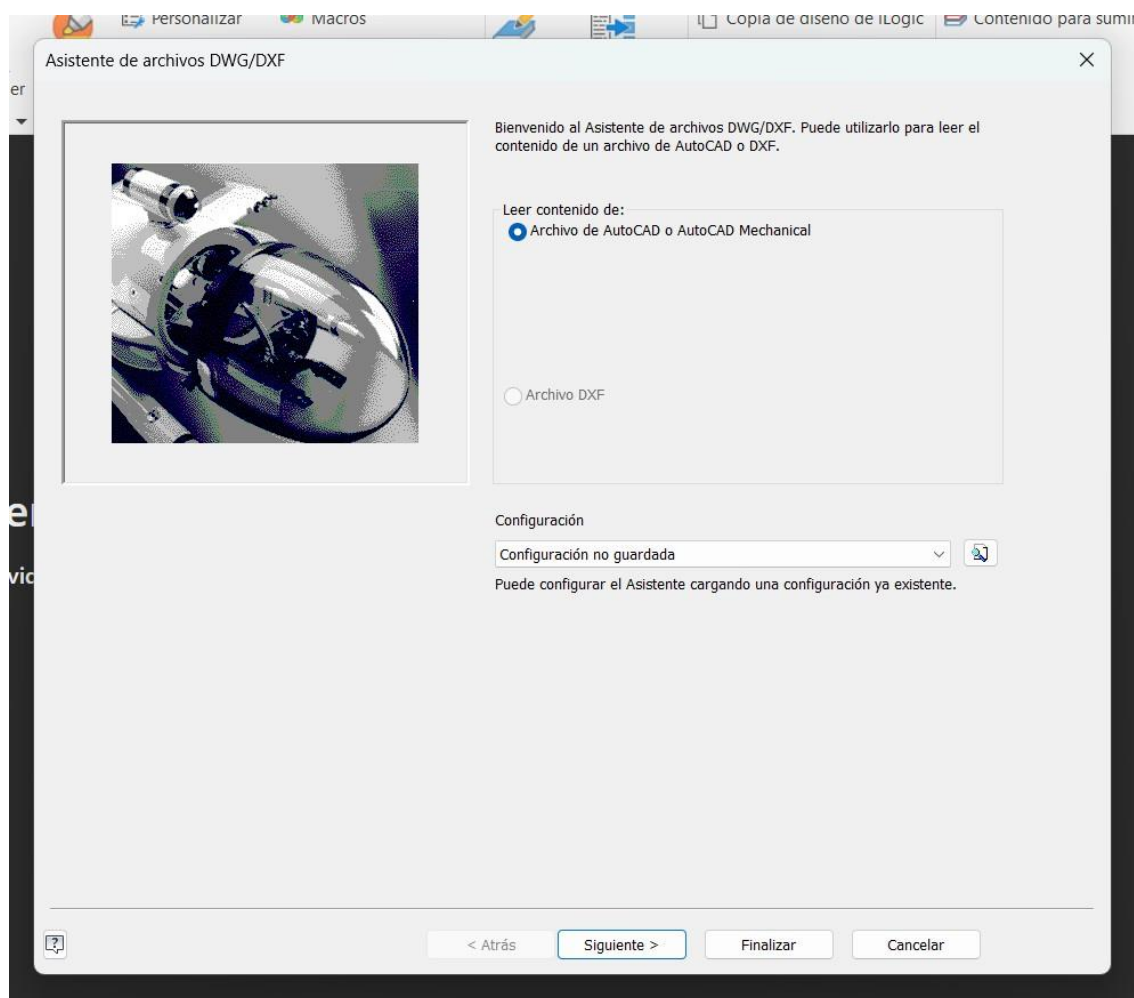
Tras completar el diseño optimizado en el software CAD inicial, se realizó su transferencia a Autodesk Inventor con el propósito de llevar a cabo simulaciones más avanzadas

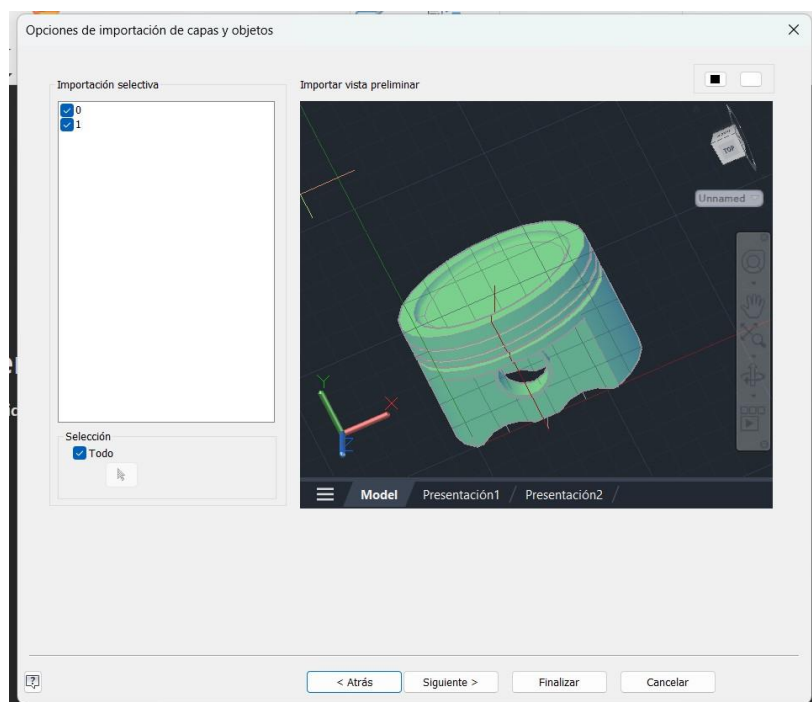
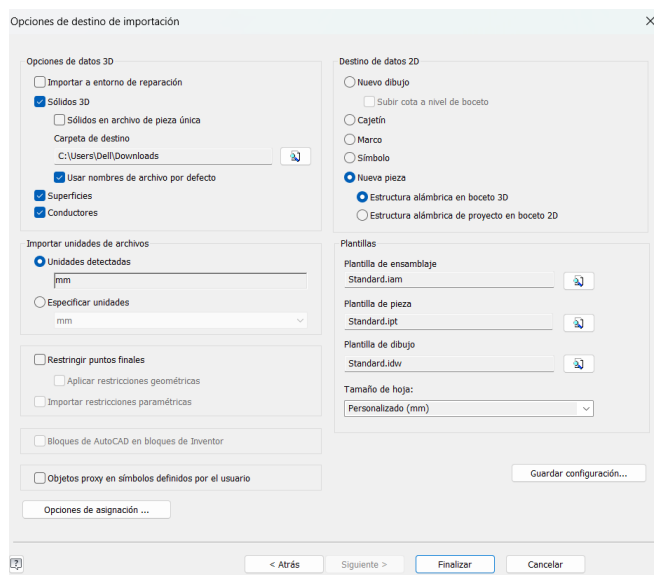
y obtener un análisis detallado del comportamiento del pistón bajo condiciones de operación realistas. Este proceso permitió validar el diseño optimizado y garantizar que cumpliera con los requisitos estructurales necesarios para su funcionamiento en un motor de combustión interna.

El paso inicial implicó exportar el modelo tridimensional desde el programa CAD en el que se creó originalmente hacia Autodesk Inventor. En esta transmisión, se puso un énfasis particular en la compatibilidad de formatos y en la preservación de las unidades y dimensiones originales del modelo. Esto resultó esencial para prevenir diferencias que pudieran comprometer la exactitud de los análisis subsiguientes, indicado en las siguientes figuras.

**Figura 12**

*Importación del Archivo a Inventor*



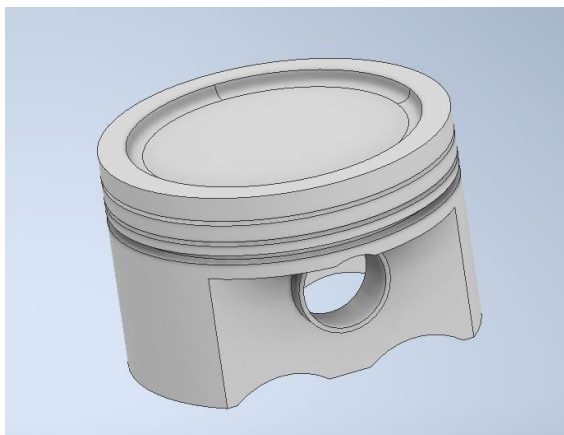
**Figura 13***Opciones de Importación de Capas***Figura 14***Opciones de Destino de Importación*

Se establecieron meticulosamente las alternativas requeridas para asegurar que el procedimiento de importación del modelo tridimensional se llevara a cabo de forma exacta y sin fallos. Esto implicó la elección del formato de archivo apropiado, que sea compatible tanto

con el software CAD original como con Autodesk Inventor, previniendo inconvenientes de compatibilidad o pérdida de datos durante el intercambio.

### **Figura 15**

#### *Importación Final en Inventor*



Para seguir con la labor de simulación y estudio del pistón, se requirió confirmar que las características materiales estuvieran adecuadamente establecidas en Autodesk Inventor. La elección y ajuste exacto de las características del material, tales como la conductividad térmica, el módulo de Young y la resistencia a la tracción, son esenciales para lograr simulaciones realistas y exactas, por lo general o los más usados para esta elección de material son los de aleación de aluminio, viendo igual características esenciales de su tipo para elegirlo para la simulación.

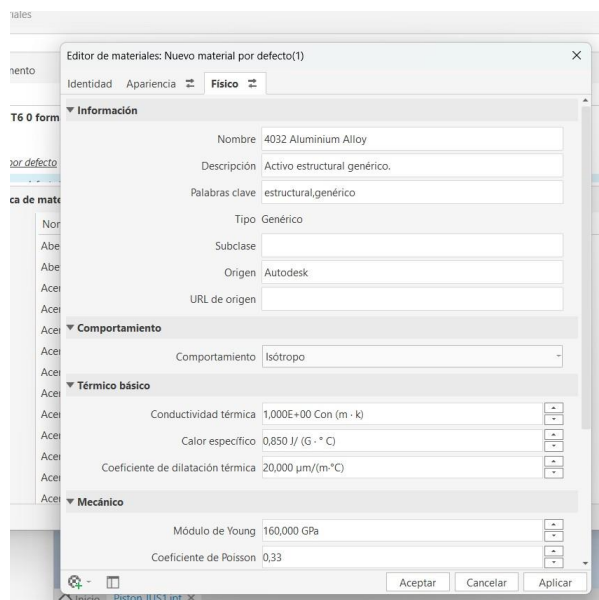
Según (JEAUTO, 2022), el aluminio 4032 es una aleación de alto contenido de silicio que mejora la resistencia al desgaste y reduce la dilatación térmica, características críticas para motores de gasolina de alto rendimiento. En esta situación, se empleó el material Aluminio 4032, una aleación frecuentemente empleada en componentes de alta eficiencia gracias a su magnífica mezcla de resistencia y conductividad térmica.

Comparado con otras aleaciones de aluminio, el 4032 ofrece mayor estabilidad dimensional y resistencia al desgaste, aunque con menor resistencia a altas temperaturas, lo que lo hace adecuado para motores de gasolina en lugar de diésel. Este análisis permite justificar de

forma técnica la selección del aluminio 4032. Además, refuerza la credibilidad de los resultados obtenidos en las simulaciones y análisis del pistón.

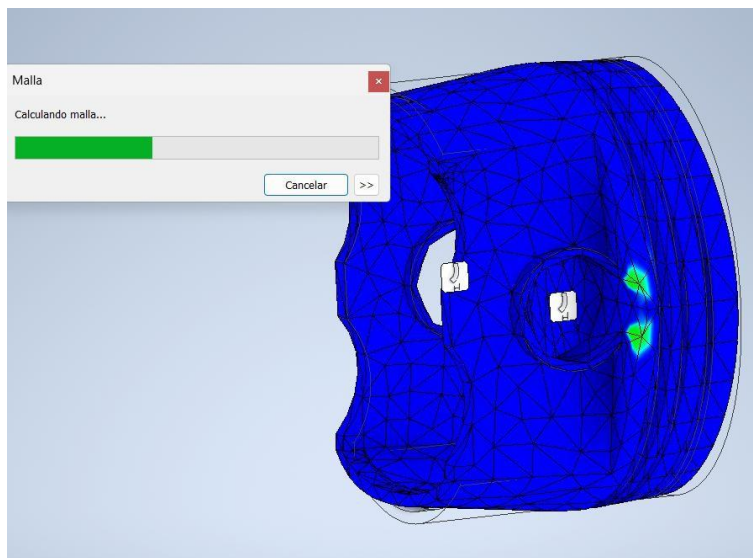
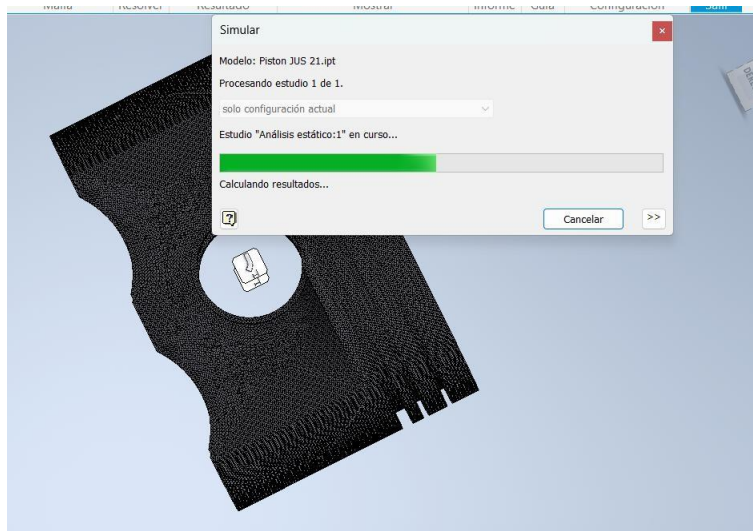
**Figura 16**

### *Creación del Nuevo Material*



En la simulación del pistón utilizando Autodesk Inventor, se consideraron dos zonas fundamentales para establecer las condiciones de carga: el espacio donde se ubica el bulón de conexión y la cabeza del pistón, el cual se realizó primero una malla para poder ejercer las presiones. Estas dos áreas son vitales debido a las tensiones y deformaciones que sufren durante la operación del motor.

Primero, se estableció la zona del bulto, puesto que este elemento desempeña un rol crucial en la transmisión de fuerzas entre el pistón y la biela. Se supone que el bulón está estrechamente vinculado a la biela y, por ende, se definieron condiciones de limitación en esa zona, simulando su inmovilidad para el estudio de tensiones. Esto facilitó la reproducción de las condiciones verdaderas de funcionamiento del motor, en las que el bulón no se mueve durante el ciclo de combustión. Esta fijación aseguró condiciones de carga realistas y aisló las tensiones que influyen en el pistón a causa de las fuerzas producidas por la combustión.

**Figura 17***Ejecución de Malla***Figura 18***Ejecución de Simulación*

En la cabeza del pistón, se ejercieron 1 MPa de presión, un valor que simboliza la presión máxima de combustión que se puede vivir en circunstancias extremas o en ensayos de resistencia. Se utilizó este valor de presión para simular las fuerzas que el pistón soporta durante el proceso de encendido y compresión en el motor. La parte superior del pistón es una de las áreas más sensibles ya que alberga la mayor cantidad de presión producida durante la

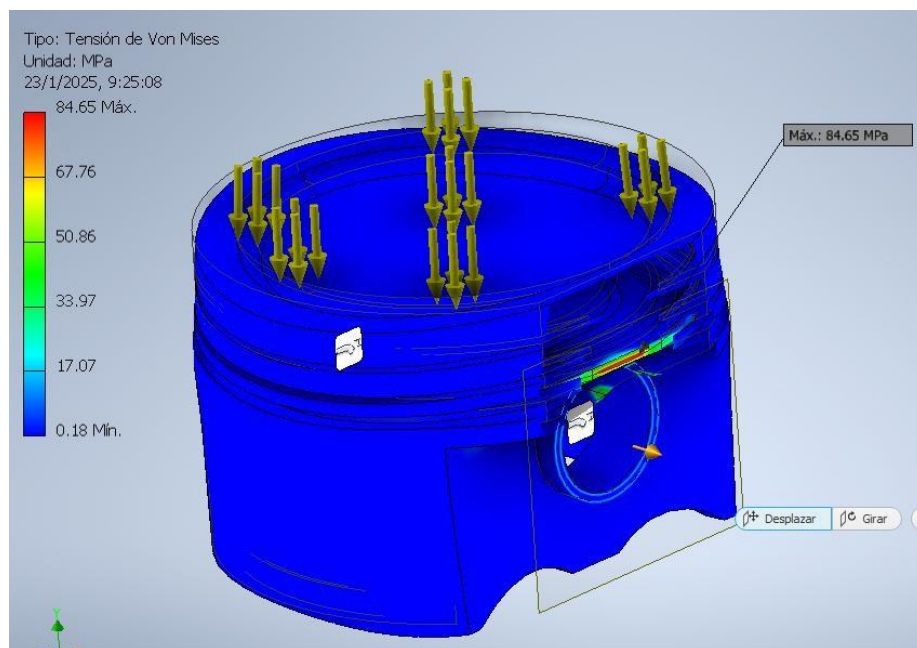
combustión, lo que puede provocar tensiones importantes que impactan su rendimiento y durabilidad.

Una vez aplicadas estas condiciones de carga, se ejecutó la simulación de tensión de Von Mises, un análisis utilizado para predecir la resistencia de los materiales bajo cargas complejas. Este análisis permitió obtener un mapa detallado de las tensiones generadas en el pistón, lo que facilitó la identificación de puntos críticos donde podrían ocurrir fallos o deformaciones.

La simulación de Von Mises proporcionó información valiosa sobre la distribución de las tensiones y ayudó a visualizar cómo el pistón responde a las condiciones de carga. Valor máximo obtenido 84,65 MPa.

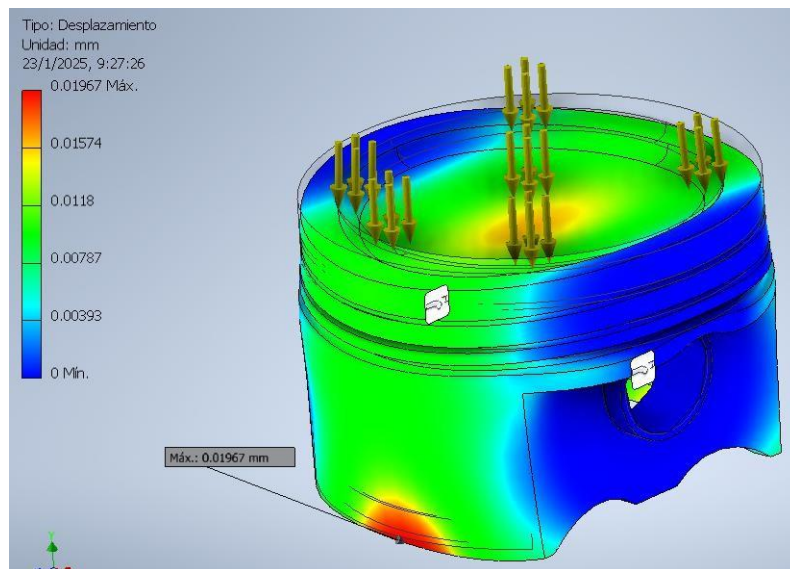
### Figura 19

#### *Simulación Tensión de Von Mises*

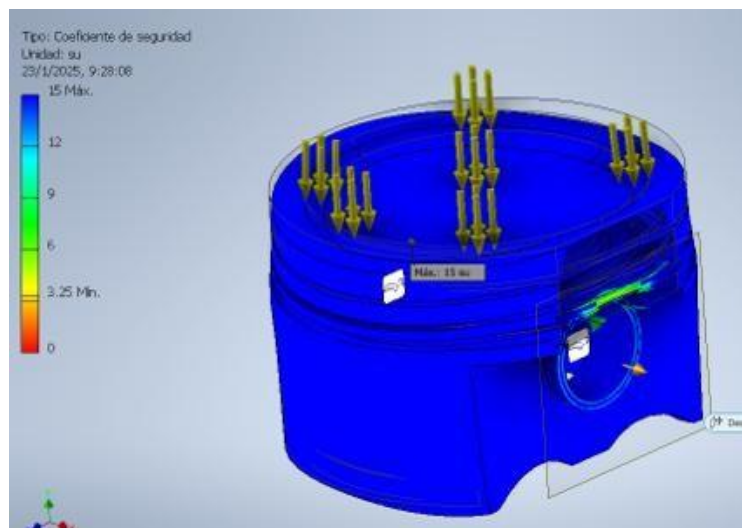


Después se realizó la simulación de desplazamiento con las mismas cargas indicadas anteriormente, este análisis ayudará a identificar zonas donde el pistón podría presentar mayor deformación, ya que estas pueden afectar a su desempeño, los resultados se muestran en la figura 21. Valor máximo obtenido 0,001967 mm.



**Figura 20***Simulación de Desplazamientos*

También se realizó una simulación para obtener el valor de coeficiente de seguridad para el pistón, este análisis brinda información sobre la capacidad del diseño del pistón para soportar las cargas aplicadas sin que este falle. Para este análisis un valor menor a 1 ( $< 1$ ) indica que el elemento puede fallar. Por el contrario, un valor mayor a 1 ( $> 1$ ) indica que el elemento tiene un margen de seguridad. La figura 22 muestra el resultado del análisis. Valor mínimo obtenido 3,25 su.

**Figura 21***Factor de Seguridad*



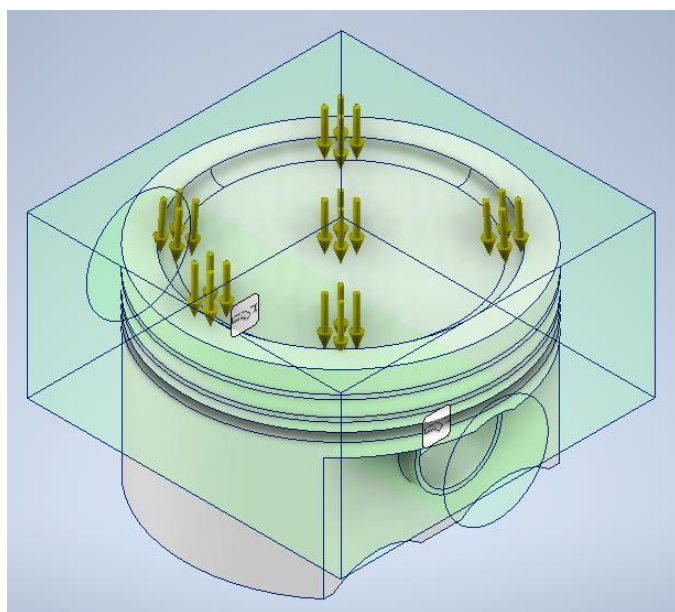
### 3.4.4 Optimización y Simulación del Pistón

El procedimiento de mejora del diseño del pistón se enfocó en disminuir la masa sin afectar su rendimiento mecánico ni la seguridad bajo las condiciones de funcionamiento determinadas. Este método satisface la demanda de incrementar la eficiencia del motor, disminuyendo las fuerzas inerciales vinculadas a los componentes móviles y fomentando un consumo de combustible más reducido. Se fijó como meta disminuir su masa en un 10%. Este porcentaje se estableció en Autodesk Inventor como criterio fundamental para los cambios geométricos, con el objetivo de disminuir peso sin comprometer la integridad estructural del pistón ni sus características mecánicas.

La masa inicial del pistón era de 0.1582 kg, y con la optimización, se logró reducir a 0.1424 kg. Este tipo de reducción contribuye a disminuir las fuerzas inerciales generadas durante la operación del motor, reducir el desgaste de componentes asociados, como las bielas y el cigüeñal y mejorar la eficiencia general del motor al minimizar el consumo de combustible.

**Figura 22**

*Optimización del Pistón*

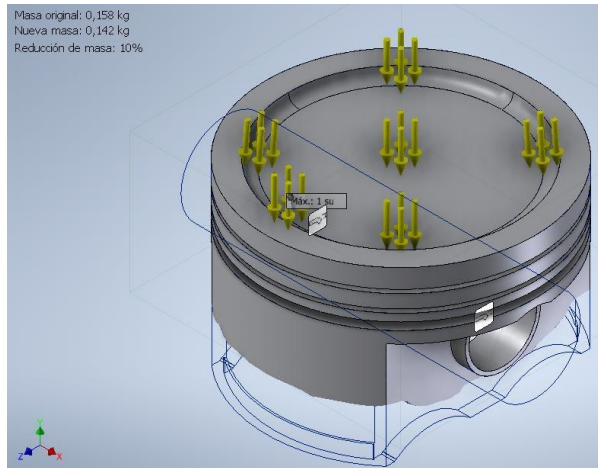


Estas modificaciones incluyeron la optimización de los espacios (esquinas) alrededor de la falda del pistón. Finalmente, se realizaron simulaciones preliminares para verificar que

las modificaciones propuestas mantuvieran las tensiones dentro de los límites permisibles del material, asegurando la viabilidad del diseño optimizado.

**Figura 23**

*Reducción de Masa del Pistón*

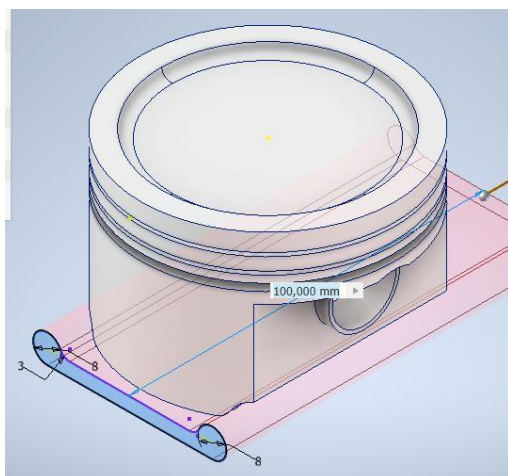


El resultado mostrado en la figura 24 sugiere las partes donde el material es necesario para soportar las cargas aplicadas y también indica donde se puede eliminar material sin comprometer su seguridad.

Seguido se procede a rediseñar el pistón de acuerdo a lo sugerido en la optimización, para esto se realizó una modificación en la falda del pistón, tal como se muestra en la figura 25.

**Figura 24**

*Rediseño del Pistón*



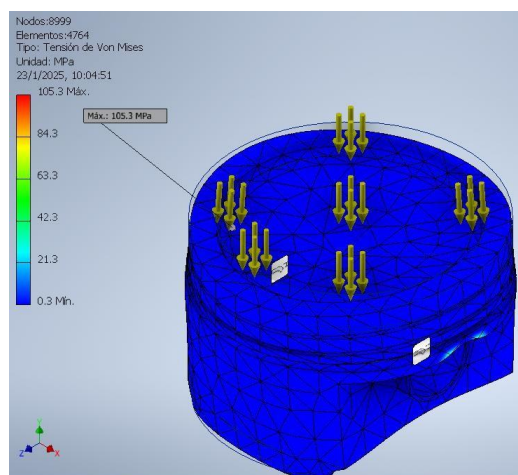
Tras finalizar el proceso de optimización, se llevó a cabo las simulaciones en Autodesk Inventor con el objetivo de confirmar su rendimiento estructural. Este procedimiento es esencial para asegurar que la disminución de peso no ponga en riesgo la integridad del componente ni su habilidad para funcionar bajo las condiciones de carga en un motor de combustión interna.

La figura 26 muestra el resultado del análisis de tensiones de Von Mises del pistón rediseñado. El valor máximo es de 105,3 MPa.

De la misma manera se procedió a realizar el análisis de desplazamiento, el resultado se muestra en la figura 27. El valor máximo es de 0,021 mm.

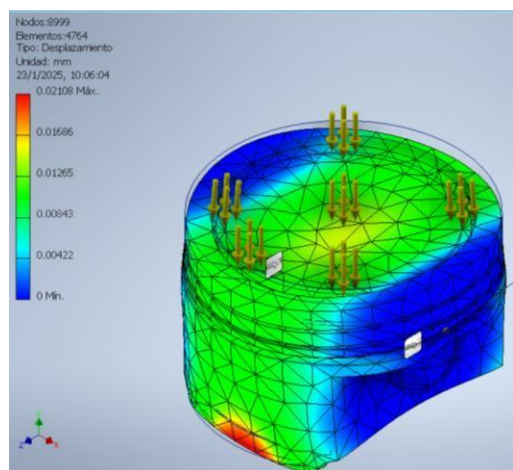
**Figura 25**

Simulación de Tensión de Von Mises



**Figura 26**

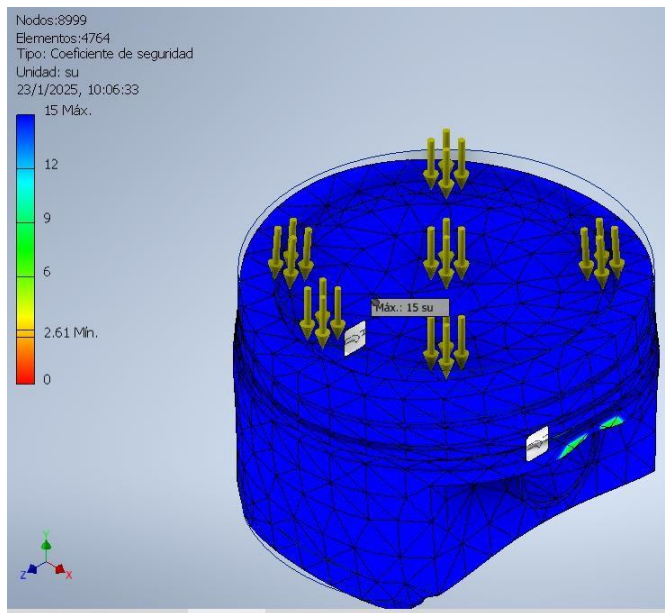
*Simulación de Desplazamiento*



De igual manera se realizó la simulación para obtener el factor de seguridad del pistón rediseñado, obteniendo el resultado mostrado en la figura 28. El valor mínimo obtenido es de 2,61 su.

**Figura 27**

*Coefficiente de Seguridad*



## Capítulo IV

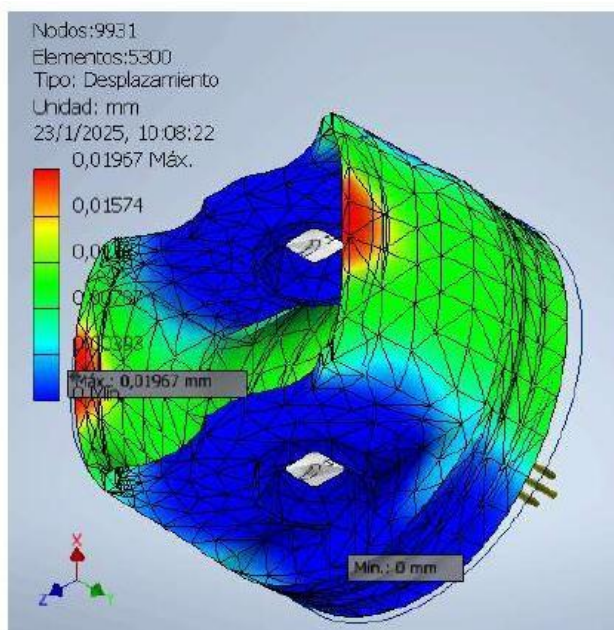
### Análisis de Resultados

Este capítulo expone el estudio de los resultados derivados de las simulaciones efectuadas en el diseño del pistón del motor Kappa 1.2L MPI. El propósito de este estudio es comprender cómo las alteraciones en el diseño del pistón, en particular la disminución de peso, influyen en sus características mecánicas y su rendimiento bajo las condiciones de funcionamiento del motor.

Mediante las simulaciones llevadas a cabo con Autodesk Inventor, se han recopilado datos fundamentales como la tensión de Von Mises, las tensiones principales, los desplazamientos, las deformaciones y el coeficiente de protección. Estos hallazgos facilitan la evaluación del comportamiento estructural del pistón, la identificación de áreas críticas que podrían influir en su durabilidad y desempeño, y establecer si el diseño optimizado satisface las necesidades de seguridad y eficacia.

#### Figura 28

##### *Resultado del Desplazamiento*



#### 4.1 Datos Obtenidos

Los resultados logrados son esenciales para valorar el desempeño del pistón, tanto en su diseño inicial como en su versión mejorada con disminución de peso. Esta información permitirá examinar cómo las modificaciones en la geometría y las características del material afectan las tensiones, los movimientos y las deformaciones en el pistón durante su funcionamiento.

**Tabla 2**

*Datos de la Simulación*

<b>Nombre</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Volumen	58601,8 mm	
Masa	0,158225 kg	
Tensión de Von Mises	0,177478 MPa	84,6546 MPa
Primera tensión principal	-38,3933 MPa	32,1378 MPa
Tercera tensión principal	-104,903 MPa	6,64388 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,0196743 mm
Coeficiente de seguridad	3,24849	15

Estos valores proporcionan una perspectiva completa acerca del comportamiento mecánico del pistón, facilitando la identificación de las áreas críticas, como la falda, y la evaluación de su habilidad para resistir las condiciones laborales a las que será sometido.

Los hallazgos de las simulaciones facilitan la realización de una comparación entre el diseño inicial y el diseño optimizado, aportando información que se utilizará como fundamento para los análisis futuros. A continuación, en la tabla 1 se especifican los valores concretos de las variables principales para ambos escenarios, con el objetivo de visualizar de manera clara las diferencias y establecer si las optimizaciones han influido positivamente en el rendimiento global del pistón.

**Tabla 3***Resumen de Resultados Simulación Pistón*

<b>Parámetros</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>
Volumen	57827,8 mm <sup>3</sup>	57827,5 mm <sup>3</sup>
Masa	0,158225 kg	0,142463 kg
Tensión de Von Mises	84,6546 MPa (máx.)	105,316 MPa
Desplazamiento	0,0196 mm (máx.)	0,02107 mm
Coeficiente de seguridad	3,248 su (mín.)	2,61 su

**4.2 Análisis de Resultados después de la Simulación**

La información recabada de las simulaciones efectuadas para el diseño del pistón optimizado se muestra los resultados logrados, estos son esenciales para valorar el desempeño del pistón, tanto en su diseño inicial como en su versión mejorada con disminución de peso.

**4.2.1 Impacto de la Reducción de Peso en las Tensiones, Deformaciones y Coeficiente de Seguridad**

Los hallazgos de las simulaciones han demostrado un efecto beneficioso después de la disminución del peso del pistón, sin poner en riesgo su integridad estructural. Aunque se registró un aumento en las tensiones máximas obtenidas, los niveles de esfuerzo siguen estando dentro de los límites tolerables, lo que indica que la durabilidad del componente no se ve impactada de forma notable. Esto señala que, a pesar de que el pistón se ha vuelto más liviano, continúa siendo apto para resistir las cargas sin correr riesgos de falla.

A pesar de que las tensiones principales se incrementaron en ciertos aspectos, continúan dentro de los límites de seguridad para el material empleado. Esto señala que el diseño optimizado no se aproxima al límite de resistencia del material, garantizando que el pistón conserve su confiabilidad bajo condiciones de funcionamiento reales. El examen minucioso de las tensiones en zonas críticas asegura que no existan áreas propensas a la fractura.

A pesar de que el desplazamiento máximo ha experimentado un ligero aumento, continúa siendo un valor reducido que no impacta el desempeño del motor ni la solidez del pistón. Los movimientos son mínimos y se conservan dentro de los parámetros de operación estándar, lo que señala que el pistón conserva una rigidez apropiada para su operación sin afectar su eficiencia.

También se han registrado valores positivos en el coeficiente de seguridad, alcanzando un mínimo de 2,61 y dado que se relaciona con pequeñas áreas específicas del pistón no ponen en riesgo la seguridad global del componente. En resumen, el diseño es sólido y satisface los estándares de seguridad.

La tabla 1 muestra una reducción de masa del 0,015762 kg, este valor representa una reducción del 9,962% de reducción de masa. Por si solo parece que no se ha reducido el material de manera significativa, pero si lo vemos por el número de pistones que tenga el motor y la masa que se pueda reducir a otros componentes como, biela, cigüeñal y volante de inercia se podrá notar una masa considerable, lo cual ayudaría al mejor desempeño del motor, en especial a vehículos de competencias.

#### ***4.2.2 Comparación con Métodos Convencionales***

Al contrastar los resultados alcanzados con los valores de pistones tradicionales sin mejora, se puede deducir que la disminución de peso ha sido efectiva sin perjudicar la integridad del componente. A pesar de que la disminución de peso potencia la eficiencia del motor y el ahorro de combustible, no se nota ninguna tendencia a fallos, dado que las tensiones y movimientos se conservan dentro de los límites seguros. El diseño optimizado ha probado ser fiable cumpliendo las expectativas en cuanto a rendimiento y seguridad.



## Conclusiones

El procedimiento de modelado del pistón se desarrolló manteniendo las dimensiones y atributos geométricos del componente inicial. Este procedimiento fue esencial para asegurar que las simulaciones y estudios subsiguientes representaran de manera precisa el comportamiento del pistón en situaciones reales de funcionamiento. El modelado minucioso también permitió identificar zonas críticas en el diseño en las que se podrían aplicar mejoras sin poner en riesgo la integridad estructural del pistón.

Mediante la optimización topológica, se logró disminuir eficazmente el peso del pistón. Las simulaciones estructurales facilitaron la valoración del efecto de estas disminuciones, garantizando que el pistón conservara su resistencia y funcionalidad. Como se notó, la disminución de peso puede ayudar a incrementar la eficiencia del motor sin perjudicar su desempeño.

Pese a las modificaciones en la geometría para disminuir el peso, el diseño optimizado del pistón consiguió mantener su resistencia. Los ensayos de tensión de Von Mises, desplazamiento demostraron que el pistón modificado continúa siendo seguro y apto para resistir las cargas y condiciones operativas del motor Kappa 1.2L MPI. El coeficiente de seguridad en las zonas críticas se mantiene dentro de los límites tolerables, asegurando que el diseño optimizado será resistente y fiable.

### **Recomendaciones**

Para la toma de medidas del pistón se utilizó un calibrador Pie de Rey con una resolución de 0,02 mm, si se desea obtener medidas de mayor precisión se recomienda el uso de micrómetro y demás herramientas avanzadas, como un escáner 3D por ejemplo. Así mismo se recomienda un entorno controlado para evitar dilataciones térmicas, contar con herramientas calibradas y realizar varias medidas con el fin de garantizar la confiabilidad de las medidas obtenidas.

Se puede utilizar herramientas de diseño CAD avanzadas que ayuden a optimizar de mejor manera el pistón o cualquier otro elemento mecánico que se desee menorar su masa ya sea por sustracción de material o utilizando un material y proceso distinto para su fabricación.

Para poder obtener un diseño óptimo del pistón se recomienda realizar los estudios y análisis necesarios en un laboratorio de materiales, para de esta manera poder determinar con mayor precisión las características en cuanto a materiales y procesos utilizados para la manufactura del elemento objeto de estudio.

## Bibliografía

- Asth, R. (2020). *Ecuaciones*. <https://www.significados.com/ecuacion/>
- Automotive, K. I. (2022). *¿Cómo mejorar el rendimiento del automóvil en la etapa de diseño?* <https://knaufautomotive.com/es/como-mejorar-el-rendimiento-del-automovil-en-la-etapa-de-diseno/>
- Barona López Gustavo, L. E. (2019). *Materiales de aleación aluminio-silicio aplicados en la fabricación de partes de motores de combustión interna alternativos Parte I*.  
<https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/758>
- EuroInnova. (2024). *Todo sobre el modelado 3D para la industria*.  
<https://www.euroinnova.com/ingenieria/articulos/modelado-3d-para-industria>
- Eurystic. (2024). *Software de simulación: ¿Qué es? Herramienta para ingenieros y diseñadores*. <https://eurysticsolutions.com/es/2024/07/09/software-de-simulacion/>
- Experts, I. I. (2019). *Qué es CAD, para qué sirve y qué ventajas tiene*.  
[https://integralplm.com/blog/2019/08/20/que-es-cad/?srsltid=AfmBOoocXvIKPF-3qcBKOHLHbAeyyLvR\\_zZt\\_fYTL\\_CU1v6cZs0SJBWD](https://integralplm.com/blog/2019/08/20/que-es-cad/?srsltid=AfmBOoocXvIKPF-3qcBKOHLHbAeyyLvR_zZt_fYTL_CU1v6cZs0SJBWD)
- FlexFuel. (2022). *Pistones para motor y sus tipos*. <https://www.flexfuel-company.es/pistones-motor/>
- FormLabs. (2024). *Nociones básicas de optimización topológica: Cómo usar modelos algorítmicos para crear un diseño ligero*.  
[https://formlabs.com/latam/blog/optimizacion-topologica/?srsltid=AfmBOorYWwfxypqkYG\\_jz5msfuqaoqIrWH3XDQYG7NLBLQfTVfSi-O4B](https://formlabs.com/latam/blog/optimizacion-topologica/?srsltid=AfmBOorYWwfxypqkYG_jz5msfuqaoqIrWH3XDQYG7NLBLQfTVfSi-O4B)

- Industries, K. (2024). *Reducir el peso de los vehículos: Estructuras más ligeras, mejores prestaciones.* <https://knaufautomotive.com/es/noticias/equipamiento-y-construccion-del-automovil/reduccion-de-peso/>
- Infinita Industrial Counsulting. (2021). *Clasificación de las propiedades de los materiales.* <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/clasificacion-propiedades-materiales/>
- IntecHeat. (2024). *¿Qué es el análisis por elementos finitos?* <https://intec-heat.com/que-es-el-analisis-por-elementos-finitos/>
- JEAuto. (2022). *2618 vs. 4032 Piston Material Differences.* <https://www.jepistons.com/je-auto-blog/2618-vs-4032-piston-material-differences/?srsltid=AfmBOop0ZMpmDCLDzHx4ham-C4utlis0leMs7-JahJInbFssN8Jrz7W6>
- KM77. (2024). *Hyundai i10 1.2 MPI 79 CV N Line.* <https://www.km77.com/coches/hyundai/i10/2023/estandar/estandar/i10-12-mpi-79-cv-n-line/datos>
- Lee, K. (2023). *Tratamiento térmico de aluminio: métodos, beneficios y mejores prácticas.* <https://shengenfab.com/es/aluminum-heat-treatment/>
- Leskow, E. C. (2024). *Presión.* <https://concepto.de/presion-2/>
- Lim, N. B. (2024). *Modeling and Optimization of Energy Conversion Performance of a Free-Piston Linear Engine.* <https://link.springer.com/article/10.1007/s12239-024-00197-2>
- Medina, M. (2019). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA CICLO OTTO Y DIÉSEL DURANTE ELE EFECTO PRODUCIDO POR AVERÍAS EN EL SISTEMA ELECTRÓNICO.* <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dSPACE.UPS.edu.ec/bitstream/123456789/17881/1/UPS-CT008462.pdf>

- Morquecho Andrade, F. L. (2018). *Análisis estructural del cigüeñal de un motor MWMsprint 2.8 l en autodesk inventor*. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/3157>
- Motorba. (2020). *Función del pistón en un motor*. <https://motorba.com.ar/funcion-de-un-piston-en-un-motor/>
- Muñoz, Á. (2025). *Sistemas de Lubricación y Refrigeración*.  
[https://www.manualvuelo.es/3sifn/38\\_lubri.html](https://www.manualvuelo.es/3sifn/38_lubri.html)
- Neurtek. (2024). *¿Cómo se evalúa la durabilidad de un producto?*  
<https://www.neurtek.com/es/academia/articulos-tecnicos/pinturas-y-recubrimientos/como-se-evalua-la-durabilidad-de-un-producto>
- Nogales. (2024). *Cigüeñal del coche: qué es y cómo funciona esta importante pieza*.  
<https://noticias.coches.com/consejos/ciguenal-motor/401352>
- Oliveira, J. (2024). *Simulación Computacional*. <https://community.listopro.com/simulacion-computacional/>
- Otai. (2023). *Machining y Soldadura del Acero 4140: Consejos y Técnicas para el Éxito*.  
<https://es.otaisteel.com/machining-y-soldadura-del-acero-4140/>
- R.C. McCune, G. W. (2020). *Engine Pistons*.  
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/engine-pistons>
- Recambios, R. (2022). *Los pistones del automóvil: Todo lo que debes saber sobre este elemento*. <https://www.rodesrecambios.es/blog/motores/elementos-del-motor/pistones-del-vehiculo-funcionamiento-tipos-y-caracteristicas/>
- Siemens. (2024). *Diseño asistido por ordenador*. <https://www.sw.siemens.com/es-ES/technology/computer-aided-design-cad/>
- StudySmarter. (2019). *Modelado Térmico*.  
<https://www.studysmarter.es/resumenes/ingenieria/aviacion/modelado-termico/>

Toranzo, L. F. (2020). *Selección de materiales en el proceso de diseño*.

<https://portal.amelica.org/ameli/journal/784/7843892009/html/>

Unir. (2024). *Los modelos de simulación: ¿qué son y para qué sirven?*

<https://www.unir.net/revista/ingenieria/modelos-simulacion/>

Vera, E. (2023). *Análisis de la Frecuencia Modal en Discos de Frenos a través de los*

*Softwares Inventor y Fusión 360*. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/5828>

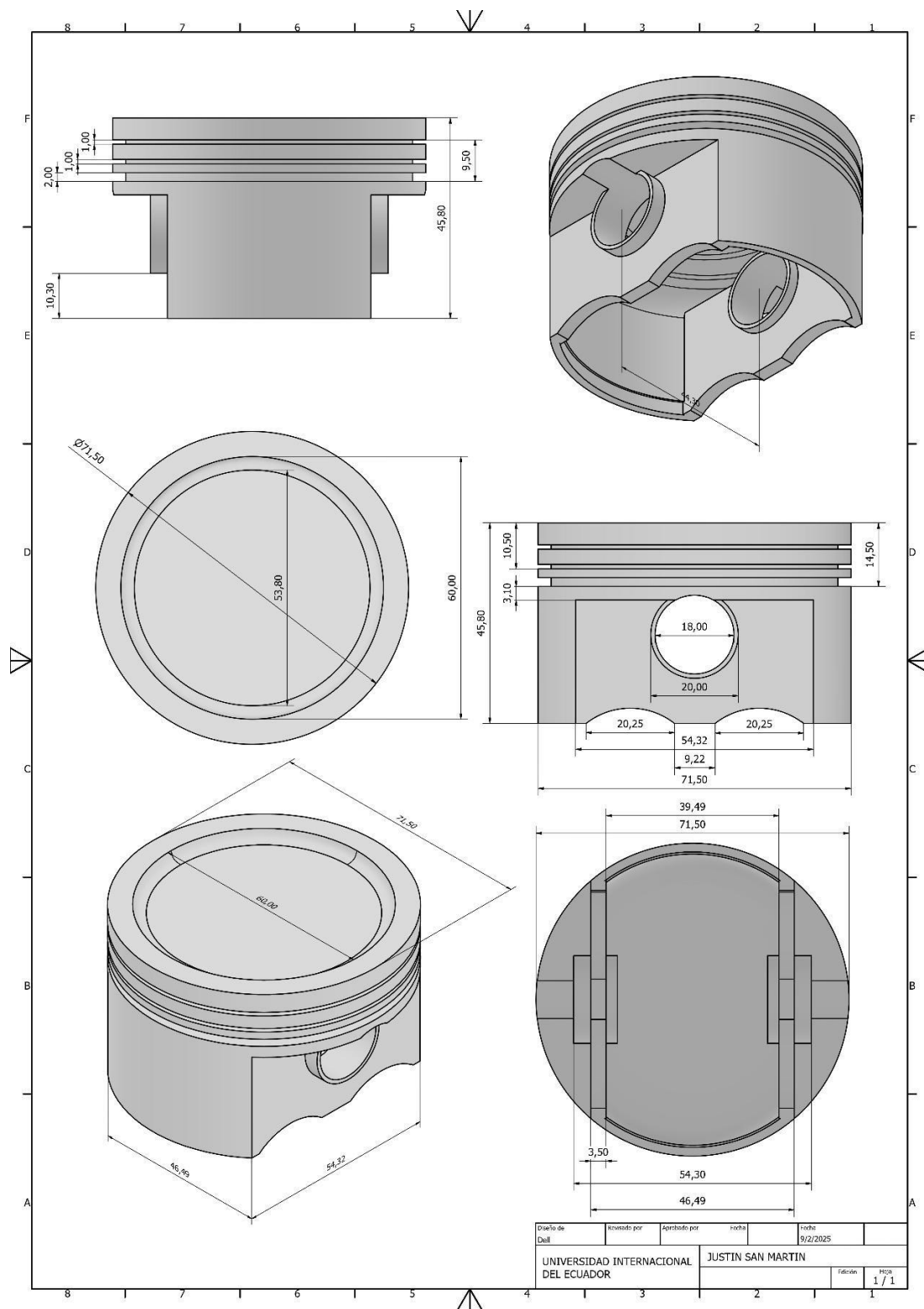
YENMAK. (2024). *PISTÓN REVESTIDO*. [https://www.yenmak.com.tr/es/productos/pistn-](https://www.yenmak.com.tr/es/productos/pistn-revestido-)  
[440#:~:text=Los%20pistones%20YENMAK%20tienen%20revestimientos,desgaste%](https://www.yenmak.com.tr/es/productos/pistn-revestido-440#:~:text=Los%20pistones%20YENMAK%20tienen%20revestimientos,desgaste%20y%20la%20vida%20%C3%BAtil.)  
[20y%20la%20vida%20%C3%BAtil.](https://www.yenmak.com.tr/es/productos/pistn-revestido-440#:~:text=Los%20pistones%20YENMAK%20tienen%20revestimientos,desgaste%20y%20la%20vida%20%C3%BAtil.)

Zwick. (2024). *Durabilidad*. [https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-](https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/ensayo-de-fatiga/durabilidad/)  
[materiales/ensayo-de-fatiga/durabilidad/](https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/ensayo-de-fatiga/durabilidad/)

## Anexos

### Anexo A

#### Vistas con Cotas Pistón



## Anexo B

### Vistas con Cotas Pistón Optimizado

