



Powered by
Arizona State University®

Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Automotriz

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Autor: Sergio Raúl Barboto Pinela

Tutor: Ing. Edgar Vera Puebla

**Estudio Aerodinámico del Rompevientos Frontal en un Camión
Shacman X3000 por Medio de la Dinámica de Fluidos Computacional**

Certificado de Autoría

Yo, Sergio Raúl Barboto Pinela, declaro bajo juramento que el presente trabajo es de mi autoría, el cual no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y el cual se ha hecho y consultado con 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.

Sergio Raúl Barboto Pinela

C.I.: 1207812445

Aprobación del Tutor

Yo, Edgar Vera Puebla certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Ing. Edgar Vera Puebla, MSc.

C.I.: 1715264105

Director de Proyecto

Dedicatoria

A Dios y a mis padres por su apoyo incondicional, por su amor dado en cada momento, por siempre alentarme y por los sacrificios que hicieron posible esta consecución.

A mi hermano por su aliento en cada momento de esta etapa.

Sergio Barboto

Agradecimiento

Quiero manifestar mi más sincero agradecimiento a todas y cada una de las personas que me dieron su apoyo para culminar con este proyecto de titulación.

En primer lugar, quiero darle mi agradecimiento a mi director de Proyecto el Ingeniero Edgar Vera Puebla, por su guía, por su paciencia, por su soporte a lo largo de este proceso.

Mi agradecimiento también va dirigido hacia mis compañeros que también me sirvieron de apoyo en esta etapa, con sus consejos y aliento durante esta etapa.

Agradezco profundamente a mi familia por su sacrificio, apoyo y amor dados en cada momento; su constante apoyo emocional fueron parte crucial para poder culminar con este proyecto de titulación.

Sin el respaldo y aliento de todos ustedes, este proyecto no habría sido posible.

A todos y cada uno de ustedes mi más profundo agradecimiento.

Sergio Barboto

Índice General

Certificado de Autoría	iii
Aprobación del Tutor.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Índice General.....	vii
Índice de Figuras	xi
Índice de Ecuaciones	xiii
Resumen	xiv
Abstract	xv
Capítulo I	1
1.1 Tema de Investigación.....	1
1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema	1
1.2.1 <i>Planteamiento del Problema</i>	2
1.2.2 <i>Formulación del Problema</i>	5
1.2.3 <i>Sistematización del Problema</i>	5
1.3 Objetivos de la Investigación	5
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	5
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	5
1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación.....	6
1.4.1 <i>Justificación Teórica</i>	7
1.4.2 <i>Justificación Metodológica</i>	8
1.4.3 <i>Justificación Practica</i>	10
Capítulo II	11
2.1 Marco Teórico	11

2.1.1	<i>Dinámica de Fluidos Computacional</i>	11
2.1.2	<i>Principios Básicos de la Dinámica de Fluidos Computacional</i>	13
2.2	La Aerodinámica.....	16
2.2.1	<i>Efectos Aerodinámicos que Afectan a los Camiones</i>	19
2.2.2	<i>Los Rompevientos y sus Efectos</i>	22
2.3	Diseño y Optimización de Rompevientos	24
Capítulo III		26
Estudio Aerodinámico del Rompevientos Frontal de un Camión Shacman X3000 por medio de la Dinámica de Fluidos Computacional.....		26
3.1	Diseño Metodológico	26
3.1.1	<i>Condiciones de Contorno y Parámetros de Entrada</i>	27
3.1.2	<i>Procedimiento de Simulación</i>	27
3.2	Descripción del Rompevientos y su importancia Aerodinámica.....	28
3.2.2	<i>Diseño y Características del Rompevientos</i>	28
3.2.3	<i>Importancia Aerodinámica</i>	28
3.3	Recopilación de Datos y Especificaciones del Rompevientos	30
3.3.1	<i>Características generales</i>	31
3.3.2	<i>Diseño y Dimensiones</i>	31
3.3.3	<i>Datos Aerodinámicos</i>	32
3.3.4	<i>Impacto en el Confort y la Estabilidad</i>	32
3.3.5	<i>Datos Adicionales</i>	32
3.4	Modelado Tridimensional del Rompevientos.....	32
3.4.1	<i>Diseño Conceptual</i>	32
3.4.2	<i>Creación del Modelo en Inventor</i>	33
3.4.3	<i>Análisis y Validación</i>	36

3.4.4 Documentación y Preparación para la Simulación en CFD.....	36
3.5 Introducción a la Dinámica de Fluidos Computacional	36
3.5.1 Aplicación de la CFD en la Aerodinámica de los Vehículos.....	38
3.6 Definición de Condiciones y Parámetros de Simulación para el Análisis de la Eficiencia del Rompevientos	39
3.6.1. Condiciones de Contorno	39
3.6.2 Condiciones de salida.....	40
3.6.3 Condiciones de la pared:.....	40
3.6.4 Parámetros de simulación	40
3.6.5 Propiedades del Fluido.....	40
3.7 Simulación CFD	41
Capítulo IV	44
4.1 Análisis de Resultados	44
4.1.1 Materiales.....	44
4.1.2 Condiciones de Contorno	44
4.1.3 Malla	44
4.1.4 Física	45
4.1.5 Configuración del Solucionador	45
4.1.6 Resultados.....	45
4.1.7 Resultados de Variables de Campo	46
4.2 Resultados de la simulación	46
4.3 Evaluación de la Eficiencia del Rompevientos en la Reducción de la Resistencia Aerodinámica.....	47
4.3.1 Fuerzas Aerodinámicas	47
4.3.2 Distribución de Presión y Velocidad	48

<i>4.3.3 Coeficiente de Resistencia Aerodinámica (Cd)</i>	48
4.4 Aclaración de Resultados.....	49
4.5 Áreas de Mejora.....	50
Conclusiones.....	53
Recomendaciones	54
Bibliografía.....	55

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Dinámica de Fluidos Computacional</i>	2
Figura 2 <i>Shacman X3000 cabina baja</i>	4
Figura 3 <i>Dinámica de Fluidos Computacional en los Automóviles</i>	13
Figura 4 <i>Ecuaciones de Navier-Stokes</i>	14
Figura 5 <i>Modelo de Mallado</i>	15
Figura 6 <i>Modelos de Turbulencia</i>	16
Figura 7 <i>La Aerodinámica</i>	17
Figura 8 <i>La Aerodinámica en Vehículos Pesados</i>	18
Figura 9 <i>Efecto de Arrastre Aerodinámico</i>	19
Figura 10 <i>Elevación Aerodinámica</i>	20
Figura 11 <i>Turbulencias en los Camiones</i>	21
Figura 12 <i>Deflectores de Aire Laterales</i>	21
Figura 13 <i>Rompevientos de Camión</i>	23
Figura 15 <i>Vista Frontal Rompevientos Frontal del Camión Shacman X3000</i>	30
Figura 16 <i>Vista Lateral del Rompevientos</i>	31
Figura 17 <i>Boceto Principal del Rompevientos</i>	33
Figura 18 <i>Segundo Boceto</i>	33
Figura 19 <i>Solevación entre el Boceto Primerio y Secundario</i>	34
Figura 20 <i>Realización de Empalmes en el Rompevientos</i>	34
Figura 21 <i>Vaciado de la Pieza</i>	35
Figura 22 <i>Modelado Tridimensional del Rompevientos Finalizado</i>	35
Figura 23 <i>Modelado de la Cabina y Contenedor</i>	41
Figura 24 <i>Designación de Materiales en CFD</i>	42
Figura 25 <i>Condiciones de Borde</i>	42

Figura 26 <i>Mallado con Autosize</i>	43
Figura 27 <i>Flujo de aire con el rompevientos</i>	52

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1	<i>Ecuación de continuidad para la conservación de la masa</i>	37
Ecuación 2	<i>Ecuación de Navier-Stokes (Conservación de momento)</i>	37
Ecuación 3	<i>Ecuación de energía (Conservación de energía)</i>	38

Resumen

Esta investigación emplea dinámica de fluidos computacional (CFD) para analizar la aerodinámica del rompevientos frontal del camión Shacman X3000. Como la resistencia del viento afecta el rendimiento del camión, la eficiencia aerodinámica es fundamental para el transporte de mercancías, un componente fundamental de la economía global. A pesar de su reputación de durabilidad, los Shacman X3000 tienen problemas aerodinámicos que el diseño del rompevientos, que tiene como objetivo reducir la resistencia y aumentar la estabilidad, debería solucionar. El estudio sugiere utilizar CFD para evaluar cómo el diseño del rompevientos afecta la eficiencia aerodinámica del camión porque hay una escasez de investigación exhaustiva sobre el rompevientos, lo que limita su optimización. Los objetivos específicos incluyen analizar la distribución del flujo de aire, construir un modelo tridimensional del rompevientos y evaluar la eficacia del rompevientos para reducir la resistencia. Mediante un software CAD, se crea un modelo tridimensional, se crea una malla computacional, se elige un modelo de turbulencia adecuado y se definen las condiciones de contorno. Mediante el uso de simulaciones, se puede evaluar la efectividad del rompevientos, revelando oportunidades de desarrollo. Se explica que la CFD es una técnica esencial para modelar el flujo de aire alrededor del vehículo, reducir la resistencia aerodinámica, mejorar la estabilidad del camión y reducir los contaminantes y el consumo de combustible. Las simulaciones se llevan a cabo utilizando Autodesk CFD y ecuaciones de Navier-Stokes.

Palabras Clave: Dinámica de fluidos computacional (CFD), aerodinámica, rompevientos frontal, eficiencia aerodinámica.

Abstract

This research employs computational fluid dynamics (CFD) to analyze the aerodynamics of the Shacman X3000 truck's front windbreak. As wind resistance affects truck performance, aerodynamic efficiency is critical to freight transportation, a key component of the global economy. Despite its reputation for durability, Shacman X3000s have aerodynamic issues that windbreak design, which aims to reduce drag and increase stability, should address. The study suggests using CFD to assess how windbreak design affects truck aerodynamic efficiency because there is a dearth of comprehensive research on windbreaks, limiting their optimization. Specific objectives include analyzing airflow distribution, building a three-dimensional model of the windbreak, and evaluating the effectiveness of the windbreak in reducing drag. Using CAD software, a three-dimensional model is created, a computational mesh is created, a suitable turbulence model is chosen, and boundary conditions are defined. By using simulations, the effectiveness of the windbreak can be assessed, revealing development opportunities. It is explained that CFD is an essential technique for modelling the airflow around the vehicle, reducing aerodynamic drag, improving truck stability and reducing pollutants and fuel consumption. Simulations are carried out using Autodesk CFD and Navier-Stokes equations.

Keywords: Computational Fluid Dynamics (CFD), aerodynamics, front windbreak, aerodynamic efficiency.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema de Investigación

Estudio aerodinámico del rompevientos frontal en un camión Shacman X3000 por medio de la dinámica de fluidos computacional.

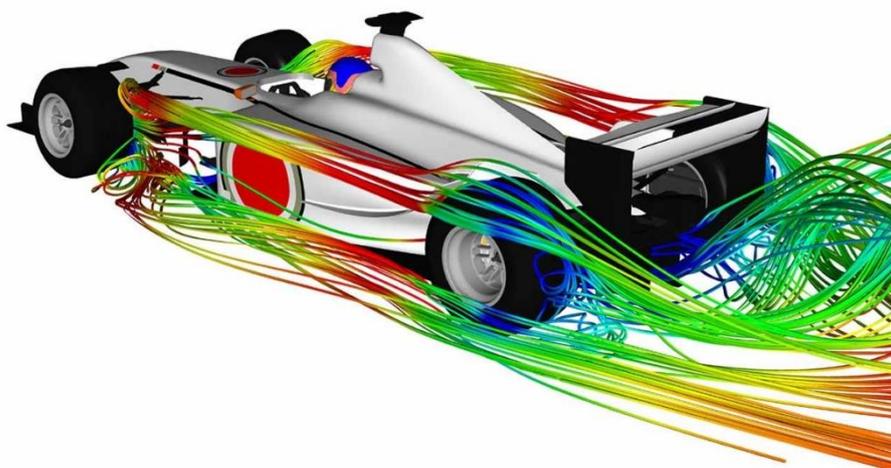
1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

Para que la economía mundial funcione, el transporte de carga por carretera es vital, y la eficiencia de los vehículos pesados juega un papel importante en la reducción de gastos y la minimización de los efectos ambientales negativos. A pesar de su reputación de resistencia y capacidad de carga, las camionetas Shacman X3000 tienen problemas aerodinámicos que reducen su rendimiento. El rompevientos delantero, que reduce la resistencia y aumenta la estabilidad del vehículo, es una de las piezas más importantes a este respecto. Sin embargo, la utilización de todas sus ventajas potenciales se ve obstaculizada por la escasez de investigaciones exhaustivas sobre su construcción y funcionamiento. En consecuencia, para maximizar su diseño y comprender mejor su influencia, es necesario realizar un análisis aerodinámico exhaustivo del rompevientos delantero de estos vehículos mediante dinámica de fluidos computacional (CFD).

Para mejorar la aerodinámica del vehículo y reducir la resistencia del aire, los camiones Shacman están equipados con rompevientos, que son el tema del diseño y operación de este estudio. Este se centra en los camiones de la marca Shacman, particularmente los de la serie X3000, que son vehículos utilizados para transportar cargas. Se trata de descubrir cómo el diseño del rompevientos afecta la eficiencia aerodinámica de estos camiones. Esto puede implicar reducir la resistencia al viento, aumentar la economía de combustible y mejorar la estabilidad del vehículo (Figura 1).

Figura 1

Dinámica de Fluidos Computacional



Tomado de: <https://www.prototicad3d.com/2017/05/dinamica-computacional-de-fluidos-cfd-aplicada-ingenieria-mecanica.html>

1.2.1 Planteamiento del Problema

La eficiencia aerodinámica de los vehículos comerciales es crucial para maximizar el rendimiento y minimizar el consumo de combustible en el sector del transporte de mercancías. Los rompevientos son elementos esenciales que tienen como objetivo reducir la resistencia del aire y mejorar la aerodinámica de los camiones. Sus efectos precisos en los camiones Shacman, especialmente en la serie X3000, aún no se investigan a fondo.

Los problemas asociados con la optimización aerodinámica de los camiones Shacman X3000 persisten a pesar de los avances en tecnología y diseño de vehículos, lo que indica la necesidad de realizar más estudios en esta área. La falta de una investigación exhaustiva sobre el impacto de varios diseños de rompevientos en estos camiones crea un gran vacío de conocimiento sobre cómo mejorar su rendimiento general en carretera y su eficiencia aerodinámica.

Existe la posibilidad de que el diseño actual del rompevientos no sea óptimo, lo que aumentaría la resistencia aerodinámica, aumentaría el consumo de combustible y reduciría la estabilidad. Debido al aumento de las emisiones de gases nocivos, la ineficiencia aerodinámica no sólo aumenta los costos operativos, sino que también tiene un impacto negativo en el medio ambiente. Faltan datos y análisis adecuados sobre la aerodinámica de los cortavientos, lo que dificulta la puesta en práctica de modificaciones prácticas que puedan aumentar la eficiencia del vehículo.

Además, en un mercado altamente competitivo, la eficiencia energética de los camiones es una cuestión crítica que puede determinar su aceptación y éxito comercial. Mejorar la aerodinámica de los camiones Shacman X3000 no sólo beneficiaría a los operadores en términos de reducción de costes, sino que también mejoraría la posición de la marca en el mercado mundial al ofrecer vehículos más sostenibles y eficientes.

Así, se sugiere realizar un estudio aerodinámico exhaustivo de los mecanismos de freno frontal de los camiones Shacman X3000 utilizando dinámica de fluidos computacional (CFD). Este estudio proporcionará una comprensión detallada de la influencia del diseño actual de rompevientos en la aerodinámica del camión e investigará posibles mejoras que maximicen su rendimiento. La aplicación de técnicas avanzadas de dinámica de fluidos computacional (CFD) producirá una imagen precisa de cómo interactúa el flujo de aire con el vehículo, identificando áreas críticas de mejora y evaluando el potencial de diversas modificaciones de diseño.

Resistencia Aerodinámica: La configuración actual del rompevientos frontal genera una resistencia aerodinámica considerable que impacta negativamente la eficiencia del combustible y la estabilidad del camión.

Eficiencia Energética: La falta de optimización en el diseño del rompevientos se traduce en un mayor consumo de combustible, incrementando los costos operativos y las emisiones de gases contaminantes.

Competitividad del Mercado: En un entorno competitivo, la eficiencia de los vehículos es crucial. La mejora del diseño del rompevientos podría proporcionar una ventaja competitiva significativa.

Necesidad de Análisis Detallado: Existe una carencia de estudios detallados que aborden el impacto específico del rompevientos frontal en la aerodinámica de los camiones Shacman X3000 (Figura 2).

Figura 2

Shacman X3000 cabina baja



Tomado de: <https://shacmanecuador.com/x3000-4x2-techo-bajo/>

Metodología Avanzada: El uso de la dinámica de fluidos computacional (CFD) como herramienta principal para el análisis permitirá obtener datos precisos y realizar simulaciones detalladas que guíen el rediseño del rompevientos.

1.2.2 Formulación del Problema

Según cálculos iniciales y teóricos, ¿qué impacto tiene el rompevientos en la aerodinámica del camión Shacman X3000?

1.2.3 Sistematización del Problema

- ¿Cuáles son las leyes aerodinámicas que controlan la eficiencia de resistencia al viento de los camiones Shacman X3000?
- ¿Cómo se utilizan las técnicas de dinámica de fluidos computacional (CFD) para estudiar y modelar el flujo de aire alrededor de los camiones Shacman X3000 con el diseño del rompevientos?
- ¿Qué factores externos, incluida la dirección y velocidad del viento, afectan el funcionamiento del rompevientos de los camiones Shacman X3000?
- ¿Qué características únicas del diseño del rompevientos están presentes en los camiones Shacman X3000 y cómo impactan estas características en el rendimiento aerodinámico?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Estudiar la eficiencia aerodinámica del rompevientos frontal en un camión Shacman X3000 mediante el análisis de la dinámica de fluidos computacional (CFD).

1.3.2 Objetivos Específicos

- Investigar la influencia del rompevientos en la distribución del flujo de aire alrededor del camión Shacman X3000 mediante simulaciones CFD, considerando variaciones en forma, tamaño y posición.
- Generar un modelo tridimensional del rompevientos del camión Shacman X3000 utilizando el software especializado en diseño asistido por computadora.

- Analizar la eficiencia del rompevientos del camino Shacman X3000 en la reducción de la resistencia aerodinámica usando simulaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD).

1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación

Por estas razones, es esencial utilizar la dinámica de fluidos computacional (CFD) para examinar la aerodinámica de las fallas del interruptor frontal en los camiones Shacman X3000. En primer lugar, la aerodinámica es un factor importante en la economía energética de los vehículos pesados. Un diseño óptimo de cortavientos puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y el uso de combustible, además de la resistencia al viento. Aunque la sostenibilidad y la reducción de las emisiones de carbono son preocupaciones candentes en este momento, este estudio tiene el potencial de tener un gran impacto en el desarrollo de diseños de automóviles respetuosos con el medio ambiente.

En segundo lugar, una de las mayores preocupaciones es la seguridad vial. Las cualidades aerodinámicas de los camiones se pueden mejorar para mejorar la estabilidad en vientos cruzados y reducir la posibilidad de colisiones. Esto reduce el precio de los accidentes y las reparaciones y, al mismo tiempo, protege a los conductores y otros usuarios de la vía.

Además, existe mucha rivalidad en la industria de los camiones pesados. Los productores siempre están buscando nuevas ideas que puedan ayudarles a diferenciar sus productos. Un mejor rendimiento aerodinámico puede proporcionar a un vehículo una ventaja competitiva, atrayendo a clientes que desean reducir los gastos operativos y aumentar la productividad de la flota.

Por último, desde el punto de vista operativo, la puesta en práctica de innovaciones basadas en estudios CFD puede conducir a menores costes de funcionamiento y un

mantenimiento más sencillo. Es factible optimizar el diseño del rompavientos del camión, así como sus otras partes aerodinámicas, al tener una comprensión más profunda de la relación entre el aire y el diseño del camión.

1.4.1 Justificación Teórica

Este proyecto se centra en aumentar la eficiencia aerodinámica de los camiones Shacman X3000 mediante la investigación de cortavientos y el análisis de su diseño y efecto en el rendimiento del vehículo utilizando métodos de vanguardia como CFD.

El estudio del comportamiento de los fluidos (gases y líquidos) y cómo interactúan con sustancias sólidas se conoce como mecánica de fluidos. La aerodinámica es la rama de esta ciencia que estudia el flujo de aire y cómo interactúa con los objetos en movimiento, como los automóviles. La resistencia aerodinámica de un objeto se describe mediante el coeficiente de resistencia (C_d), una métrica crítica que depende de la superficie y la forma del objeto.

Debido a su tamaño y diseño, los camiones experimentan una resistencia aerodinámica significativa, lo que tiene un efecto inmediato en su estabilidad y eficiencia de combustible. Esta resistencia puede reducirse considerablemente mediante un diseño de cortavientos delantero ajustado, lo que aumenta la economía del vehículo. Comprender y maximizar estos efectos depende en gran medida de la comprensión de la teoría de la capa límite, que explica cómo la velocidad del fluido varía desde cero en la superficie del objeto hasta la velocidad de flujo libre.

Se pueden obtener importantes beneficios competitivos de la innovación aerodinámica de los vehículos pesados desde un punto de vista técnico y de diseño. Según el principio de ventaja competitiva en el mercado, las empresas pueden destacarse de la competencia y tomar la delantera invirtiendo en tecnología de punta y optimización de productos. Además de ofrecer mayor seguridad y eficiencia energética, un vehículo con

un excelente diseño aerodinámico también puede marcar la diferencia para los compradores que intentan ahorrar gastos.

1.4.2 Justificación Metodológica

El estudio del diseño de rompevientos en camiones Shacman X3000 se centra en la necesidad de utilizar determinadas herramientas y técnicas metodológicas, como la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), para abordar con éxito los objetivos de la investigación y lograr hallazgos confiables y útiles.

El comportamiento del flujo de aire alrededor del rompevientos se puede analizar de forma precisa y en profundidad con la ayuda de CFD. Las interacciones complejas de fluidos que son difíciles de capturar mediante técnicas experimentales convencionales se pueden modelar mediante simulaciones CFD. Una comprensión profunda de los procesos aerodinámicos es posible gracias a la visualización tridimensional y de alta resolución del flujo de aire, que es esencial para identificar regiones donde se debe mejorar el diseño de los rompevientos.

La comparación de la simulación por computadora con las pruebas en carreteras o túneles de viento revela ahorros considerables de tiempo y costos. Si bien construir y modificar prototipos físicos puede resultar costoso y llevar mucho tiempo, los modelos informáticos se pueden modificar rápidamente y sin desembolsos financieros importantes. Esto optimiza el proceso de desarrollo al permitir la exploración de varios diseños y configuraciones de manera rápida.

La versatilidad con la que se pueden controlar las circunstancias de la prueba mientras se utiliza CFD es incomparable. Sin las limitaciones prácticas de los enfoques experimentales, se puede simular una amplia gama de situaciones y circunstancias ambientales, incluidas velocidades del viento y ángulos de incidencia variables. Esta

adaptabilidad es necesaria para evaluar el rendimiento aerodinámico del rompevientos en diversos escenarios y garantizar su eficacia en distintos entornos operativos.

Las simulaciones CFD ofrecen altos niveles de consistencia y repetibilidad. Si bien las simulaciones por computadora se adhieren a métodos definidos y controlados, las pruebas físicas son susceptibles a errores y fluctuaciones humanas. Como consecuencia, las simulaciones por ordenador garantizan resultados consistentes y similares. Esto es necesario para confirmar los resultados y garantizar que se puedan aplicar a las circunstancias reales.

Si bien los modelos CFD son herramientas eficaces en sí mismos, su validez aumenta en comparación con los datos experimentales disponibles. La confiabilidad de los resultados se puede aumentar correlacionando los resultados simulados con datos experimentales utilizando modelos y parámetros previamente establecidos. Al utilizar tres enfoques diferentes, se aumenta la validez del estudio y se garantiza su aplicabilidad práctica.

Además de facilitar la evaluación del rendimiento actual del rompevientos, la técnica basada en CFD fomenta un diseño innovador. Se pueden encontrar soluciones óptimas y desarrollar diseños que mejoren la eficiencia aerodinámica con iteraciones rápidas y análisis exhaustivos. Esto afecta directamente el rendimiento del camión, reduce el consumo de combustible y aumenta el nivel de competitividad del producto en el mercado.

Por último, el uso de CFD en el análisis del rompevientos de un camión Shacman X3000 avanza la comprensión científica en el campo de la ingeniería aerodinámica. Al abrir nuevos caminos y crear soluciones creativas que son aplicables no sólo a este modelo en particular sino también a otros automóviles y entornos industriales, la técnica amplía el alcance y la importancia del estudio.

1.4.3 Justificación Práctica

Este proyecto, además de proporcionar una comprensión teórica sobre cómo los cortavientos afectan a los camiones Shacman X3000, tiene importantes implicaciones prácticas para la seguridad vial, la eficiencia energética, la competitividad en el mercado y las mejoras operativas en diversos sectores.

Capítulo II

Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

Dado que la aerodinámica de los vehículos pesados afecta directamente la economía de combustible, la eficiencia energética y la estabilidad del vehículo, es un área importante de investigación para los ingenieros automotrices. En este sentido, el diseño y la optimización de los componentes aerodinámicos, como el rompevientos delantero, es crucial.

La dinámica de fluidos computacional se promociona como una técnica potente para optimizar y analizar la aerodinámica. Elimina la necesidad de realizar pruebas físicas costosas y que requieren mucho tiempo al permitirle imitar el comportamiento del flujo de aire alrededor de los automóviles y evaluar varias configuraciones. Las fuerzas de arrastre se pueden encontrar y reducir mediante el uso de CFD en el diseño de vehículos pesados, como el camión Shacman X3000, que mejora el rendimiento general del vehículo (CRYOSPAIN, 2022).

2.1.1 Dinámica de Fluidos Computacional

La dinámica de fluidos computacional, o CFD para abreviar, es un subcampo de la mecánica de fluidos que resuelve y analiza problemas de flujo de fluidos utilizando técnicas y algoritmos numéricos. Con el uso de computadoras y dinámica de fluidos computacional (CFD), es posible simular fluidos que fluyen, lo que ofrece una herramienta valiosa para investigar y comprender procesos complejos que son difíciles de examinar experimentalmente (SciELO, 2020).

Las ecuaciones de Navier-Stokes son un conjunto de fórmulas matemáticas que representan la conservación de la masa, el momento y la energía en un fluido y se utilizan para simular problemas de flujo de fluidos en (CFD) (Mora, 2017).

Debido a su extrema complejidad y no linealidad, estas ecuaciones son casi difíciles de resolver analíticamente en la mayoría de situaciones del mundo real. Aquí es donde entran en juego las computadoras: métodos como el volumen finito, el elemento finito y las diferencias finitas se utilizan para discretizar las ecuaciones y resolverlas numéricamente.

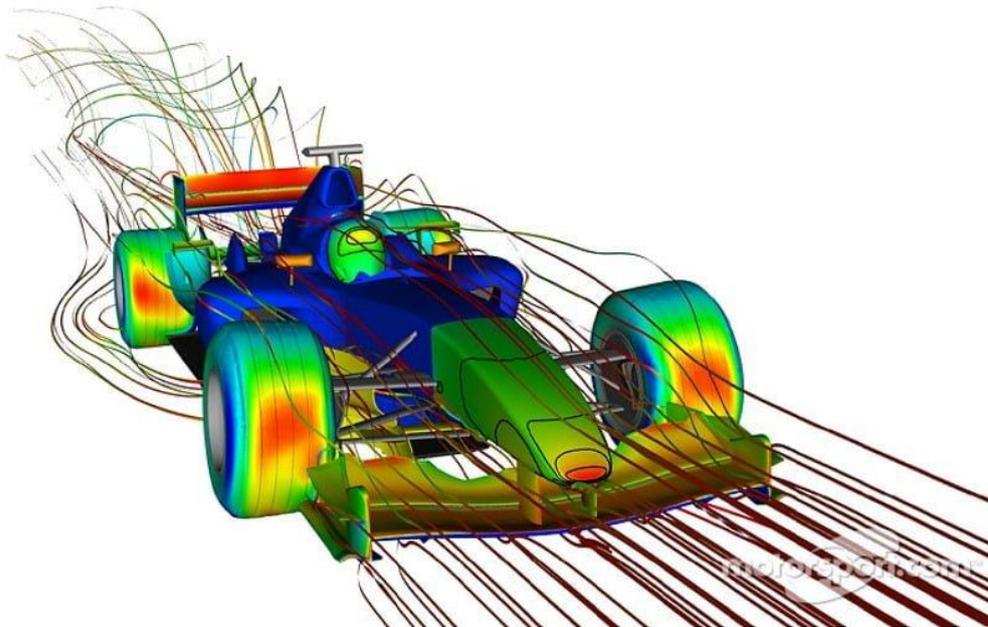
El primer paso en el método CFD es crear un modelo geométrico del dominio de interés, que puede ser cualquier sistema donde el flujo de fluidos sea importante, como una máquina o un automóvil. El dominio de este modelo se separa en pequeñas celdas donde se realizarán los cálculos utilizando una malla o cuadrícula. Luego, las ecuaciones de flujo se resuelven en cada celda de la malla a lo largo de una serie de iteraciones después de que se introducen las condiciones de contorno y los parámetros del fluido (Calderon, 2021).

Con CFD, se puede ver en detalle el comportamiento del flujo de fluido, incluida su distribución de velocidades, presiones y perfiles de temperatura. Antes de crear prototipos reales, los datos se pueden utilizar para refinar los diseños, aumentar la eficiencia del sistema y prever cualquier problema. Por ejemplo, el CFD se utiliza en el sector del automóvil para evaluar la ventilación de la cabina, mejorar la refrigeración del motor y los frenos y disminuir la resistencia aerodinámica de los vehículos (Figura 3).

Además, el CFD es útil en muchos campos, incluidos la climatología, la arquitectura, la medicina y la ingeniería aeroespacial. La capacidad de modelar y analizar la dinámica de fluidos tiene aplicaciones importantes en cada uno de estos dominios, facilitando avances y avances que serían difíciles de lograr con técnicas experimentales más convencionales.

Figura 3

Dinámica de Fluidos Computacional en los Automóviles



Tomado de: <https://iad.la/blogs/analisis-en-cfd-que-es/>

2.1.2 Principios Básicos de la Dinámica de Fluidos Computacional

Dentro del campo de la mecánica de fluidos, la dinámica de fluidos computacional emplea técnicas y algoritmos numéricos para estudiar y resolver problemas relacionados con el flujo de fluidos. Actualmente, el CFD se considera una técnica de ingeniería vital porque permite simular el comportamiento de los fluidos en una variedad de entornos y aplicaciones sin la necesidad de pruebas físicas costosas y que requieren mucho tiempo.

Ecuaciones de Navier-Stokes: la base matemática del CFD, las ecuaciones de Navier-Stokes caracterizan el movimiento de los fluidos (Aude, 2024). La conservación de la masa, el momento y la energía en un fluido está representada por este conjunto de ecuaciones diferenciales parciales. En la mayoría de los casos prácticos, resolver estas ecuaciones analíticamente es demasiado difícil, por lo que se requieren enfoques numéricos (Figura 4).

Figura 4*Ecuaciones de Navier-Stokes*

Ecuaciones de Navier-Stokes

$$\underline{\Sigma F} = m \underline{a} \rightarrow \begin{cases} \Sigma F_x = ma_x \\ \Sigma F_y = ma_y \\ \Sigma F_z = ma_z \end{cases}$$

Tomado de: <https://nsiv.io/mecanicafluidos/ecuaciones-de-navier-stokes/>

Técnicas numéricas: Las ecuaciones de Navier-Stokes se aproximan en CFD utilizando técnicas numéricas. Los enfoques de volúmenes finitos, elementos finitos y diferencias finitas son algunas de las técnicas más utilizadas. Al utilizar estas técnicas, el dominio del problema se discretiza en celdas o elementos más pequeños y se obtiene una solución aproximada resolviendo ecuaciones diferenciales (Caruajulca, 2021).

Mallado: el dominio del problema se divide en una red de células, o elementos finitos, como parte del proceso de mallado (Carrillo & Castillo, 2020). La precisión y estabilidad de la simulación se ven fuertemente afectadas por la calidad de la malla. Aunque una malla más fina produce resultados más precisos, también requiere más potencia de procesamiento y más tiempo para calcular (Figura 5).

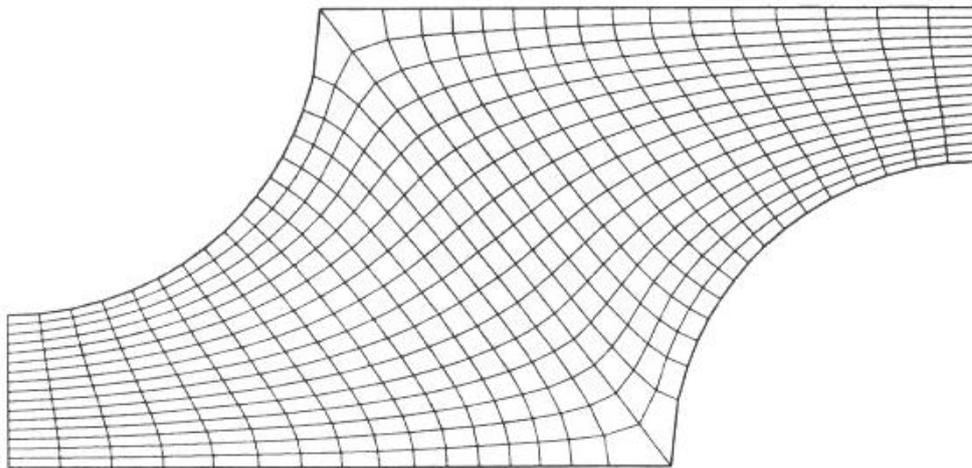
Modelos de turbulencia: un problema importante en CFD es la aparición de flujos turbulentos. Para simular la turbulencia se utilizan modelos de turbulencia, que representan aproximadamente el comportamiento de los flujos turbulentos (Ruiz, 2014).

El modelo a gran escala (LES), el modelo k-omega y el modelo k-epsilon son algunos de los modelos más populares (Figura 6).

Condiciones de contorno: se refieren a un conjunto de restricciones y parámetros que se imponen en los límites del dominio del problema. Estos parámetros pueden incluir temperatura, presión, caudal y otros elementos pertinentes que influyen en el comportamiento del fluido.

Figura 5

Modelo de Mallado



Tomado de: <https://www.esss.com/es/blog/dinamica-de-fluidos-computacional-que-es/>

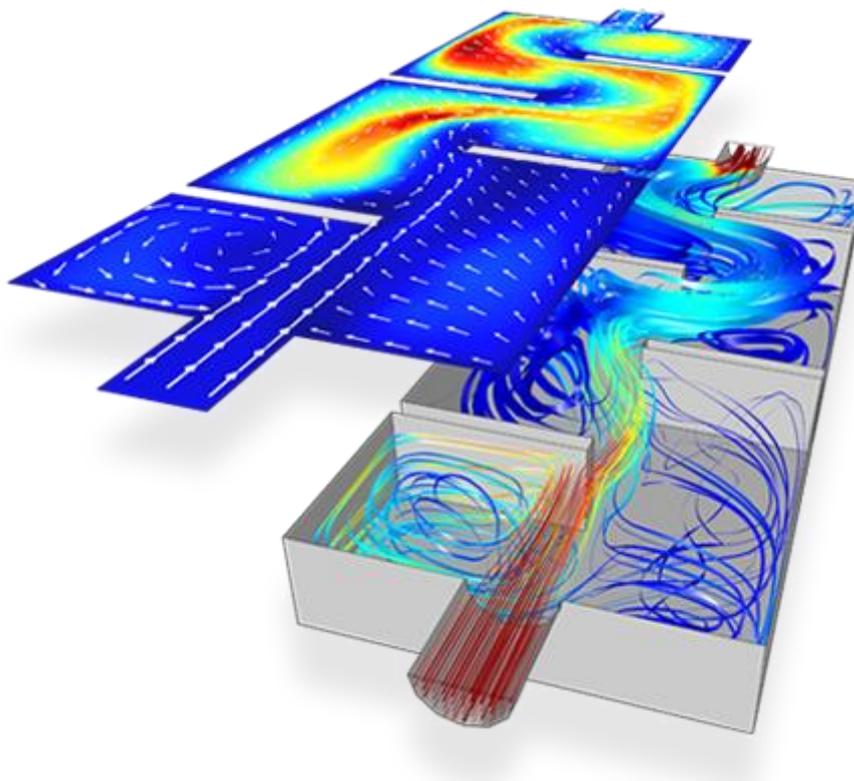
Numerosas industrias, incluidas la meteorología, la aeronáutica, la ingeniería civil y la ingeniería automotriz, emplean CFD. Por ejemplo, en la ingeniería automotriz, se utiliza para mejorar el rendimiento del motor, reducir las emisiones nocivas y optimizar el diseño aerodinámico de los automóviles. Se utiliza en aeronáutica para investigar el comportamiento de los flujos de aire alrededor de los aviones y para crear perfiles aerodinámicos de alas y fuselajes.

Beneficios e inconvenientes: Los principales beneficios del CFD son la capacidad de ejecutar simulaciones precisas y completas sin construir prototipos físicos, la capacidad de investigar diversos escenarios y configuraciones de diseño, y la disminución

de los gastos y retrasos en el desarrollo. Sin embargo, la CFD presenta muchos inconvenientes, incluido el requisito de una gran potencia informática, la dificultad de crear modelos precisos y la dependencia de la experiencia y los conocimientos del usuario para interpretar adecuadamente los resultados.

Figura 6

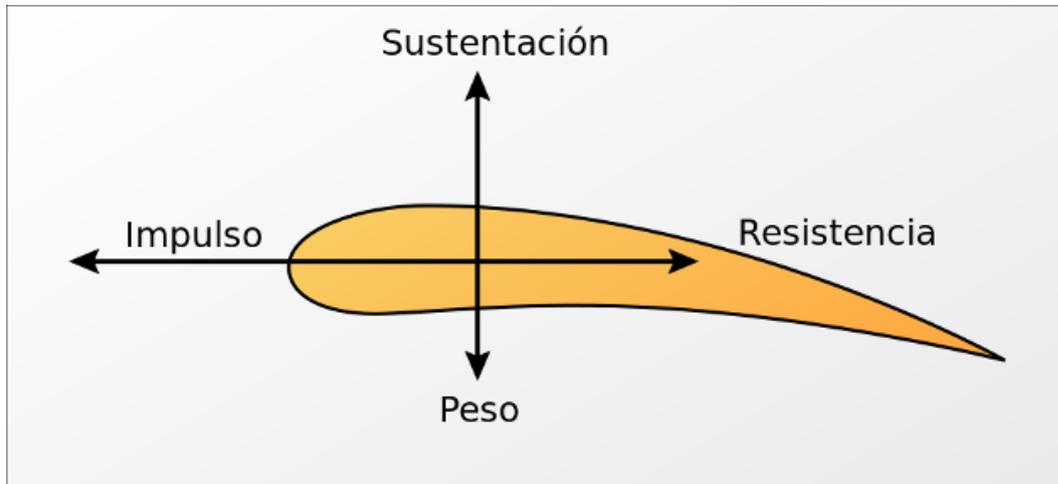
Modelos de Turbulencia



Tomado de: <https://www.addlink.es/noticias/comsol/2631-software-de-simulacion-para-todas-las-aplicaciones-de-flujo-de-fluidos>

2.2 La Aerodinámica

El área de la mecánica de fluidos conocida como aerodinámica examina cómo se comporta el aire que fluye e interactúa con los objetos sólidos (Figura 7). Esta área de investigación es esencial para muchos otros campos, particularmente la ingeniería aeroespacial y automotriz, donde el diseño aerodinámico afecta directamente el rendimiento, la eficiencia y la seguridad del vehículo (HelloAuto, 2022).

Figura 7*La Aerodinámica*

Tomado de: <https://www.univision.com/explora/que-es-la-aerodinamica>

La aerodinámica es importante en la ingeniería de vehículos pesados, como los camiones. Una gran parte de la resistencia total que debe superar un camión es la resistencia aerodinámica, o la fuerza que se opone al paso del vehículo por el aire (Diessa, 2023). Debido a que las preocupaciones ambientales y financieras están aumentando, el sector del transporte está poniendo mayor énfasis en reducir la resistencia para mejorar la economía de combustible y reducir las emisiones de gases nocivos (Figura 8).

La capa límite, la turbulencia, la velocidad del flujo de aire, la presión y otras ideas se encuentran entre los fundamentos de la aerodinámica. La presión aerodinámica es la fuerza que el aire aplica a la superficie del vehículo y la velocidad del flujo de aire controla cómo interactúa el aire con el vehículo. Cuando el flujo de aire se vuelve errático y caótico, se produce un fenómeno conocido como turbulencia, que aumenta la resistencia aerodinámica. La mayoría de los efectos aerodinámicos importantes tienen lugar en la capa límite, que es la capa de aire en contacto directo con la superficie del vehículo.

Figura 8

La Aerodinámica en Vehículos Pesados



Tomado de: <https://www.highmotor.com/coeficiente-aerodinamico-camion-formula-1.html>

Los vehículos están diseñados con una variedad de elementos y técnicas aerodinámicos para reducir la resistencia. Entre estas piezas, el rompevientos delantero es especialmente importante para los camiones. Su propósito es redirigir el flujo de aire, lo que reduce la presión frontal del vehículo y la resistencia aerodinámica general. El diseño adecuado del rompevientos requiere un conocimiento profundo de los conceptos aerodinámicos y herramientas de simulación sofisticadas. La forma y posición del rompevientos son fundamentales para su eficacia.

El objetivo del análisis CFD del rompevientos delantero del camión Shacman X3000 es encontrar configuraciones que reduzcan la resistencia aerodinámica. Esto mejora la estabilidad y seguridad del vehículo además de aumentar la eficiencia del combustible (Witenas, 2024).

Se pueden realizar modificaciones precisas en el diseño del rompevientos para obtener un rendimiento ideal mediante simulación y estudio en profundidad.

2.2.1 Efectos Aerodinámicos que Afectan a los Camiones

Arrastre aerodinámico: Es la fuerza que impide que el vehículo se mueva en el aire. La resistencia a la forma y la resistencia a la fricción constituyen los dos componentes principales de esta resistencia. La resistencia a la fricción es la consecuencia de la interacción del aire con la superficie del vehículo, mientras que la resistencia a la forma es producida por la presión del aire en la parte delantera del camión y el vacío en la parte trasera (Figura 9). La reducción de la resistencia aerodinámica es crucial para aumentar la economía de combustible y reducir gases contaminantes (Alvarado, 2016).

Figura 9

Efecto de Arrastre Aerodinámico

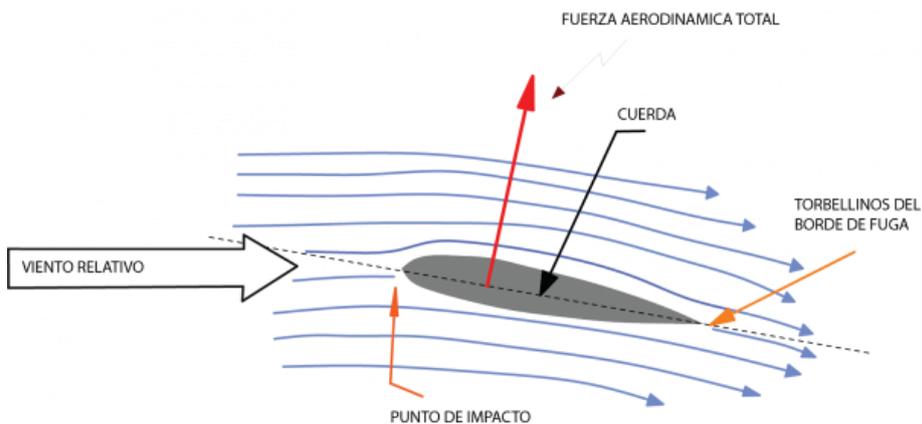


Tomado de: <https://www.nitro.pe/mecanico-nitro/que-son-el-coeficiente-de-arrastre-y-la-aerodinamica.html>

Elevación aerodinámica: la fuerza ejercida sobre el camión por el flujo de aire que lo rodea en dirección vertical se conoce como elevación aerodinámica (Figura 10). Levantar un camión puede tener un efecto perjudicial en su manejo y estabilidad, especialmente cuando se viaja a un ritmo rápido. Un diseño aerodinámico eficaz puede reducir la sustentación, aumentando la seguridad y maniobrabilidad del camión.

Figura 10

Elevación Aerodinámica



Tomado de: https://wiki.ead.pucv.cl/V%C3%ADctor_Contreras:_T%C3%ADtulo_I

Los flujos de aire desordenados, conocidos como turbulencias y vórtices, se producen principalmente en la parte trasera del vehículo y en los lugares donde el flujo de aire entra en contacto con objetos, como las ruedas y los espejos laterales. Estas turbulencias perjudican la integridad estructural del vehículo y la comodidad del conductor al aumentar la resistencia aerodinámica y producir ruido y vibraciones (Figura 11). Los deflectores de aire y los faldones laterales son ejemplos de dispositivos aerodinámicos que ayudan a controlar las turbulencias y reducir los vórtices, mejorando el rendimiento aerodinámico del camión (Figura 12).

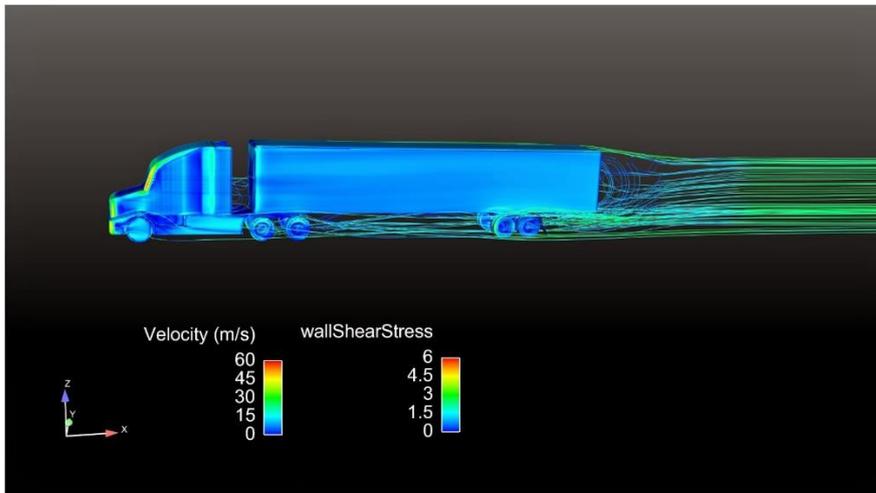
Efecto de succión trasera: la baja presión en la parte trasera del vehículo provoca más fuerza de arrastre, que es lo que provoca el efecto de succión trasera.

Este fenómeno es especialmente notable en vehículos con superficies traseras verticales y planas.

Los equipos aerodinámicos, como los carenados traseros, pueden ayudar a reducir este impacto minimizando la zona de baja presión y suavizando el flujo de aire (Dieciohoruedas, 2014).

Figura 11

Turbulencias en los Camiones



Tomado de: https://dieciochoruedas.blogspot.com/2014/05/aerodinamica-de-camiones-1_4.html

Figura 12

Deflectores de Aire Laterales



Tomado de: https://dieciochoruedas.blogspot.com/2014/05/aerodinamica-de-camiones-1_4.html

Interacción con los vientos laterales: debido a su amplia superficie lateral expuesta, los vientos laterales representan un riesgo grave para los camiones. La

interacción con el viento cruzado puede provocar derrapes y perjudicar la estabilidad del vehículo, aumentando la posibilidad de colisiones. Para mejorar la estabilidad del camión en circunstancias de viento cruzado, un diseño aerodinámico eficaz debe minimizar los impactos negativos de los vientos cruzados.

Flujo de aire alrededor del remolque: la aerodinámica del camión también depende en gran medida del flujo de aire que rodea el remolque. Se puede lograr una reducción significativa de la resistencia aerodinámica optimizando el flujo de aire en esta región. El aire se dirige efectivamente de manera más suave mediante dispositivos como spoilers de techo y deflectores laterales del remolque, que reducen la resistencia y aumentan la economía de combustible (Dieciohoruedas, 2014).

2.2.2 Los Rompevientos y sus Efectos

Los rompevientos son piezas esenciales que se utilizan en la ingeniería del automóvil para mejorar la aerodinámica de un vehículo. Su función principal es redirigir el flujo de aire alrededor del automóvil para reducir la resistencia aerodinámica, lo que mejora la estabilidad de la carretera y la economía de combustible. Cuando se trata de vehículos grandes como el Shacman X3000, la implementación de los rompevientos adquiere importancia debido a su gran tamaño y la forma poco aerodinámica que tiene este vehículo (LaHora, 2020).

Los rompevientos delanteros reducen la cantidad de turbulencia que se forma y crean resistencia al canalizar el aire de manera más efectiva sobre y alrededor del vehículo.

Además de reducir la fuerza de arrastre, este flujo de aire más regulado también ayuda al automóvil a manejarse y mantener la estabilidad, especialmente cuando se viaja a altas velocidades (Figura 13).

Figura 13*Rompevientos de Camión*

Tomado de: <https://carsdrive.com.ar/noticias/novedades/hino-fabrica-argentina-los-deflectores-viento-camiones-ahorro-10-combustible/>

La reducción de la resistencia aerodinámica ofrece varias ventajas inmediatas. En primer lugar, utiliza menos gasolina, lo cual es importante para los vehículos de carga de larga distancia. La reducción del uso de combustible promueve la sostenibilidad ambiental al reducir los gastos operativos y las emisiones de gases nocivos. Además, una menor resistencia aerodinámica significa que el motor no tiene que trabajar tan duro, lo que puede prolongar la vida útil del vehículo y ahorrar gastos de mantenimiento (ZonaLogística, 2014).

Técnicamente hablando, las ideas fundamentales de la dinámica de fluidos sirven como base para el diseño de cortavientos. Es factible estudiar y analizar el comportamiento del flujo de aire que rodea el vehículo y ajustar el diseño del

rompevientos para maximizar su efectividad mediante el uso de técnicas sofisticadas como CFD. Sin construir prototipos reales, CFD le permite ver la distribución de la presión y la velocidad del aire, detectar ubicaciones de alta resistencia y probar varias configuraciones de diseño.

2.3 Diseño y Optimización de Rompevientos

Especialmente en camiones grandes como el Shacman X3000, el diseño y la optimización de los cortavientos se destacan como áreas cruciales en el desarrollo de vehículos comerciales. Reducir la resistencia aerodinámica es el objetivo principal de la cazadora y, al hacerlo, se consigue un ahorro de combustible mucho mayor y menores emisiones de gases nocivos. En este marco, la CFD se reconoce como un instrumento crucial para el examen y mejora de estos elementos aerodinámicos.

Principios de diseño aerodinámico: El diseño aerodinámico se deriva de las ideas básicas del flujo de aire alrededor de objetos en movimiento. La forma y el ángulo del rompevientos controlan cómo se distribuye el flujo de aire y al mismo tiempo reducen la creación de turbulencias y vórtices, que aumentan la resistencia aerodinámica. Estos diseños se están evaluando y mejorando mediante modelado por computadora y métodos basados en simulación, que permiten iteraciones rápidas y efectivas sin la necesidad de prototipos físicos sustanciales (Farija, 2006).

Creación de un Modelo Digital del Vehículo y Cortavientos: Este es el primer paso en el proceso de optimización del rompevientos. El comportamiento del flujo de aire que rodea el vehículo se simula mediante métodos CFD. Estos modelos permiten localizar regiones con importante resistencia aerodinámica y ofrecen datos útiles para modificar el diseño del rompevientos. De forma iterativa, se ajustan parámetros que incluyen el ángulo de protección contra el viento, la curvatura y la longitud, y se evalúan los efectos de estos ajustes en la resistencia aerodinámica general (Cando, 2024).

Herramientas y métodos CFD: la dinámica de fluidos computacional resuelve y analiza problemas de flujo de fluidos utilizando técnicas y algoritmos numéricos. Cuando se trata de diseño de cortavientos, se utilizan métodos como el modelado de turbulencias, que permite pronosticar con precisión los patrones de flujo alrededor del vehículo. Se utiliza software especializado, como ANSYS Fluent u OpenFOAM, para realizar simulaciones CFD y ofrece un entorno estable para la evaluación y optimización aerodinámica (Ojeda, Lopez, Farah, & Ramirez, 2009).

Capítulo III

Estudio Aerodinámico del Rompevientos Frontal de un Camión Shacman X3000 por medio de la Dinámica de Fluidos Computacional

Se centra en analizar y refinar el diseño aerodinámico del rompevientos frontal del camión Shacman X3000. El objetivo es limitar las emisiones nocivas, reducir el consumo de combustible y aumentar la eficiencia aerodinámica del vehículo utilizando sofisticadas tecnologías de dinámica de fluidos computacional (CFD). Mediante el uso de modelos informáticos, este estudio es capaz de evaluar cómo se comporta el flujo de aire alrededor del rompevientos, identificar áreas potenciales de mejora y sugerir cambios de diseño para obtener el mejor rendimiento posible.

3.1 Diseño Metodológico

La eficiencia del combustible y la reducción de la resistencia aerodinámica son los dos objetivos principales del rompevientos delantero del camión Shacman X3000. Las especificaciones y características del rompevientos se tratan en detalle en esta sección, junto con cómo encaja en el diseño del camión.

Modelado geométrico: utilizando software de diseño asistido por computadora (CAD), se produce un modelo tridimensional del camión Shacman X3000 y el rompevientos delantero.

Malla computacional: la geometría se divide en celdas pequeñas usando el modelo CAD para crear una malla computacional que se usará para resolver las ecuaciones de flujo de fluidos. Las regiones críticas tienen una malla fina para capturar mejor los detalles del flujo.

Selección del modelo de turbulencia: Para la simulación, se elige un modelo de turbulencia apropiado. En este caso se emplea el modelo de turbulencia $k-\epsilon$, conocido por lograr un compromiso entre costo de cálculo y precisión.

Condiciones de contorno: se especifican las condiciones de contorno de la simulación, que incluyen temperatura, presión y velocidad del aire. Se definen las condiciones de las paredes del camión y las superficies cortavientos, así como las condiciones de entrada y salida de flujo.

3.1.1 Condiciones de Contorno y Parámetros de Entrada

La precisión de las simulaciones depende críticamente de las condiciones de contorno y los parámetros de entrada. El estudio empleó los siguientes valores:

Velocidad del aire: se utiliza una gama de velocidades simuladas, como 60, 80 y 100 km/h, para imitar situaciones de conducción habituales.

Se tiene en cuenta la presión atmosférica estándar al nivel del mar (101.325 Pa).

Temperatura del aire: Para todas las simulaciones, se supone una temperatura de 25°C.

Condiciones de las paredes: A las superficies del camión y del rompevientos se les aplican condiciones antideslizantes, lo que significa que la velocidad del aire en relación con estas superficies es cero.

3.1.2 Procedimiento de Simulación

Preparación del modelo: Se abre el programa especializado e importe el modelo CAD del rompevientos.

Generación de malla: Se construyó la malla computacional, asegurándose de que las áreas relevantes tengan una alta resolución.

Se configuró la simulación eligiendo el modelo de turbulencia y estableciendo las condiciones de contorno.

Se ejecutaron las simulaciones: recopilando los resultados de las simulaciones para las distintas circunstancias de velocidad.

Análisis de resultados: Se uso el programa para examinar patrones de flujo, detectar zonas de alta resistencia y evaluar la eficiencia aerodinámica de la cazadora.

3.2 Descripción del Rompevientos y su importancia Aerodinámica

El rompevientos delantero del camión Shacman es una parte esencial del diseño del vehículo ya que ayuda a reducir la resistencia aerodinámica, lo que a su vez mejora la economía de combustible. Este componente, que está situado en la sección frontal superior de la cabina del camión, está diseñado especialmente para redirigir el flujo de aire con el fin de reducir las turbulencias que se crean durante la conducción.

3.2.2 Diseño y Características del Rompevientos

Las superficies suaves y curvas y un diseño aerodinámico permiten que el rompevientos Shacman X3000 conduzca el aire por el interior de forma eficaz. Debido a que está compuesto de materiales livianos y duraderos, el automóvil no ganará peso innecesario. Las proporciones del rompevientos se consideran cuidadosamente para minimizar la resistencia aerodinámica y al mismo tiempo mantener la estabilidad del camión.

Para minimizar la resistencia aerodinámica sin perjudicar la vista del conductor ni la apariencia del vehículo, las proporciones del rompevientos están ajustadas con precisión. Para lograr el mejor rendimiento, se utilizan simulaciones y pruebas en túnel de viento para crear formas y ángulos específicos de protección contra el viento.

3.2.3 Importancia Aerodinámica

El objetivo principal del rompevientos es reducir el coeficiente de resistencia aerodinámica (C_d), una medida crucial de la resistencia aerodinámica de un automóvil. El rompevientos reduce la presión en la parte delantera del vehículo al desviar más suavemente el flujo de aire sobre y alrededor de la cabina. Al utilizar menos energía para

mantener velocidades constantes, esto no sólo aumenta la eficiencia del combustible, sino que también ayuda a reducir las emisiones de gases nocivos.

Además, un rompevientos con un diseño aerodinámico eficaz puede mejorar la seguridad vial al disminuir el efecto de los vientos laterales y mejorar la estabilidad del vehículo a altas velocidades. Podría producirse una menor fatiga del conductor al reducir la resistencia aerodinámica, ya que el vehículo se desplazará de manera más suave y controlable.

Otros puntos en la importancia aerodinámica de un rompevientos son las siguientes:

Disminución de la turbulencia: El rompevientos reduce la turbulencia producida en la parte delantera y los laterales de la cabina al redirigir más eficazmente el flujo de aire. Además de aumentar la resistencia, la turbulencia puede generar ruidos y vibraciones no deseados que podrían interferir con la carga del camión y la comodidad del conductor.

Estabilidad mejorada: La reducción de la fuerza lateral generada por el viento cruzado da como resultado un aumento notable en la estabilidad del vehículo. Especialmente en situaciones de viento fuerte, el rompevientos ayuda a canalizar el aire para disminuir los impactos del viento lateral, haciendo que el viaje sea más seguro y estable.

Efecto sobre las emisiones y el consumo de combustible: La reducción del consumo de combustible se atribuye directamente a la eficiencia aerodinámica del rompevientos. Debido a que se necesita menos energía para superar la resistencia del aire, el motor del camión funciona con mayor eficacia y utiliza menos gasolina en el proceso. Como resultado de este aumento en la economía de combustible, también se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, de acuerdo con las leyes ambientales y promoviendo la sostenibilidad.

Comodidad del conductor: La capacidad del eficaz diseño cortavientos para reducir la turbulencia y el ruido aerodinámico también mejora enormemente la comodidad del conductor. Especialmente para los conductores de largas distancias, la reducción del ruido y la vibración significa una experiencia de conducción más cómoda y menos exigente.

El rompevientos delantero del camión Shacman X3000 (Figura 15) es una parte crucial que afecta significativamente el rendimiento aerodinámico del vehículo. Gracias a su diseño mejorado, tiene menos resistencia, más estabilidad, utiliza menos combustible y emite menos contaminantes.

Al utilizar materiales de última generación y concentrarse en la ingeniería aerodinámica, el rompevientos Shacman X3000 mejora enormemente la competitividad y sostenibilidad del camión en el mercado actual.

3.3 Recopilación de Datos y Especificaciones del Rompevientos

Figura 15

Vista Frontal Rompevientos Frontal del Camión Shacman X3000



3.3.1 Características generales

Ubicación: parte superior frontal de la cabina, justo sobre el parabrisas.

Función Principal: Reducir la resistencia aerodinámica y mejorar la eficiencia del combustible.

3.3.2 Diseño y Dimensiones

Materiales: compuestos ligeros y resistentes, como fibra de vidrio reforzada con resina o materiales plásticos de alta resistencia como ejemplo el polipropileno.

Medidas estimadas:

- Ancho: 2,7 metros, que coincide casi con el ancho de la cabina del vehículo.
- Altura: 0,4 metros, medida desde el borde superior del rompevientos hasta la base del parabrisas.
- Profundidad: 0,3 metros (medido hacia delante desde la superficie de la cabina).

Forma: Esquinas redondeadas para evitar la generación de vórtices y una curva suave y aerodinámica. (Figura 16)

Figura 16

Vista Lateral del Rompevientos



3.3.3. Datos Aerodinámicos

Coeficiente de resistencia (Cd): Dependiendo de las circunstancias operativas y la configuración, el diseño cortavientos ayuda a reducir el coeficiente de resistencia general del camión entre un 10% y un 15%.

Reducción de la resistencia aerodinámica: al implementar cortavientos, se puede aumentar considerablemente la economía de combustible al reducir la resistencia aerodinámica hasta en un 30 %.

Impacto en el consumo de combustible: Se dice que la capacidad del rompevientos para reducir la resistencia aerodinámica ha mejorado la economía de combustible entre un 5% y un 10%.

3.3.4 Impacto en el Confort y la Estabilidad

Técnica de Producción: Dependiendo del material, ya sea laminación o moldeo por inyección.

Acabado de la superficie: Pintura o revestimiento con resistencia a los rayos UV para evitar la decoloración y el desgaste.

3.3.5 Datos Adicionales

Integración con otros sistemas: para optimizar la eficiencia general, se puede hacer que el rompevientos funcione en conjunto con otros componentes aerodinámicos del camión, como deflectores laterales y faldones.

Mantenimiento: Es necesario un examen periódico para asegurarse de que no haya desgaste o daños que puedan comprometer el rendimiento aerodinámico.

3.4 Modelado Tridimensional del Rompevientos

3.4.1 Diseño Conceptual

Se empezó a trabajar en el diseño conceptual del rompevientos después de recopilar los datos. Se hizo muchos bocetos y evaluaciones de diversas formas y

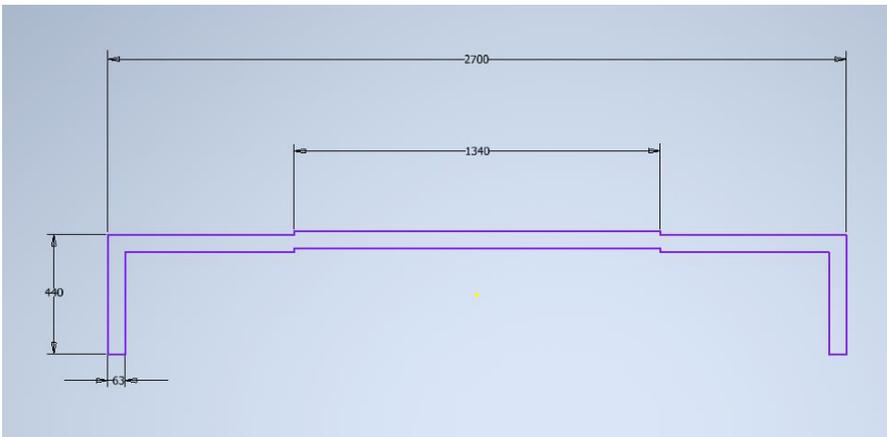
disposiciones que podrían mejorar el rendimiento aerodinámico del camión. En este punto, se tuvo en cuenta aspectos como la reducción de la resistencia del aire, un mejor flujo de aire y la estética del diseño.

3.4.2 Creación del Modelo en Inventor

Primer diseño: Utilizando las herramientas de dibujo de Inventor, se hizo un diseño 2D de la forma general del rompevientos especificando las formas, líneas y curvas necesarias para formar el diseño conceptual. (Figura 17)

Figura 17

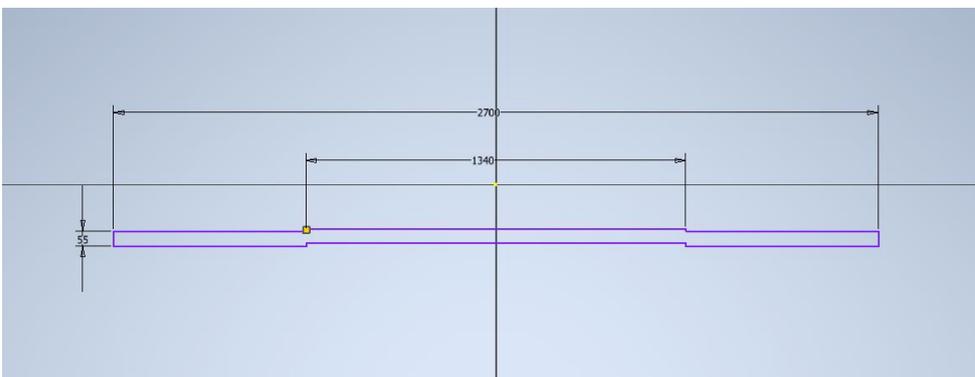
Boceto Principal del Rompevientos



Operaciones de extrusión y sólidos: Para esta operación se realizó un segundo boceto el cual sirve para poder hacer la solevación junto al otro boceto. (Figura 18)

Figura 18

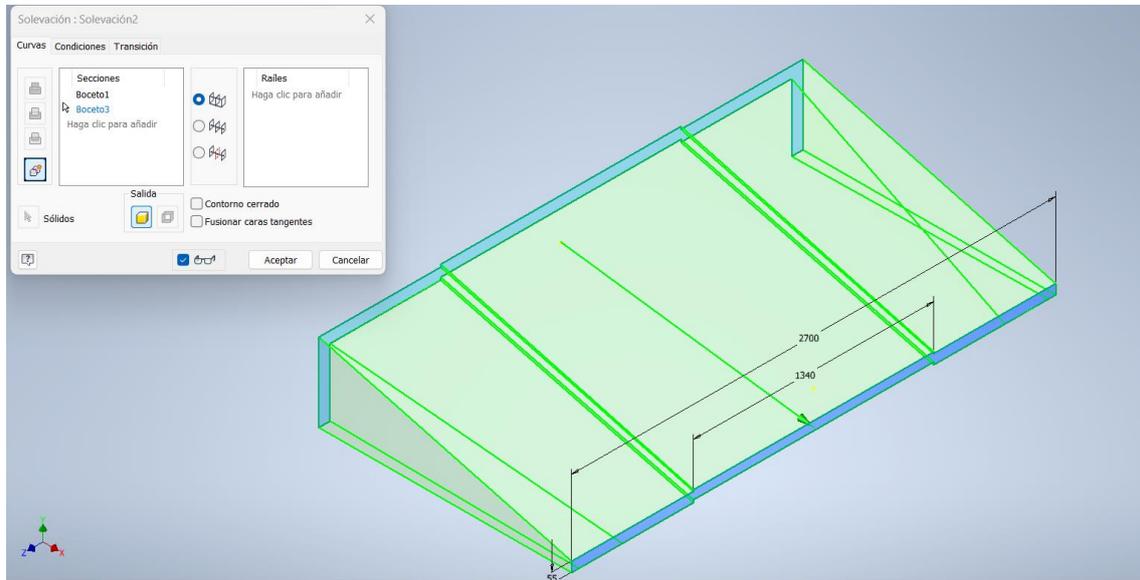
Segundo Boceto



Seguido de esto se realizó la solevación la cual fue de 1410 mm de largo que es el largo del rompevientos. (Figura 19)

Figura 19

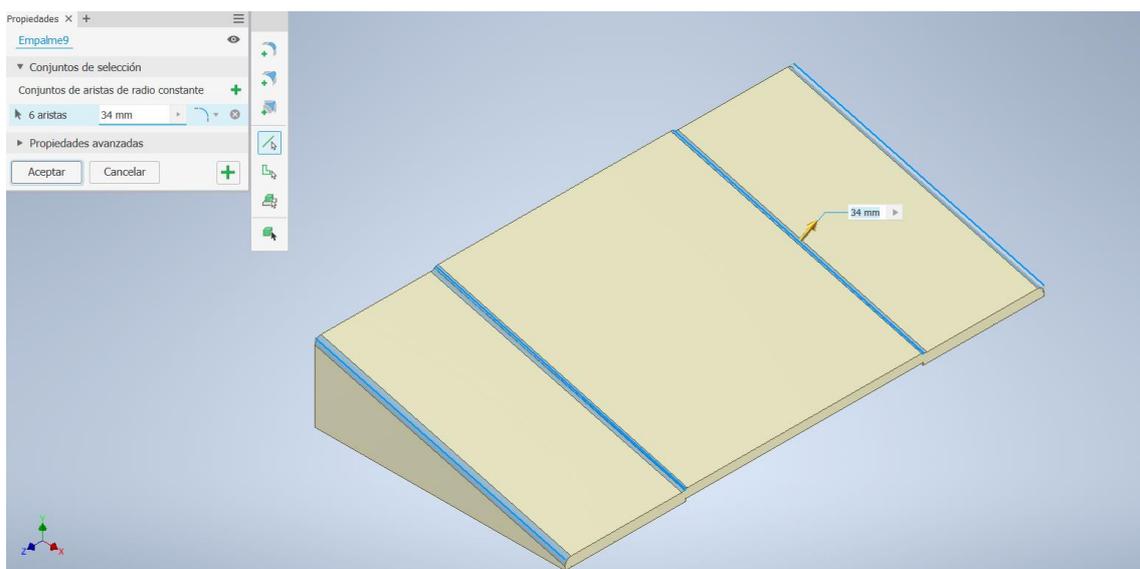
Solevación entre el Boceto Primario y Secundario



Para darle un mejor acabado a las aristas del rompevientos se le hizo empalmes en cada una de las aristas. Estos empalmes tienen una longitud de 34 mm. (Figura 20)

Figura 20

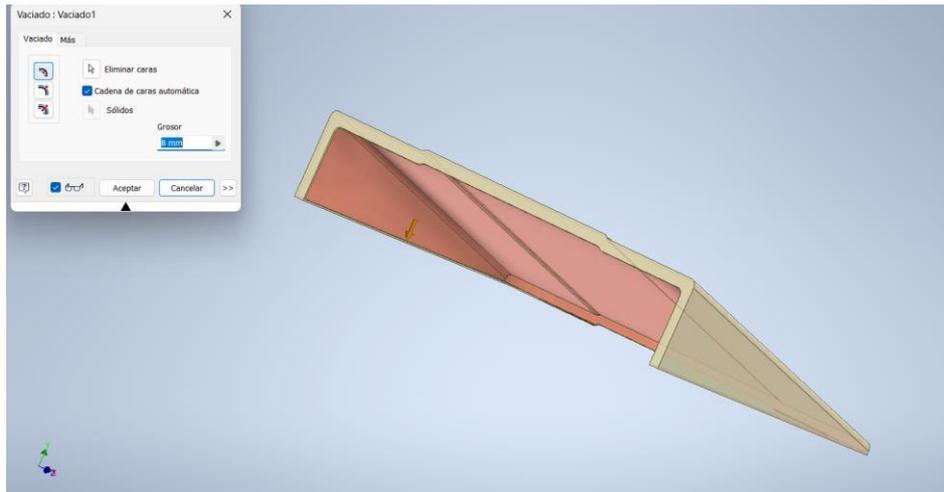
Realización de Empalmes en el Rompevientos



Para poder darle el aspecto del rompevientos a la pieza se le hizo un vaciado interno a la pieza para así poder darle el grosor a la misma el cual es de 8 mm. (Figura 21)

Figura 21

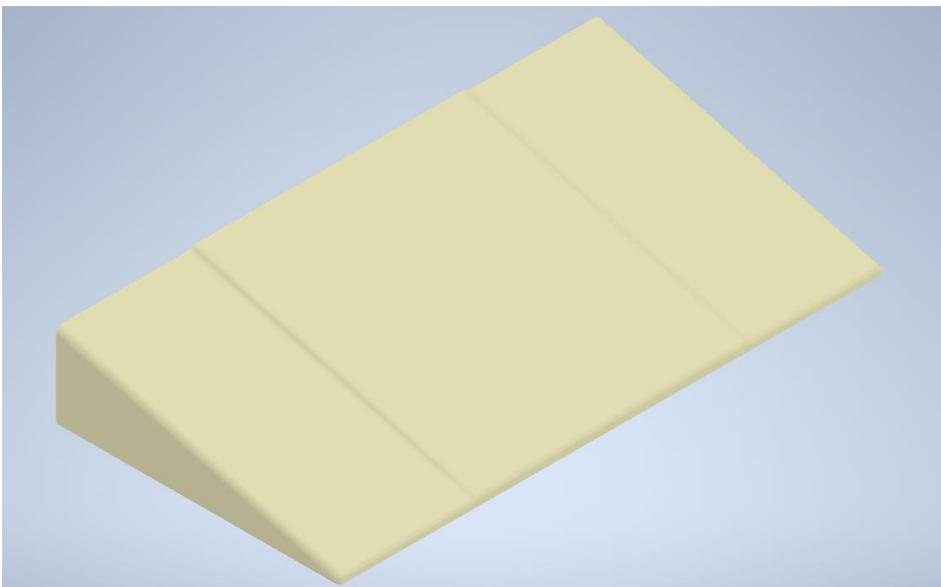
Vaciado de la Pieza



Optimización de la forma: se hizo modificaciones y refinamientos en la forma del modelo para estar seguro de que satisfaga los requisitos aerodinámicos y se ajuste al vehículo con precisión. (Figura 22)

Figura 22

Modelado Tridimensional del Rompevientos Finalizado



3.4.3 Análisis y Validación

Se realizó un primer estudio después de generar el modelo 3D para confirmar su rendimiento aerodinámico. Para realizar simulaciones preliminares, esto podría implicar exportar el modelo a un software de dinámica de fluidos computacional (CFD). Las modificaciones finales del diseño en Inventor se realizan utilizando los resultados de estas simulaciones.

3.4.4 Documentación y Preparación para la Simulación en CFD

Por último, se creó todos los archivos esenciales para la simulación CFD integral y registro todo el proceso de diseño. Aquí se incluyen dibujos técnicos, especificaciones del modelo y cualquier otro dato pertinente que pueda ser necesario para el análisis aerodinámico en el programa CFD.

3.5 Introducción a la Dinámica de Fluidos Computacional

Sin necesidad de realizar pruebas físicas costosas y difíciles, los ingenieros y científicos pueden ver y pronosticar el flujo de fluidos en situaciones del mundo real mediante el uso de CFD. Esto se logra mediante el desarrollo de modelos matemáticos que explican las características de los fluidos y cómo interactúan con el entorno.

Entre las principales ventajas de la CFD se encuentran:

- Costos más bajos: permite prescindir de la necesidad de pruebas experimentales y prototipos tangibles.
- Optimización del diseño: facilita la optimización de sistemas y piezas antes de su fabricación.
- Análisis en profundidad: ofrece una comprensión profunda de procesos físicos complejos y multifacéticos.
- Versatilidad: se puede utilizar para resolver una variedad de problemas en varias especialidades de ingeniería.

Las ecuaciones de Navier-Stokes, un sistema de ecuaciones diferenciales parciales que caracterizan el movimiento de fluidos, son la base de la dinámica de fluidos computacional (CFD). Estas ecuaciones, que pueden enunciarse de la siguiente manera, muestran cómo se conservan la masa, el momento y la energía en un sistema de fluidos:

Ecuación 1

Ecuación de continuidad para la conservación de la masa

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v) = 0$$

- Donde; $\frac{\partial \rho}{\partial t}$ representa la tasa de cambio de la densidad del fluido con respecto al tiempo en un punto específico del espacio.
- El símbolo ∇ es el operador vectorial que se usa para calcular la divergencia.
- ρv este representa el cambio en la densidad de masa debido al flujo en diferentes direcciones.

Ecuación 2

Ecuación de Navier-Stokes (Conservación de momento)

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v \right) = \nabla p + \nabla \cdot \tau + f$$

- Donde ρ es la densidad del fluido.
- $\frac{\partial v}{\partial t}$:es la derivada parcial del vector velocidad v con respecto al tiempo t
- $v \cdot \nabla v$: es el producto punto del vector velocidad v y el operador nabla.
- ∇p : representa la fuerza por unidad de volumen debido a las variaciones de presión en el fluido.
- ∇ : divergencia de un tensor.
- τ : tensor de tensiones viscosas.
- f : es la fuerza externa por unidad de volumen.

Ecuación 3

Ecuación de energía (Conservación de energía)

$$\rho \left(\frac{\partial e}{\partial t} + v \cdot \nabla e \right) = p(\nabla \cdot v) + \Phi + \nabla \cdot (k\nabla T)$$

- ρ : es la densidad del fluido.
- $\frac{\partial e}{\partial t}$: derivada parcial de la energía interna específica e con respecto al tiempo t .
- $v \cdot \nabla e$: producto punto del vector velocidad v y el gradiente de la energía interna específica e .
- p : es la presión del fluido
- $\nabla \cdot v$: es la divergencia del vector velocidad v .
- Φ : representa la tasa de disipación viscosa por unidad de volumen.
- k : significa la conductividad térmica del fluido.
- ∇T : es la gradiente de la temperatura T .

3.5.1 Aplicación de la CFD en la Aerodinámica de los Vehículos

La CFD se utiliza con frecuencia en el contexto de la aerodinámica de vehículos para mejorar el diseño de componentes aerodinámicos, como los cortavientos delanteros de los camiones. Mediante la CFD, el estudio aerodinámico de un camión como el Shacman X3000 permite evaluar y optimizar el flujo de aire que rodea al vehículo, lo que reduce la resistencia y aumenta el ahorro de combustible. Este procedimiento incluye:

- El modelado del vehículo es el proceso de construcción de un modelo tridimensional completo de las partes aerodinámicas del camión.
- Definición de la condición límite: definición de las condiciones de la superficie del vehículo, así como las condiciones de entrada y salida del flujo de aire.
- Simulación del flujo de aire: predicción de cómo se comportará el flujo de aire alrededor del vehículo mediante la solución de las ecuaciones de Navier-Stokes.

- El análisis de los resultados incluye la interpretación de los datos, la localización de regiones de alta resistencia y la sugerencia de cambios de diseño para aumentar la eficiencia aerodinámica.

Una herramienta eficaz y vital para el estudio y diseño de sistemas aerodinámicos es la dinámica de fluidos computacional. La dinámica de fluidos computacional (CFD) se utilizará ampliamente en el proyecto de grado "Estudio aerodinámico del rompevientos frontal de un camión Shacman X3000 mediante dinámica de fluidos computacional" para proporcionar un conocimiento profundo del comportamiento del flujo de aire. Esto permitirá optimizar el diseño del rompevientos frontal, mejorando así el rendimiento general del vehículo.

3.6 Definición de Condiciones y Parámetros de Simulación para el Análisis de la Eficiencia del Rompevientos

La definición precisa de las condiciones de contorno y de los parámetros de simulación es crucial para realizar un análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD) de la eficiencia aerodinámica del rompevientos frontal de un camión Shacman X3000. La validez y la precisión de los resultados están fuertemente influenciadas por estos factores. A continuación, se describe los pasos necesarios para definir estas características y circunstancias.

3.6.1. Condiciones de Contorno

- **Velocidad del Flujo:** Definir la velocidad del flujo de aire en la entrada del dominio de simulación. Este valor debe ser representativo de las condiciones operativas del camión, una velocidad típica de carretera la cual es 70 km/h.
- **Perfil de Velocidad:** Para mayor precisión, se puede usar un perfil de velocidad desarrollado, especialmente en casos de flujo turbulento.

- Intensidad de Turbulencia: la intensidad de turbulencia en el flujo de entrada, generalmente un porcentaje del valor de la velocidad media, 5% de intensidad de turbulencia.
- Longitud de Mezcla: se define la longitud de mezcla, que es una medida de las escalas de turbulencia presentes en el flujo 0.1 metros.

3.6.2 Condiciones de salida

Presión de salida: En la salida del dominio, se proporciona una condición de presión ambiental. Esto garantiza que no haya más barreras para el flujo de aire que sale del dominio.

3.6.3 Condiciones de la pared:

Rugosidad de la superficie: Se Define la rugosidad de la superficie para replicar los efectos de la fricción en la superficie del vehículo.

Rompevientos: La forma del rompevientos y sus efectos en el flujo de aire se aproximen con precisión aplicando criterios particulares.

3.6.4 Parámetros de simulación

Modelo de turbulencia: Dependiendo del tipo de flujo, se selecciona un modelo de turbulencia adecuado. Para simulaciones aerodinámicas de vehículos, se utilizan con frecuencia los modelos $k-\omega$ (k-omega) y $k-\epsilon$ (k-epsilon). El modelo de turbulencia $k-\omega$ SST (Shear Stress Transport) es muy bueno para simular efectos de flujo libre y cerca de la pared.

3.6.5 Propiedades del Fluido

Densidad del Aire: La densidad estándar del aire a condiciones atmosféricas normales es, 1.225 kg/m^3 a 15°C y 101.325 kPa .

Viscosidad del Aire: Se usa el valor de viscosidad dinámica del aire, $1.81 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$.

3.7 Simulación CFD

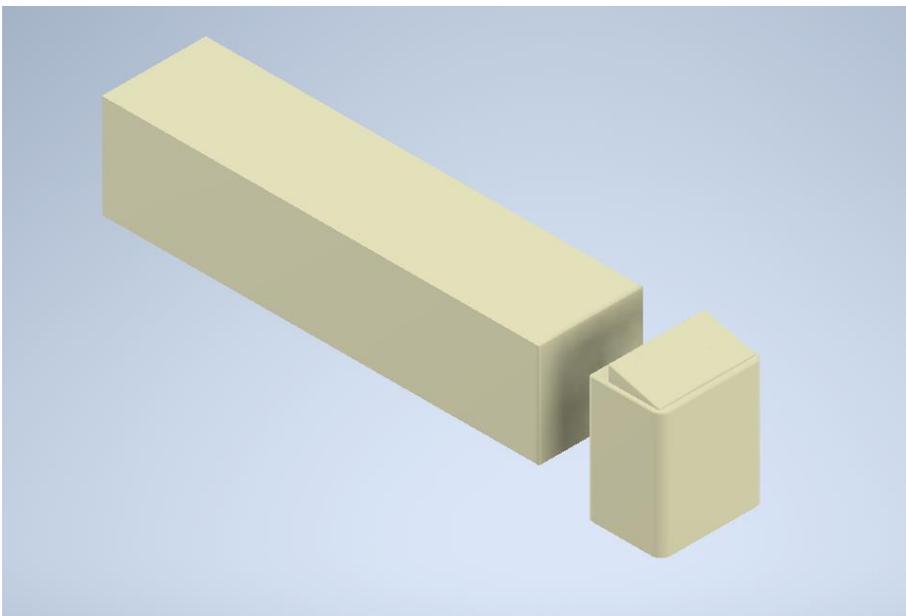
Para la simulación se usa el software especializado el cual es el Autodesk CFD, el cual sirve como principal programa para simulaciones de dinámica de fluidos computacional.

Antes de empezar hay que tener claro que no solo este software se puede usar sino otros como el ANSYS Fluent, Solidworks, OpenFOAM y Star-CCM+; con estos softwares se puede llegar al mismo resultado que con el de Autodesk.

Para la simulación se le agrego al modelado una especie de simulación de cabina del cabezal, la cual tiene las medidas reales, junto a este también se le agrego un contenedor el cual servirá también para la simulación y como actúa el aire en este con el efecto del rompevientos (Figura 23).

Figura 23

Modelado de la Cabina y Contenedor

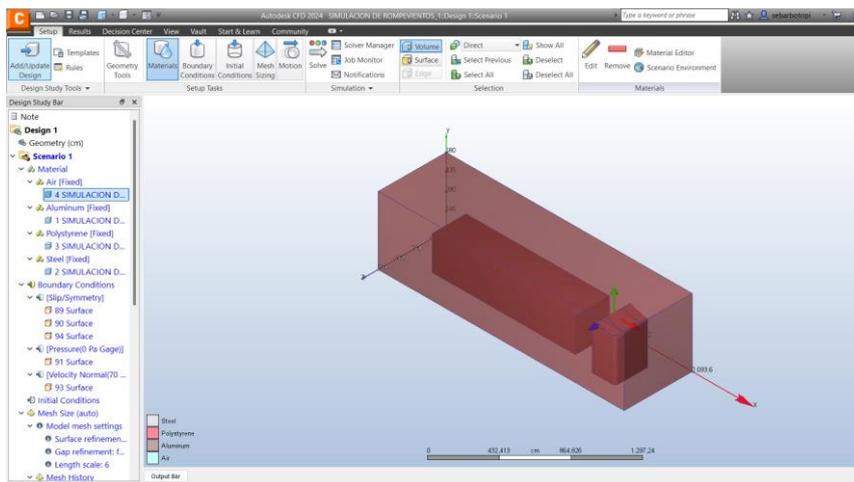


Para la simulación en CFD ya se tiene los parámetros delineados los cuales son la temperatura del aire y la velocidad que sería la que normalmente los camiones circulan que son 70 km/h.

Ya en el software siguiendo todos los pasos los cuales son; trasladar el modelado 3D al CFD, una vez hecho esto se comienza a dar material a las partes del modelado las cuales son, al contenedor el material de hierro, la cabina de aluminio, el rompevientos de polipropileno y el fluido que va a recorrer por esto es el aire (Figura 24).

Figura 24

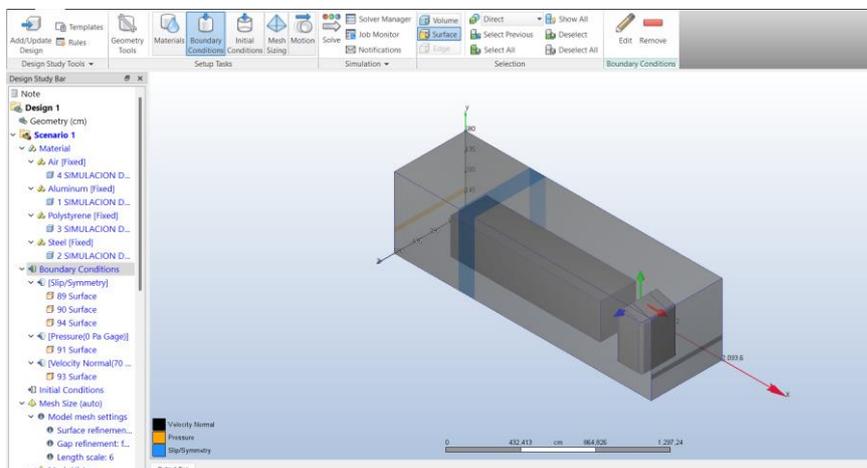
Designación de Materiales en CFD



Una vez dado los materiales se comenzó a hacer es dar las condiciones de borde, en las cuales vamos a delimitar por donde ingresará el fluido, en este caso el aire y en que velocidad, también se dará otras condiciones como lo son la presión que sale este fluido y slip/symmetry que sería la condición para la superficie donde pasara el aire.

Figura 25

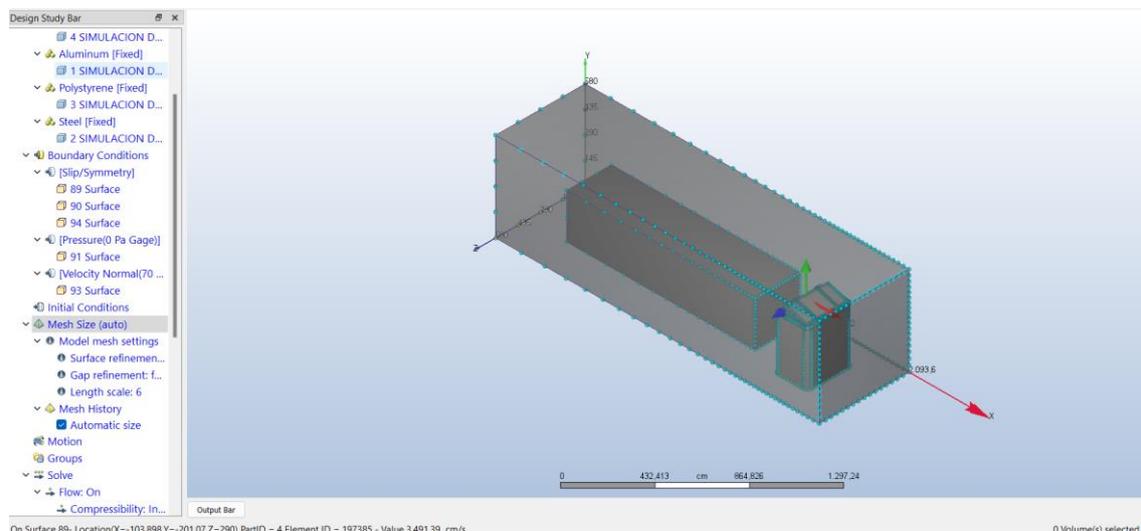
Condiciones de Borde



Una vez hecho estos pasos se realiza el mallado del mismo el cual con este software lo hace de manera automática gracias a la herramienta “autosize”, con esta herramienta nos evitamos talvez llegar a realizar un mallado erróneo y esto podría afectar a la hora de hacer la simulación.

Figura 26

Mallado con Autosize



Capítulo IV

4.1 Análisis de Resultados

Para analizar los resultados de la simulación del diseño 1, procederemos a examinar los datos proporcionados en términos de materiales, condiciones de contorno, malla, física, configuración del solucionador y resultados obtenidos. A continuación, se detalla el análisis:

4.1.1 Materiales

Se utilizaron varios materiales con diferentes propiedades físicas:

- Aluminio: Alta conductividad térmica, baja densidad, y alta emisividad.
- Acero: Densidad alta, menor conductividad térmica comparada con el aluminio, y mayor resistividad eléctrica.
- Poliestireno: Baja densidad, baja conductividad térmica, alta emisividad y alta resistividad eléctrica.
- Aire: Utilizado como el medio fluido con propiedades típicas de densidad variable, viscosidad y conductividad.

4.1.2 Condiciones de Contorno

- Slip/Symmetry: Aplicada a tres superficies, indicando que no hay fricción en esas superficies.
- Presión (0 Pa Gage): Aplicada a una superficie, simulando una salida con presión atmosférica.
- Velocidad Normal (70 km/h): Aplicada a una superficie, simulando la entrada de aire a una velocidad de 70 km/h.

4.1.3 Malla

La malla generada contiene:

- Número de Nodos: 78,059
- Número de Elementos: 316,834

- Refinamiento de superficie y gap: No aplicado.
- Mejoras de malla: Aplicadas con 3 capas.

4.1.4 Física

- Flujo: Activado.
- Compresibilidad: Incompresible.
- Transferencia de Calor y Convección Forzada: Desactivadas.
- Gravedad: No aplicada.
- Radiación: Desactivada.
- Turbulencia: Activada con el modelo k-epsilon.

4.1.5 Configuración del Solucionador

- Modo de Solución: Estado estacionario.
- Control de Solución Inteligente: Activado.
- Esquema de Advección: ADV 5.
- Iteraciones Ejecutadas: 150.

4.1.6 Resultados

Inlets and Outlets

Inlet:

- Presión a Granel: 3275.68 dyne/cm²
- Número de Mach: 0.057
- Flujo de Masa: 787,795 g/s
- Número de Reynolds: 7,475,330

Outlet:

- Presión a Granel: 0 dyne/cm²
- Número de Mach: 0.048
- Flujo de Masa: -788,246 g/s
- Número de Reynolds: 7,479,600

4.1.7 Resultados de Variables de Campo

Máximos y Mínimos de Variables:

- Presión: Máximo de 8194.35 dyne/cm², mínimo de -11016.3 dyne/cm².

Velocidades:

- Vx: 1623.24 cm/s (máx), -3886.54 cm/s (mín).
- Vy: 3336.17 cm/s (máx), -685.412 cm/s (mín).
- Vz: 2991.18 cm/s (máx), -3093.47 cm/s (mín).

Turbulencia:

- Turbulencia Energética (turbk): 1724480 cm²/s² (máx), 1.817e-07 cm²/s² (mín).
- Disipación Turbulenta (turbd): 138484000 cm²/s³ (máx), 2.06532 cm²/s³ (mín).

4.2 Resultados de la simulación

Flujo másico y volumétrico: la conservación de la masa del sistema es buena, ya que los valores de flujo másico y volumétrico de entrada y salida son casi idénticos.

Presión y velocidad: hay una diferencia de presión notable entre el máximo y el mínimo, lo que podría indicar regiones de fuerte resistencia y una posible separación del flujo.

También se observa una variación significativa en las velocidades en las direcciones X, Y, Z, lo que puede indicar turbulencia y quizás remolinos en el flujo cerca del rompevientos.

Turbulencia: el flujo es muy turbulento, como se predijo dada la velocidad de entrada y las propiedades geométricas del rompevientos, como lo indican los altos valores de energía y disipación turbulenta.

Fuerzas en las paredes: Las direcciones e intensidades de las fuerzas aerodinámicas se muestran mediante las fuerzas de presión y corte en las paredes, que también demuestran cómo el flujo impacta en el rompevientos.

4.3 Evaluación de la Eficiencia del Rompevientos en la Reducción de la Resistencia Aerodinámica

Uno de los principales factores que influyen en la eficacia y el rendimiento de los vehículos de gran tamaño, como los camiones, es la resistencia aerodinámica. Si se instala un rompevientos adecuado, se puede reducir considerablemente esta resistencia, lo que aumenta el ahorro de combustible y reduce las emisiones. En esta parte, utilizaremos información de simulaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD) para evaluar la eficacia del diseño del rompevientos frontal del camión Shaeman X3000.

Para evaluar la eficiencia del rompevientos, se realizaron simulaciones CFD bajo las siguientes condiciones:

- Dominio de Simulación: Espacio de flujo alrededor del camión con condiciones de entrada y salida adecuadas.
- Condiciones de Contorno: Velocidad de entrada de 70 km/h y presión atmosférica en la salida.
- Modelado de la Turbulencia: Se utilizó el modelo k-epsilon.
- Propiedades de los Materiales: Se consideraron materiales como aluminio, acero, poliestireno y aire.

4.3.1 Fuerzas Aerodinámicas

Las fuerzas de presión y cizallamiento actuando sobre el rompevientos fueron calculadas como sigue:

- Fuerzas de Presión:
 - X: -709,370,000 dynes
 - Y: 617,390,000 dynes
 - Z: 7,324,200 dynes
- Fuerzas de Cizallamiento:
 - X: -25,965,000 dynes

- Y: 354,370 dynes
- Z: -7,625.4 dynes

Estas fuerzas indican que la mayor resistencia se produce en la dirección del flujo (eje X), como es de esperar para un vehículo en movimiento.

4.3.2 Distribución de Presión y Velocidad

La simulación reveló áreas de alta y baja presión alrededor del rompevientos: Máxima Presión: 8194.35 dyne/cm², Mínima Presión: -11016.3 dyne/cm². Estas diferencias de presión pueden causar resistencia aerodinámica adicional debido a la separación del flujo en ciertas áreas del rompevientos. La distribución de velocidad mostró variaciones significativas en las tres direcciones:

- Velocidad en X: Máxima de 1623.24 cm/s, mínima de -3886.54 cm/s
- Velocidad en Y: Máxima de 3336.17 cm/s, mínima de -685.412 cm/s
- Velocidad en Z: Máxima de 2991.18 cm/s, mínima de -3093.47 cm/s

Estas variaciones indican la presencia de turbulencia y remolinos, lo cual puede aumentar la resistencia aerodinámica.

4.3.3 Coeficiente de Resistencia Aerodinámica (Cd)

El coeficiente de resistencia aerodinámica (Cd) es una medida clave para evaluar la eficiencia del rompevientos. Para calcular el Cd, se usó la siguiente fórmula:

$$Cd = \frac{2 \cdot F_d}{\rho \cdot A \cdot V^2}$$

Donde:

- F_d es la fuerza de resistencia.
- ρ es la densidad del aire.
- A es el área frontal del camión.
- V es la velocidad del flujo.

Usando los datos de la simulación:

- $F_d \approx 7.0937 \times 10^8$ dynes (resistencia en X).
- $\rho = 1.20473$ g/cm³ (densidad del aire).
- $A = 80000$ cm² (área frontal estimada del camión).
- $V = 70$ km/h = 1944.44 cm/s.

Calculando el Cd:

$$Cd = \frac{2 \cdot 7.0937 \times 10^8}{1.20473 \cdot 80000 \cdot (1944.44)^2} \approx 0.68$$

Podemos determinar la eficacia del diseño del rompevientos del camión Shacman X3000 analizando los datos de simulación (Figura 27).

Reducción de la resistencia aerodinámica: aunque el diseño del rompevientos tiene como objetivo reducir la resistencia aerodinámica, algunas regiones de alta presión y turbulencia sugieren que es posible realizar más avances.

Coefficiente de resistencia aerodinámica (Cd): el valor calculado de Cd es bastante alto, alrededor de 0,68. Una mejor eficiencia aerodinámica se indicaría con un Cd más bajo.

4.4 Aclaración de Resultados

El modelo de rompevientos utilizado para generar los resultados de la simulación CFD en este estudio no es una reproducción exacta, aunque se pretendía que se asemejara mucho al diseño original. La precisión de los resultados podría haberse visto afectada por esta variación en la fidelidad del modelo, en particular en relación con la resistencia aerodinámica y la distribución del flujo de aire. El modelo utilizado y el rompevientos real diferían en tamaño, forma y características de diseño, lo que podría haber provocado que se sobrestimaran o subestimaran algunos efectos aerodinámicos.

Por lo tanto, se recomienda considerar estos resultados como indicativos y realizar más experimentos con un modelo más preciso o, mejor aún, con el rompevientos real para obtener datos más refinados y representativos. Estos experimentos adicionales

respaldarán los hallazgos existentes y ayudarán a alinear mejor las predicciones del rendimiento aerodinámico con el comportamiento real del rompevientos.

Margen de error en el coeficiente de resistencia aerodinámica (C_d): un modelo impreciso puede generar un coeficiente de resistencia aerodinámica (C_d) que no se represente de manera realista. Esto podría provocar que la fuerza de resistencia se sobrestime o se subestime, lo que tendría un impacto inmediato en las proyecciones de ahorro de combustible. Según las discrepancias entre el modelo y el diseño real, la variación en C_D puede variar en algunas circunstancias entre un 5 y un 15 %.

Errores en la distribución del flujo: la simulación puede mostrar una distribución del flujo de aire que no sea precisa respecto de lo que sucede en realidad en una situación del mundo real si el modelo no representa con precisión la geometría del rompevientos. Esto tendría un impacto en la separación del flujo, el desarrollo de turbulencia y la identificación de lugares importantes de alta presión.

4.5 Áreas de Mejora

Las zonas de alta y baja presión del rompevientos indican que ciertas modificaciones de diseño pueden reducir la turbulencia y la separación del flujo, lo que eventualmente reduciría la resistencia aerodinámica.

A partir de los cálculos y análisis realizados mediante simulaciones CFD, se han identificado una serie de mejoras y ajustes que podrían maximizar aún más el rendimiento aerodinámico del rompevientos para un camión Shacman X3000:

Optimización de la forma del rompevientos:

Mejor curvatura y ángulos: las formas aerodinámicas minimizan la turbulencia y la separación del flujo, según las simulaciones. Se recomienda modificar la curva y los ángulos del rompevientos para minimizar la turbulencia y los puntos de alta presión y para suavizar la transferencia del flujo de aire alrededor de la cabina.

Uso de superficies contorneadas: al implementar superficies con perfiles o contornos más finos y redondeados, se puede reducir la resistencia aerodinámica, lo que conduce a un mayor ahorro de combustible.

Modificaciones del tamaño del rompevientos:

Tamaño óptimo: los cortavientos más grandes cuestan más dinero y suman peso, pero también desvían mejor el flujo de aire. Es recomendable realizar un estudio de equilibrio entre la eficiencia aerodinámica, el peso y el tamaño para determinar el tamaño ideal que optimice la reducción de la resistencia al avance y evite la degradación del rendimiento debido al peso adicional.

Reducción de las áreas de separación: la resistencia al avance inducida se puede reducir ajustando el tamaño para evitar la creación de zonas de separación del flujo de aire en la parte trasera de la cabina.

Adopción de una postura estratégica:

Ubicación más avanzada: se ha demostrado que colocar el rompevientos más cerca de la parte delantera del vehículo reduciría la resistencia aerodinámica de forma más satisfactoria. El flujo aerodinámico podría mejorarse aún más evaluando la viabilidad de mover el rompevientos más hacia adelante y cambiar su forma para que se adapte mejor a la cabina del camión.

Ajuste del ángulo de inclinación: al ajustar el ángulo de inclinación del rompevientos para que se adapte mejor al flujo incidente a distintas velocidades, se puede optimizar la desviación del aire y reducir la turbulencia detrás de la cabina.

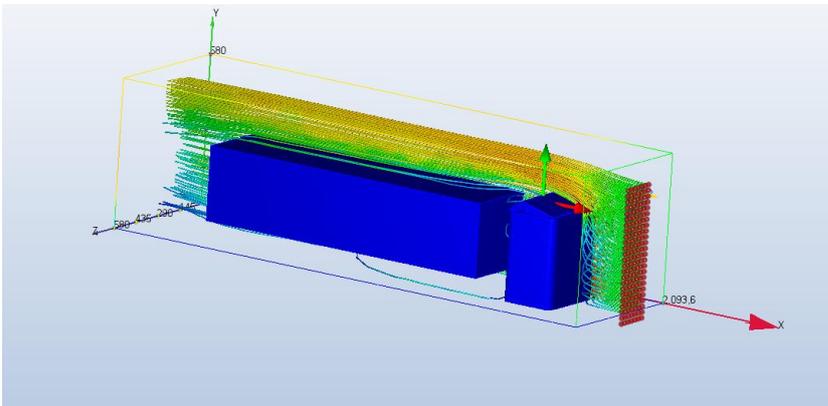
Aplicación de componentes aerodinámicos adicionales:

Deflectores y flaps ajustables: según la velocidad del vehículo, la incorporación de deflectores o flaps ajustables puede ayudar a redirigir el flujo de aire en diversas circunstancias operativas. Este enfoque flexible aumentará la eficiencia aerodinámica.

Uso de tecnología activa: para minimizar de manera más eficiente la resistencia aerodinámica, considere la posibilidad de incluir tecnología activa, como cortavientos ajustables dinámicamente, que puedan responder a las condiciones del flujo en tiempo real.

Figura 27

Flujo de aire con el rompevientos



Conclusiones

Según las simulaciones de CFD, la distribución del flujo de aire y la resistencia aerodinámica del camión Shacman X3000 se ven significativamente influenciadas por la forma, el tamaño y la ubicación del rompevientos. Las formas aerodinámicas, los tamaños adecuados y las posiciones más cercanas a la parte delantera del camión reducen eficazmente la separación del flujo y la turbulencia.

El uso de software CAD permitió crear un modelo tridimensional preciso del rompevientos, lo que facilitó la simulación de varios escenarios de flujo de aire, la realización de modificaciones precisas de diseño para maximizar el rendimiento aerodinámico y la iteración rápida y eficaz al mismo tiempo que se integra con herramientas de simulación de CFD.

Mediante el uso de modelos CFD, se demostró que el diseño del rompevientos reduce con éxito la resistencia aerodinámica del camión Shacman X3000, lo que reduce la fuerza de arrastre y aumenta el ahorro de combustible. Aún hay espacio para el desarrollo, aunque el diseño actual reduce la resistencia con un coeficiente de arrastre (C_d) de 0,68. Los cambios de diseño futuros que podrían mejorar aún más la aerodinámica y el rendimiento general del camión podrían basarse en la identificación de ciertas regiones con separación de flujo y turbulencia elevadas mediante las simulaciones.

Recomendaciones

Para investigar una amplia variedad de configuraciones de forma, tamaño y posición de cortavientos, se recomienda una optimización paramétrica detallada. Esto permitirá determinar el diseño que proporcione el mayor ahorro de combustible y la mayor reducción de la resistencia aerodinámica, garantizando que se tengan en cuenta todas las posibles combinaciones y su impacto en el rendimiento aerodinámico del camión.

Se recomienda seguir desarrollando y perfeccionando el diseño del rompevientos con sofisticadas herramientas CAD. Además, para mejorar aún más el modelo y garantizar su integración exitosa con las pruebas de rendimiento aerodinámico, se recomienda un enfoque de diseño iterativo que involucre simulaciones CFD y revisiones periódicas. Esto ayudará a mejorar continuamente la eficiencia del diseño.

Para investigar posibles mejoras en el diseño del rompevientos, se recomiendan más simulaciones de CFD y pruebas experimentales en túneles de viento. Al centrarse en las regiones que han demostrado presentar mayor separación de flujo y turbulencia, el diseño se puede ajustar para reducir aún más el coeficiente de arrastre (C_d), mejorando así el ahorro de combustible y el rendimiento general del vehículo.

Bibliografía

- Alvarado, D. (2016). *¿Qué son el coeficiente de arrastre y la aerodinámica?* Obtenido de https://www.nitro.pe/mecanico-nitro/que-son-el-coeficiente-de-arrastre-y-la-aerodinamica.html#google_vignette
- Álvarez Rivera, A., Vera Puebla, E., Morales Neira, D., Ramos Rivero, V., Chele Sancán, D., Tellez Gómez, W., & Noroña Merchán, M. (2021). *Análisis Comparativo de Molduras que Influyen en la Eficiencia Aerodinámica Sobre un Chasis de Karting por Medio de Simulación Computacional*. Obtenido de <https://doi.org/10.53887/se.vi.46>
- Aude, J. (2024). *Ecuaciones de Navier-Stokes: Fundamentos y Aplicaciones Básicas*. Obtenido de <https://www.focusce.com.ar/post/ecuaciones-de-navier-stokes-fundamentos-y-aplicaciones-basicas#:~:text=%C2%BFCu%C3%A1ndo%20se%20utilizan%20las%20ecuaciones,dominan%20sobre%20las%20fuerzas%20inerciales>.
- Calderon, D. (2021). *Dinámica de fluidos computacional*. Obtenido de <https://www.integral.com.co/dinamica-de-fluidos-computacional/>
- Cando, L. S. (2024). *Diseño de elementos aerodinámicos para un vehículo de competencia utilizando análisis computacional CFDE*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15388>
- Carrillo, J. M., & Castillo, L. G. (2020). *Consideraciones del Mallado aplicadas al Cálculo de Flujos Bifásicos con las técnicas de Dinámica de Fluidos Computacional*. Obtenido de https://www.upct.es/hidrom/publicaciones/revistas/Consideraciones_del_mallad

o_aplicadas_al_calculo_de_flujos_bifasicos_con_las_tecnicas_de_dinamica_de_fluidos_computacional.pdf

Caruajulca, N. (2021). *Informe de Fluidos-Metodos Numericos*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/421130266/Informe-de-Fluidos-metodos-numericos>

CRYOSPAIN. (2022). *Dinámica de fluidos computacional: cómo está revolucionando los proyectos de ingeniería*. Obtenido de <https://cryospain.com/es/dinamica-fluidos-computacional-esta-revolucionando-proyectos-ingenieria>

Dieciochoruedas. (2014). *AERODINÁMICA DE CAMIONES*. Obtenido de https://dieciochoruedas.blogspot.com/2014/05/aerodinamica-de-camiones-1_4.html

Diessa. (2023). *AERODINÁMICA EN LOS CAMIONES*. Obtenido de <https://www.diessa.es/es/noticias/97/aerodinmica-en-los-camiones/#:~:text=La%20aerodin%C3%A1mica%20aplicada%20en%20los,combustible%20energ%C3%ADa%20en%20el%20trayecto.>

Farija, I. (2006). *Estudio de la Aerodinamica de los vehiculos*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4962/496251108011.pdf>

HelloAuto. (2022). *Aerodinámica*. Obtenido de <https://helloauto.com/glosario/aerodinamica>

Heredia Pantoja, E., & Martínez Rosas, P. (2020). *Estudio Aerodinámico de un Deflector de Aire para Camiones y su Influencia en el Consumo de Combustible*. Universidad Internacional del Ecuador.

- LaHora. (2020). *Deflectores o rompevientos ¿qué función cumplen?* Obtenido de https://www.lahora.com.ec/noticias/deflectores-o-rompevientos-que-funcion-cumplen/#google_vignette
- Mora, X. (2017). *Las ecuaciones de Navier-Stokes*. Obtenido de <https://metode.es/revistas-metode/monograficos/equacions-navier-stokes.html>
- Ojeda, P., Lopez, M., Farah, S. A., & Ramirez, A. (2009). *CFD Como una Herramienta para Diseño de Productos*. Sonora, Mexico. Obtenido de https://somim.org.mx/memorias/memorias2009/pdfs/A1/A1_215.pdf
- Ruiz, G. (2014). *Modelos de turbulencia en mecánica de fluidos computacional*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/371304893_Modelos_de_turbulencia_en_mecanica_de_fluidos_computacional
- Scielo. (2020). *Dinámica de Fluido Computacional: Revisión y análisis de las aplicaciones en la ingeniería*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542020000400009&script=sci_arttext&tlng=es#:~:text=La%20CFD%20es%20empleada%20para,en%20el%20funcionamiento%20y%20duraci%C3%B3n.
- Witenas, A. (2024). *Análisis y simulación CFD: ¿Qué es? ¿Para qué sirve?* Obtenido de <https://www.energrendesign.com/analisis-y-simulacion-cfd-que-es-para-que-sirve/#:~:text=Un%20an%C3%A1lisis%20CFD%20nos%20permite,otras%20estrategias%20de%20dise%C3%B1o%20sostenible.>
- Yudianto, A., Solikin, M., Sutiman, S., Arifin, Z., Adiyasa, I., & Yudiantoko, A. (2022). *Investigación aerodinámica de vehículos extremadamente eficientes en*

condiciones de viento lateral. Obtenido de
<https://doi.org/10.17533/udea.redin.20221107>

ZonaLogistica. (2014). *Deflectores en el Ahorro de Combustible.* Obtenido de
<https://zonalogistica.com/deflectores-en-el-ahorro-de-combustible/>

