

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Automotriz

> Autor: Steeven Raúl Genovez Andrade Tutor: Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla, Msc

Simulación del Comportamiento del Flujo de Aire en la Brida

de Admisión para el Vehículo de Competición Suzuki Swift 1.2

cc

ii

Certificación de Autoría

Yo, Steeven Raúl Genovez Andrade, con CI: 0944020858, 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.

Steeven Raúl Genovez Andrade C.I.: 0944020858

Aprobación del Tutor

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

Edgar Gustavo Vera Puebla, Msc. C.I.: 1715264105 Director del Proyecto

Dedicatoria

Dedico esta tesis a la memoria de mi querido abuelo. Su amor, consejos y enseñanzas siguen siendo mi guía. Este trabajo es un reflejo de los valores que él me inculcó y de la motivación que siempre me brindó para alcanzar mis metas. Siempre te llevaré en mi corazón.

Steeven Raúl Genovez Andrade

Agradecimientos

Primero y, ante todo, quiero agradecer a Dios por haberme dado la fortaleza, la sabiduría y la salud necesarias para completar este proyecto. Sin Su guía y bendiciones, nada de esto habría sido posible.

A mis padres, quienes siempre han sido mi mayor apoyo y fuente de inspiración. Su amor, sacrificio y dedicación me han permitido llegar hasta aquí. Gracias por creer en mí y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mi hermana, por su apoyo incondicional y sus palabras de aliento en los momentos difíciles. Gracias por estar siempre ahí para mí.

A mi esposa, por su paciencia, comprensión y amor inagotable durante todo este proceso. Gracias por ser mi compañera, por apoyarme en cada paso y por mantenerme enfocado en mis metas.

A mis dos hijas, quienes son mi mayor motivación y fuente de alegría. Gracias por llenar mis días de felicidad y por darme la razón para seguir adelante.

A mis amigos, Sebastián Pérez y Steeven Marcillo, por su constante ánimo y apoyo. Sus palabras de aliento y su amistad han sido fundamentales en este camino. Gracias por estar siempre dispuestos a ayudar y por creer en mí.

Finalmente, quiero expresar mi gratitud a todos aquellos que, de una u otra forma, han contribuido a la realización de esta tesis. A mis profesores y compañeros de estudio, a las instituciones y personas que colaboraron en mi formación y en la elaboración de este trabajo. Sin su apoyo y colaboración, este logro no habría sido posible.

A todos ustedes, ¡muchas gracias!

Steeven Raúl Genovez Andrade

Dedica	atoriav	
Agrad	ecimientosvi	
Índice	Índice General vii	
Índice	de Figuras x	
Índice	de Ecuaciones xv	
Índice	de Tablasxvi	
Resum	nen xviii	
Abstra	ctxix	
Capítu	lo I 1	
Proble	ma de la Investigación1	
1.1.	Tema de Investigación 1	
1.2.	Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema1	
1.2.1.	Planteamiento del Problema1	
1.2.2.	Formulación del Problema 2	
1.3.	Sistematización del Problema 2	
1.4.	Objetivos de la Investigación	
1.4.1.	Objetivo General	
1.4.2.	Objetivos Específicos	
1.5.	Justificación e Importancia de la Investigación	
1.5.1.	Justificación Teórica	
1.5.2.	Justificación Metodológica	
1.5.3.	Justificación Práctica	

Índice General

1.5.4.	Delimitación Temporal
1.5.5.	Delimitación Geográfica
1.5.6.	Delimitación del Contenido
1.6.	Alcance7
Capítu	ılo II
2.	Marco de Referencia
2.1.	Dinámica
2.2.	Leyes de Newton
2.3.	Termodinámica
2.1.	Estado y Equilibrio13
2.2.	Procesos Térmicos
2.3.	Ley Cero de la Termodinámica15
2.4.	Presión16
2.5.	Ley de Pascal17
2.6.	Ley de Sutherland 17
2.7.	Modelo de Turbulencia Shear Stress Transport (SST)
2.8.	Software de Ingeniería Mecánica y Diseño Asistido por Computadora (CAD)18
2.8.1.	Autodesk Inventor
Capítu	ılo III
Metod	lología
3.1.	Métodos
3.2.	Tipo de Estudio
3.2.1.	Investigación Descriptiva

3.2.2.	Método Descriptivo	. 22
3.3.	Materiales	. 22
3.4.	Optimización Topológica	. 22
3.5.	Consideraciones de Restricción de Diseño	. 26
3.6.	Simulación Numérica	. 27
3.7.	Cargas Estructurales y Escenarios de Análisis	. 28
3.8.	Ecuaciones de Equilibrio	. 30
3.9.	Interpretación de Resultados	. 30
3.10.	Factor de Seguridad	. 31
Capítulo IV		. 33
Anális	sis de Resultados	. 33
4.1.	Análisis de Datos Obtenidos	. 33
4.1.1.	Flujo Isentrópico Unidimensional	. 33
4.1.2.	Volumen de Control Finito	. 34
4.1.3.	Relación de Presión	. 35
4.1.4.	Esfuerzos y Deformación	. 50
4.1.5.	Factor de Seguridad	. 64
Concl	usiones	. 67
Recon	nendaciones	. 68
Biblio	grafía	. 69
Anexo	DS	. 71

Índice de Figuras

Figura 1 Representación de Cuerpo Libre	
Figura 2 Gráfica de la Fuerza de Restauración	9
Figura 3 Descripción gráfica de la Primera Ley de Newton	9
Figura 4 Descripción gráfica de la Segunda Ley de Newton	10
Figura 5 Descripción gráfica de la Tercera Ley de Newton	11
Figura 6 Representación de la Primera Ley de la Termodinámica	
Figura 7 Representación de la Segunda Ley de la Termodinámica	
Figura 8 Estado	
Figura 9 Equilibrio Térmico	14
Figura 10 Proceso Cuasi-estático o de Cuasi-equilibrio	14
Figura 11 Flujo Estacionario	
Figura 12 Ley Cero de la Termodinámica	
Figura 13 Ley de Pascal	
Figura 14 Pantalla del Software AutoCAD 2023	19
Figura 15 Pantalla Principal del Software Autodesk Inventor2023	
Figura 16 Modelo del Proceso de Optimización Topológica y Diseño Generativo	
Figura 17 Plano de la Brida de Admisión a Elaborar en 2D	
Figura 18 Plano de la Brida de Admisión en 3D	
Figura 19 Vaciado de la Brida de Admisión	

Figura 20 Plano para la Extrusión de Zonas de la Brida de Admisión en 3D 25
Figura 21 Volumen de Control Finito
Figura 22 Mallado de la Brida de Admisión
Figura 23 Análisis de Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 1 36
Figura 24 Densidades Producidas por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de
Admisión – Caso 1
Figura 25 Temperaturas Generadas por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de
Admisión – Caso 1
Figura 26 Velocidad Generada por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión
– <i>Caso 1</i>
Figura 27 Análisis de Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 2 38
Figura 28 Densidades Producidas por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de
Admisión – Caso 2
Figura 29 Temperaturas Generadas por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de
Admisión – Caso 2
Figura 30 Velocidades Generadas por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de
Admisión – Caso 2
Figura 31 Match Producido por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión –
<i>Caso 3</i>
Figura 32 Velocidad Alcanzada por Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión –
<i>Caso 3</i>

Figura 33 Temperaturas Generada por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de
Admisión – Caso 3
Figura 34 Caídas de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 3 41
Figura 35 Densidad Generada por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión
- <i>Caso 3</i>
Figura 36 Match Producido por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión –
<i>Caso 4</i>
Figura 37 Temperaturas Alcanzadas por Caída de Presión en la Garganta de la Brida de
Admisión – Caso 4
Figura 38 Velocidad Generada por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión
- <i>Caso 4</i>
Figura 39 Caídas de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 4 44
Figura 40 Densidad Generada por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión
- <i>Caso 4</i>
Figura 41 Match Producido por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión –
<i>Caso</i> 5
Figura 42 Velocidad Generada por Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión –
<i>Caso 5</i>
Figura 43 Caídas de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 5 46
Figura 44 Temperaturas Generadas en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 5

Figura 45 Densidad Generada por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión
– <i>Caso 5</i>
Figura 46 Match Producido por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión –
<i>Caso 6</i>
Figura 47 Densidad Generada por Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión –
<i>Caso 6</i>
Figura 48 Caídas de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 6 49
Figura 49 Velocidad Generada en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 6 49
Figura 50 Densidad Generada por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión
- <i>Caso 6</i>
Figura 51 Parámetros de Selección para la Simulación de Esfuerzos y Deformación 51
Figura 52 Gráfica Resultante de la Simulación de Esfuerzos y Deformación – Caso 1 52
Figura 53 Gráfica de Esfuerzos Principales Von Mises – Caso 1
Figura 54 <i>Gráfica de Desplazamientos – Caso 1</i>
Figura 55 Gráfica Resultante de la Simulación de Esfuerzos y Deformación – Caso 2 54
Figura 56 Gráfica de Esfuerzos Principales Von Mises – Caso 2 55
Figura 57 <i>Gráfica de Desplazamientos – Caso 2</i>
Figura 58 Gráfica Resultante de la Simulación de Esfuerzos y Deformación – Caso 3 56
Figura 59 Gráfica de Esfuerzos Principales Von Mises – Caso 3 57
Figura 60 Gráfica de Desplazamientos – Caso 3 57
Figura 61 Gráfica Resultante de la Simulación de Esfuerzos y Deformación – Caso 4 58

Figura 62 Gráfica de Esfuerzos Principales Von Mises – Caso 4	59
Figura 63 Gráfica de Desplazamientos – Caso 4	59
Figura 64 Gráfica Resultante de la Simulación de Esfuerzos y Deformación – Caso 5	60
Figura 65 Gráfica de Esfuerzos Principales Von Mises – Caso 5	61
Figura 66 Gráfica de Desplazamientos – Caso 5	61
Figura 67 Gráfica Resultante de la Simulación de Esfuerzos y Deformación – Caso 6	62
Figura 68 Gráfica de Esfuerzos Principales Von Mises – Caso 6	63
Figura 69 Gráfica de Desplazamientos – Caso 5	63
Figura 70 Factor de Seguridad – Caso 1	64
Figura 71 Factor de Seguridad – Caso 2	64
Figura 72 Factor de Seguridad – Caso 3	65
Figura 73 Factor de Seguridad – Caso 4	65
Figura 74 Factor de Seguridad – Caso 5	66
Figura 75 Factor de Seguridad – Caso 6	66

Ecuación 1 Igualdad de Pascal	16
Ecuación 2 Ley de Sutherland	18

Índice de Tablas

Tabla 1 Datos Iniciales para el Análisis de Caída de Presión	
Tabla 2 Relaciones de Flujo Relaciones de Flujo	
Tabla 3 Análisis de Caída de Presión – Caso 1	
Tabla 4 Análisis de Caída de Presión – Caso 2	
Tabla 5 Análisis de Caída de Presión – Caso 3	40
Tabla 6 Análisis de Caída de Presión – Caso 4	
Tabla 7 Análisis de Caída de Presión – Caso 5	45
Tabla 8 Análisis de Caída de Presión – Caso 6	47
Tabla 9 Propiedades Mecánicas de la Aleación de Aluminio 6061-T4	50
Tabla 10 Análisis de Esfuerzos y Deformación – Caso 1	51
Tabla 11 Fuerza Resultante en cada uno de los Ejes – Caso 1	52
Tabla 12 Análisis de Esfuerzos y Deformación – Caso 2	53
Tabla 13 Fuerza Resultante en cada uno de los Ejes – Caso 2	54
Tabla 14 Análisis de Esfuerzos y Deformación – Caso 3	56
Tabla 15 Fuerza Resultante en cada uno de los Ejes – Caso 3	56
Tabla 16 Análisis de Esfuerzos y Deformación – Caso 4	57
Tabla 17 Fuerza Resultante en cada uno de los Ejes – Caso 4	58
Tabla 18 Análisis de Esfuerzos y Deformación – Caso 5	60
Tabla 19 Fuerza Resultante en cada uno de los Ejes – Caso 5	60

Tabla 20	Análisis de Esfuerzos y Deformación – Caso 6	52
Tabla 21	Fuerza Resultante en cada uno de los Ejes – Caso 6	52

Resumen

En la actualidad los vehículos de competencia buscan restringir la cantidad de flujo másico de aire que es inyectado al cilindro del motor de combustión interna (M.C.I), y para ello se recurre a utilizar la brida de admisión. La brida de admisión es un es un dispositivo mecánico por donde fluye aire desde el exterior hacia el cilindro durante la etapa de admisión limitando la potencia del M.C.I. Los automóviles que utilizan turbocompresor, la brida se instalada a la entrada de éste. Previo a que se construya una brida de admisión se puede simular en un sistema computacional (CAD) con simetría axial y de preferencia con geometría del tipo convergente-divergente si no se tiene un turbocompresor pre-instalado en el vehículo, con el objetivo de determinar las variaciones de los parámetros termodinámicos de flujo que se generan, la selección de materiales y simulación de esfuerzos, y poder determinar el diseño ideal. Con los resultados del campo de flujo de velocidad, densidad, temperatura, presión y número de Mach se muestran variaciones de magnitudes termodinámicas en diferentes regiones del elemento, antes y después de la onda de choque, así como las zonas donde se produce recirculación y separación de flujo en las paredes de la brida; y por ende el factor de seguridad.

Palabras Clave: Brida de admisión, diseño, flujo de aire, simulación, sistema, termodinámica.

Abstract

Currently, competitive vehicles seek to restrict the amount of mass flow of air that is injected into the cylinder of the internal combustion engine (I.C.E), and to do so they resort to using the intake flange. The intake flange is a mechanical device through which air flows from the outside into the cylinder during the intake stage, limiting the power of the I.C.E. In vehicles that use a turbocharger, the flange is installed at its inlet. Before an intake flange is built, it can be simulated in a computer system (CAD) with axial symmetry and preferably with convergent-divergent type geometry if there is no turbocharger pre-installed in the vehicle, with the objective of determining the variations in the thermodynamic flow parameters that are generated, the selection of materials and stress simulation, and being able to determine the ideal design. With the results of the flow field of velocity, density, temperature, pressure and Mach number, variations of thermodynamic magnitudes are shown in different regions of the element, before and after the shock wave, as well as the areas where recirculation occurs and flow separation at the flange walls; and therefore the safety factor.

Keywords: Intake flange, design, air flow, simulation, system, thermodynamics.

Capítulo I

Problema de la Investigación

1.1. Tema de Investigación

Simulación del comportamiento del flujo de aire en la brida de admisión para el vehículo de competición Suzuki Swift 1.2 cc.

1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

1.2.1. Planteamiento del Problema

Dentro del campo automotor es necesario siempre innovar y mejorar el/los diseño(s) de cada uno de los componentes que influyen en el desempeño del rendimiento de un vehículo de competición, sean estos en el sistema de motor, transmisión, diferencial y ruedas, debido a que en hoy en día las carreras implican vehículos con sistemas electrónicos donde su punto de intervención se centra en las variaciones geométricas y numéricas de elementos que intervienen en la admisión, compresión y explosión, es decir en los tiempo del ciclo de motor. Para ello se aplican metodologías que contribuirán el ahorro de recursos económicos a través del uso de vías de ingeniería por software, es decir la manipulación de programas de computación que realizan el sinfín de procesos con el fin de obtener resultados eficaces y precisos. En base a lo anteriormente expuesto se precisa el realizar una simulación del comportamiento del flujo de aire en la brida de admisión de forma técnica, debido a que se requiere determinar las variaciones de las dimensiones termodinámicas en el medio del flujo y la transformación de la forma de onda de choque cuando se transporta hacia la salida del elemento, todo ello basado con la aplicación del diseño funcional para el vehículo de competición Suzuki Swift 1.2 cc.

Parte del planteamiento del problema del tema de investigación presente es la onda de choque oblicua, normal y expansiva de Prandtl-Meyer, así como también la turbulencia, separación del flujo, parámetros termodinámicos del flujo compresible, entre otros.

1.2.2. Formulación del Problema

¿Cuáles son los pasos metodológicos ideales que interviene en la termodinámica del flujo de aire que ingresa en la brida de admisión del vehículo de competición Suzuki Swift 1?2 cc, que permita la transformación de la onda de choque de flujo?

A través, de la formulación del cuestionamiento se pretende la viabilidad de cuestionarse los objetivos que se alcanzaría con el actual trabajo mediante las restricciones y medidas de análisis en ingeniería en la que se encamina el proceso metodológico para el análisis de flujo y procesos que guiarán la instauración del proceso de optimización de la brida de admisión.

Estructuralmente el problema presente se formula a través de:

La descripción del componente a través de la identificación de la geometría de la brida de admisión para de esta forma alcanzar la termodinámica del flujo compresible ideal.

Tomando en cuenta las restricciones que se presentan como son la onda de choque oblicua, normal y expansiva.

1.3. Sistematización del Problema

- ¿Cómo se representan las ondas dentro de una brida de admisión?
- ¿Cuál es el método para elaborar el prototipo 3D de la brida de admisión adaptable a un vehículo de competición?
- ¿Qué parámetro dominante es el número de Mach a emplearse y considerarse como flujo compresible?
- ¿Cuáles son las ecuaciones clave que se consideran para la dinámica de fluidos para el flujo compresible?
- ¿Cuáles son las razones para valorar la eficacia de la simulación de comportamiento del flujo de aire en la brida de admisión?

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

• Simular el comportamiento del flujo de aire en la brida de admisión para el vehículo de competición Suzuki Swift 1.2 cc

1.4.2. Objetivos Específicos

- Definir el diseño y propiedades del material de la brida de admisión.
- Realizar un análisis detallado de los flujos de contorno del prototipo propuesto.
- Generar un modelo tridimensional de la brida de admisión con su respectivo mallado y simulación de flujo ideal.

1.5. Justificación e Importancia de la Investigación

1.5.1. Justificación Teórica

Establecido y definido los objetivos del actual estudio de investigación se proceden a delimitar por delimitación geográfica donde se llevará a efectuar el estudio, así también las debidas justificaciones de la investigación en respuesta a las interrogantes exhibidas para el proceso.

El estudio ingenieril presente se evidencia por la necesidad de mejorar las prestaciones de rendimiento de un vehículo de competición. Para lo cual se plantea que la brida de admisión sea eficiente y con una optimización estructural ideal, para de esta forma brindar el caudal de aire que llegue al motor sea el máximo posible, las pérdidas de carga sean lo menos posible y la presión justo en la salida de la brida sea la máxima posible.

Lo que se pretende alcanzar es un flujo y caudal ideal de aire que permita alcanzar la máxima potencia en un motor de 1.2 cc pasa obtener una mezcla ideal de aire-combustible adaptable a la altitud promedio en que se desarrolla competiciones de rally en Ecuador.

Por consiguiente, el presente estudio ofrece un desarrollo de elemento complementario en el motor conjuntamente con la ingeniería del diseño mecánico.

1.5.2. Justificación Metodológica

Metodológicamente interviniente en el actual trabajo del tipo experimental, comparativo y cualitativos, puesto que se genera un análisis del flujo de aire que entra al motor a través de una brida de admisión y su geometría para determinar el caudal y velocidad de desfogue. El estudio está basado en las ondas de Prandtl-Meyer, la turbulencia, separación del flujo interno, termodinámica del flujo compresible para ello se emplea un método experimental donde el mallado y la topología del elemento diseñado permitirá explotar una gama amplia de configuraciones geométricas que conformarán al componente; señalando los patrones de diseño que alcanzarán la eficiencia y eficacia, buscando siempre que no se alcance a comprometer la configuración del motor de combustión interna (M.C.I), resistencia y peso del vehículo. En el caso de la simulación numérica lo que se pretende es validar que el flujo de aire sea óptimo para poder mejorar y alcanzar el máximo rendimiento. Por consiguiente, al generar el proceso de evaluación y simulación de las medidas de análisis, todo resultado obtenido se basa en los distintos escenarios de velocidad, torque y trabajo.

Por lo expuesto en el párrafo anterior se justifica que el método a emplear busca integrar técnicas avanzadas en la simulación del mallado y análisis térmico, que contribuyen de manera precisa una visión que se basa en respuestas y datos numéricos.

Al tomar en consideración la geometría ideal, la capacitancia de carga eficaz y efectiva, se desea asegurar el resultado de un diseño práctico, real y utilizable.

1.5.3. Justificación Práctica

La justificativa de la práctica en el presente proyecto está fundamentado en el diseño tangible, rendimiento y calidad de una brida de admisión automotriz. Dentro de las resultantes que se intentan alcanzar con la simulación numérica y diseño estructural se tienen:

• Mejora de la prestación del auto de competición Suzuki Swift 1.2 cc por medio de una brida de admisión de diseño ideal y óptimo acoplable al conducto de admisión, el cual

permita el flujo y caudal de aire adaptable a la altitud promedio de Ecuador. Teniendo en cuenta que la geometría asegure una buena mezcla de estequiométrica ideal que no afecte a la seguridad y desempeño del M.C.I para la cual se diseña, siendo eficaz y eficiente.

- En consecuencia, a la eficacia de aplicación de material, la optimización topológica permitirá el reducir el peso bruto de la brida, debido a que a través de este paso se toma material no necesario en el componente, pero con la atención de que a través de este paso también mejora significativamente el rendimiento, trabajo y torque del vehículo.
- La baja empleabilidad de costos de elaboración se identifica con la reducción de los exámenes de error y prueba al que se induce componentes cuando se genera bicetos elaborados por software, ya que al diseñarse en computador un elemento se identifica los materiales que aportan a obtener menos peso y a la par una mayor eficiencia.
- Seguridad del vehículo total por la razón que se realiza una repartición de cargas, esfuerzo, caudales adecuados y eficacia de forma proporcional en diversos regímenes de conducción, alcanzando así una mejora total de la seguridad y baja de riesgos en fallas de componentes.
- En lo que compete a la actualización y competitividad del actual trabajo está el empleo de procesos modernos tales como la optimización topológica, análisis de estructura y análisis de temperatura por medio de simulación.

Por lo mencionado en los párrafos anteriores se puede sintetizar que la justificación práctica reside en ser un gran desarrollo, dado que se podrá pasar del conocimiento conceptual y teorías en procesos palpables y reales, que aporten a innovar en el campo mecánico, al saber y optimizar procesos de generación de elementos para el caudal de aire que ingresa a un motor, interviniendo la seguridad, eficacia, eficiencia y competitividad en los elementos del vehículo.

1.5.4. Delimitación Temporal

De acuerdo con la planificación establecida para el presente trabajo investigativo tiene una proyección de tiempo que inicia el 20 de mayo de 2024 y finalizaría el 8 de septiembre de 2024, tiempo en el cual se lleva a cabo cada una de las fases en las que de manera cronológica se cumplirán con los objetivos planteados hasta llegar a su culminación.

1.5.5. Delimitación Geográfica

El presente estudio se lleva a cabo en las instalaciones de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador extensión Guayaquil, tanto en la parte teórica, así como práctica con la utilización de los laboratorios con que cuenta la institución.

1.5.6. Delimitación del Contenido

El actual trabajo se desarrolla bajo el marco de teorías y conceptos para el estudio de la simulación de estructura, simulación numérica, optimizaciones topológicas y mallado de brida de admisión, por medio del paso investigativo basado en fuentes de bibliografía teórica y técnica, así como de artículos científicos, páginas web, proyectos de titulación, entre otros, que se organizan de una adecuada manera para lograr los objetivos propuestos.

La estructuración del marco teórico como tal se muestra en cuatro capítulos como párrafos de textos y su respectiva recomendación y conclusión. En contraste con la parte investigativa que se demarcará según la delimitante y la inclusiva de la forma siguiente:

Lo que concierne a la limitación se estipula:

- Posee una perspectiva en el estudio de la optimización topológica y de estructura de la brida de admisión.
- Aplicación de simulación numérica por medio de ecuaciones de presiones y temperaturas para simular el flujo y caudal bajo distintas fuerzas, cargas y determinados escenarios de conducción.

- Consideración en determinar las limitaciones y objetivos, como lo es la eficiencia de la del elemento en estudio y el mínimo peso a ocupar dentro del M.C.I.
- Evaluación de los resultados obtenidos en los que se incluyen flujo de aire, viscosidad del aire, temperaturas, caudal, entre otros que garantizará la integridad estructural propia y ajena.
- Por último, el enfoque en la mejora del rendimiento y seguridad del vehículo donde se instalará el prototipo.

En lo que refiere a la delimitativa se demarca:

- Restricción absoluta de cualquier procedimiento de optimizaciones no relacionadas con la topología de elementos.
- No se abordará a estudiar ningún otro componente del vehículo aparte de la brida de admisión.
- No se incluirá otros tipos de análisis aparte del dinámico o lineamientos de trabajo del M.C.I.

1.6. Alcance

El alcance de este trabajo se focaliza en el diseño de una brida de admisión automotriz con su respectivo análisis del comportamiento. Se estudiará la influencia de simulación por elemento finito para diseñar el proceder de la estructura y paso del flujo de aire en la brida bajo el diámetro de la garganta, la normativa geométrica y la puesta dentro del M.C.I. El estudio incluirá las ecuaciones gobernantes de la dinámica de fluido en el flujo compresible, conservaciones de la energía, cantidades de movimientos, conservaciones de la masa y fórmula del estado.

Sin embargo, no se abordarán aspectos afines con la producción ni costos de fabricación. El estudio se centra estrictamente en el modelado y simulación numérica de la brida de admisión en un vehículo de competencia.

Capítulo II

Marco de Referencia

2.1. Dinámica

Según (Rivera Berrío, 2022) define que "...La dinámica es el estudio de cómo las fuerzas afectan el movimiento de objetos y sistemas, además de considerar las causas del movimiento de objetos y sistemas de interés, donde un sistema es algo que se analiza.".

El pilar de la dinámica se basa en las leyes de movimientos establecida por el Sir Newton Isaac en el año 1642 – 1727. Como punto de partida está la definición de fuerza que se puede entender desde el empujón o un tirón de un objeto, es decir que dicho movimiento tiene tanto magnitud como dirección (o también llamado cantidad vectorial). La fuerza es expresada como múltiplo de una fuerza estándar se representa o por vectores. En la Figura 1 se observa el diagrama cuerpo libre donde está la fuerza externa que ejercen en un objeto.

Figura 1

Representación de Cuerpo Libre





Una definición cuantitativa de fuerza se basa en la fuerza estándar, un ejemplo se muestra en la Figura 2 en donde la posibilidad de estirar un resorte a cierta distancia fija y usar la fuerza que ejerce para devolverse (fuerza de restauración). Figura 2

Gráfica de la Fuerza de Restauración



Fuente: (Rivera Berrío, 2022)

2.2. Leyes de Newton

La 1ra ley de Isaac Newton es Ley de Inercia que establece que "un cuerpo en reposo permanece en reposo o, si está en movimiento, permanece en movimiento a velocidad constante a menos que actúe sobre él una fuerza externa neta". En la Figura 3 se grafica como un elemento en reposo (disco de hockey) pasa a estado de movimiento cuando el elemento externo (palo de hockey) lo golpea.

Figura 3

Descripción gráfica de la Primera Ley de Newton



Fuente: (Gonzalez Herrera, 2018)

La segunda ley de Newton es la ley de movimiento que dice "La aceleración de un sistema es directamente proporcional y en la misma dirección que la fuerza externa neta que actúa en el sistema y es inversamente proporcional a su masa".

Esta ley involucra a la fuerza y la aceleración, en la Figura 4 se representa cómo las distintas fuerzas aplicadas en la misma masa generan distintas aceleraciones, en el primer caso de 2 personas que empujan un vehículo en reposo, y en el segundo caso las fuerzas que actúan sobre el vehículo se transfieren a una grúa donde se produce una mayor fuerza externa y por lo tanto una mayor aceleración (diagrama de cuerpo libre).

Figura 4







La tercera ley de Newton es la ley de principio de acción y reacción que dice "cada vez que un cuerpo ejerce una fuerza sobre un segundo cuerpo, el primer cuerpo experimenta una fuerza que es igual en magnitud y opuesta en dirección a la fuerza que ejerce". La Figura 5 muestra cuando una mujer aplica una fuerza sobre el coche de compras en la dirección contraria, en otra definición, la fuerza externa total sobre la mujer está en la dirección contraria a la fuerza del coche. Las líneas en torno a la mujer indican el medio de utilidad. El diagrama de cuerpo libre presenta exclusivamente la fuerza del coche, la fuerza de gravedad y FBA la cual es la fuerza de arrastre que mantiene el peso de la mujer.

Figura 5

Descripción gráfica de la Tercera Ley de Newton



Fuente: (Rivera Berrío, 2022)

2.3. Termodinámica

Según (Cengel y Boles, 2011) define a la termodinámica "...como la ciencia de la energía... proviene de las palabras griegas therme (calor) y dynamis (fuerza), lo cual corresponde a lo más descriptivo de los primeros esfuerzos por convertir el calor en energía".

Así como en la dinámica parte de las Leyes de Newton, la termodinámica también tiene sus propias leyes. En la Figura 6 se representa la 1ra ley que es un manifiesto del principio de conservación de la energía, donde se dictamina que la energía es propiedad termodinámica.

Figura 6

Representación de la Primera Ley de la Termodinámica



Fuente: (Cengel y Boles, 2011)

En la Figura 7 se muestra la segunda ley que asevera que la energía tiene calidad, así como cantidad y los procesos reales ocurren hacia donde disminuye la calidad de la energía.

Figura 7

Representación de la Segunda Ley de la Termodinámica



Fuente: (Cengel y Boles, 2011)

2.1. Estado y Equilibrio

En el estado específico la propiedad involucrada del sistema tiene claros los valores y si varia el dato de cualesquier propiedad entonces el estado cambiará a otro desemejante. En la figura 8 se observa el sistema en 2 diferentes estados.



Estado



Fuente: (Cengel y Boles, 2011)

El equilibrio se define como un estado de balance donde no hay fuerzas impulsoras (o potenciales desbalanceados) dentro del sistema y éste no experimenta cambios cuando es aislado de sus alrededores.

Dentro del equilibrio térmico se tiene:

- Equilibrio químico: cuando la composición química no cambia en el tiempo, en otras palabras, si no acontece reacción química alguna.
- Equilibrio mecánico: está vinculado con una presión y el sistema lo dispone siempre y cuando en el tiempo no haiga cambio de presiones en cualquiera de sus puntos.
- Equilibrio térmico: cuando se tiene igual temperatura por completo en el medio como se ve en la Figura 9.

Figura 9 *Equilibrio Térmico*



a) Antes

b) Después

Fuente: (Cengel y Boles, 2011)

2.2. Procesos Térmicos

El proceso se define como cualesquier cambios de estado de equilibrio a otros acontecido por el sistema, mientras que el camino es la sucesión de estados por los cuales pasa el sistema a través de la fase. El proceso puede ser de cuasi-estático o de cuasi-equilibrio (ver Figura 10).

Figura 10

Proceso Cuasi-estático o de Cuasi-equilibrio



Fuente: (Cengel y Boles, 2011)

El proceso de flujo estacionario es un proceso durante el cual un fluido fluye de forma estacionaria por un volumen de control, es decir, las propiedades del fluido pueden pasar de un punto a otro dentro del volumen de control, sin embargo, en algún punto fijo permanecen sin cambio durante todo el proceso. Ver Figura 11



Flujo Estacionario



Fuente: (Cengel y Boles, 2011)

2.3. Ley Cero de la Termodinámica

La Ley 0 de la termodinámica fundamenta que sí 2 cuerpos están en equilibrio térmico con el tercer cuerpo, estarán en equilibrio térmico entre ellos, y que sirve para el fundamento y validar la medición de la temperatura. Si el cuerpo 3 se reemplaza con el termómetro, la ley 0 podría volverse a enunciar como 2 cuerpos en equilibrio térmico si los dos tienen igualdad de medición de temperatura inclusive si no estuvieran en contacto. Ver Figura 12.

Figura 12

Ley Cero de la Termodinámica



Fuente: (Cengel y Boles, 2011)

2.4. Presión

La presión se conceptualiza como una fuerza normal que se aplica al fluido (gas o líquido), por la unidad de área. Ver la Ecuación 1

Ecuación 1

Igualdad de Pascal

$$1 P_a = 1 N / m^2$$

Donde:

 P_a = Pascal (Pa) N = Newton

 m^2 = metro cuadrado

La presión real en la ubicación especificada se denomina presión absoluta, y se valora con relación al vacío absoluto, en otras palabras, la presión cero absoluto. La presión por abajo de la presión atmosférica se denomina presión de vacío y se valora a través del medidor de vacío que muestra la disconformidad entre la presión absoluta y atmosférica. La presión absoluta, manométrica y presión de vacío es positiva y se vinculan entre ellas.

La presión del fluido en reposo no varía en sentido horizontal, pero en vertical no es el suceso por existir el campo de gravedad, debido a que la presión del fluido se eleva con la depresión por existir una cantidad mayor de fluido que reposa sobre las capas más bajas generando el efecto del "peso extra" en una capa baja se equilibra a través de una subida de la presión.

2.5. Ley de Pascal

La ley de Pascal menciona: "la presión sobre un fluido especifico es la misma en todos los puntos de un eje horizontal, sin consideración del diseño geométrico, y, siempre que los puntos estén unidos por el mismo fluido. Ver Figura 13.

Figura 13

Ley de Pascal



Fuente: (Cengel y Boles, 2011)

2.6. Ley de Sutherland

El físico australiano William Sutherland, trabajó el comportamiento de la viscosidad dinámica versus la temperatura en los gases ideales. La enunciación parte de la definición de la teoría cinética de gas ideal y conjeturando un potencial intermolecular idealizado; en base a ello desarrolló la ley de viscosidad para gases perfectos o también llamada ley de Sutherland. Donde el aire la constante de William Sutherland es computada en 120 ° Kelvin (° K). Ver Ecuación 2.
Ecuación 2

Ley de Sutherland

$$u = u_0 \frac{T_0 + C_S}{T + C_S} \left(\frac{T}{T_0}\right)_2^3$$

Donde:

 u_0 = viscosidad de referencia en la temperatura de referencia T_0

 T_0 = temperatura de referencia en °K

u = viscosidad dinámica del gas en Pa

 C_S = constante de Sutherland en °K

T = temperatura del gas en grados Kelvin (°K)

2.7. Modelo de Turbulencia Shear Stress Transport (SST)

(An y Fung, 2018) mencionan que el SST es un modelo de turbulencia de viscosidad de Foucault de ecuaciones que une los méritos de ambos $k - \varepsilon$ (K-*epsilon*) y el $k - \omega$ ((K-omega) que varían formulando fuera de la capa límite a través de funciones de fusión, dependiendo de la escala de longitud de turbulencia. La adopción de un $k - \omega$ en los regímenes internos de una capa límite permite aplicar directamente el modelo hasta la pared, mientras que la adopción de capa $k - \varepsilon$ en los regímenes externos elimina la desventaja de la sensibilidad a las propiedades de turbulencia de la corriente libre de entrada.

(Brecht et al., 2018) describen que el modelo SST causa un amortiguamiento importante de las olas para evitar la difusión de las ondas de alta inclinación, dicha amortiguación es provocada por el aumento de la viscosidad turbulenta alrededor del aire y el agua.

2.8. Software de Ingeniería Mecánica y Diseño Asistido por Computadora (CAD)

El avance tecnológico ha innovado la ingeniería y campo automotriz permitiendo que el CAD desarrolle una pre-visualización, análisis, simulación e información anterior a la fabricación y desarrollo del componente real. El CAD incluye de un uso ampliado de multiherramientas de software que expertos del diseño manipulan en la generación de su trabajo siendo para ingeniería, arquitecturas, diseño gráfico, entre otros. Ver Figura 14.

Figura 14

Pantalla del Software AutoCAD 2023



Fuente: (Frausto-Robledo, 2022)

2.8.1. Autodesk Inventor

Autodesk Inventor (Figura 15) dispone de un conglomerado de herramienta profesional para el dibujo de ingeniería, arquitectónico, estructura, mecánico, entre otros, así también da paso a la visualización, documentación y simulación de elementos en diseño 3D. De tal forma que permite integrar valores en 2D y 3D en entorno único, dando paso a una creación de una representación virtual del componente terminado que permitirá analizar la forma, ajuste, el diseño paramétrico y funcionamiento del componente generado, previo su producción, generando productos terminados mejores y de reducidos precios de generación. A través de la biblioteca integrada se puede escoger elementos estándares de contenido personalizado sean engranajes, acero, tubos, conexión por perno, tornillería, levas, entre otras.

Por lo tanto, se determina que el software en referencia se aplica al tema propuesto ya que contribuye a realizar una simulación numérica y de entorno aplicado en una brida de admisión, es decir, antes de generar el diseño 3D en el software se podrá realizar el diseño en 2D, las pruebas bajo el método de elemento finito, pruebas de funcionamiento de flujo, mallado, entre otras. Y con ello establecer si el material del diseño que se pretenden aplicar es el adecuado.

Figura 15

Pantalla Principal del Software Autodesk Inventor2023



Fuente: (Vera E., 2017)

Capítulo III

Metodología

3.1. Métodos

La metodología de investigación en la simulación del comportamiento de la brida de admisión involucra la aplicación de simulaciones por elementos finitos para observar la forma de onda producida en la entrada y salida de la brida. La optimización topológica basada en algoritmos que sondean configuraciones geométricas eficaces, minimizando el peso y maximizando la resistencia. Las metodologías combinan el simular el comportamiento preciso con enfoque algorítmico para obtener un prototipo ideal y seguro del elemento en estudio, flujo de aire ideal y onda de choque óptimo.

3.2. Tipo de Estudio

El trabajo se deriva de la investigación experimental y aplicada. Utilizando las simulaciones de la presión, los parámetros termodinámicos, densidad, temperatura y velocidad. La indagación se fundamenta en la concentración práctica de pasos técnicos de ingeniería en el ámbito físico, con el fin de hallar el modelo que preste una mejora del rendimiento del vehículo y la seguridad en el mismo, al instante de variar las velocidades de movimiento. Se utilizan datos numéricos y respuestas de simulación para defender las resultantes y recomendación de cada una de ellas.

3.2.1. Investigación Descriptiva

La investigación descriptiva se describe por la manipulación deliberada y ajustada de variables en el medio de la brida de admisión para conocer las relaciones causales y efectos del flujo de aire que pasa por ésta. En este enfoque, se simulan con grupos de datos, se documentan y analizan resultados cuantitativos. El fin es investigar y contrarrestar la hipótesis científica, indagar las relaciones de efecto y causa, e instituir conclusiones.

3.2.2. Método Descriptivo

Con el uso del método descriptivo se puede deducir, analizar y presentar que por medio del desarrollo de simulación se podrá lograr un análisis correcto, experimental y numérico, así como también el análisis estructural y geométrico en lo que se obtienen resultantes para sustentar y estudiar cada criterio para alcanzar la conclusión.

3.3. Materiales

El enfoque sistemático y de cada uno de los procesos a seguir contribuyen a elaborar el presente proyecto de simulación de comportamiento y análisis del flujo de aire en la brida de admisión automotriz, con el desarrollo, simulación y modelado del elemento a través de mallado considerando la termodinámica en sus puntos de masa, cantidad de movimiento, energía y estado.

Así también se implementan algoritmos de optimizaciones como también del software computacional de ingeniería asistida, y de esta forma hallar el flujo de densidad, velocidad, presión y temperatura.

Los resultados derivados se evalúan mediante los juicios de diseño, así también el rendimiento a obtener, seguridad de y para el prototipo y aseguramiento de la estructura óptima.

Cada uno de dichos parámetros metodológicos se presenta de la siguiente forma:

- Optimización topológica
- Descripción metodológica de simulación numérica
- Simulación y modelado por elementos finitos
- Definición de flujos y cargas.
- Evaluación de criterio de diseño y resultados.

3.4. Optimización Topológica

(Ibermática, 2023) estableció que "el diseño generativo se trata de una herramienta que nos brinda una nueva manera de construir y crear a nuestro alrededor", el mismo que cada día

toma mayor fuerza en el campo del diseño de ingeniería con el enfoque de emulación evolutiva de la naturaleza y de esa forma aplicarse en el diseño de prototipos con mejora de detalle y configuraciones de los elementos mismos. Bajo este precedente de conceptualización de diseño generativo se pasa a la conceptualización de lo que es una optimización topológica en la que (Giménez, 2020) menciona que "se basa en buscar la distribución óptima de material en una estructura. Partiendo de una forma inicial y mediante la definición de distintas condiciones de contorno, y se genera la mejor distribución de material que cumpla con las condiciones". (Garzón y otros, 2004) mencionan que "el proceso de optimización topológica consiste en cuatro partes: definición de las funciones de optimización, definición de las variables objetivo y las restricciones, inicialización de la optimización y ejecución del análisis". En resumen, la optimización topológica es una práctica avanzada en el campo de la ingenieril del diseño, en la que se busca hallar la equidad de más eficacia de material en el desarrollo de la estructura, con el fin fundamental de minimizar su peso y maximizar su rendimiento. La Figura 16 muestra el cambio de un componente generado y un básico, mediante optimización topológica mediante proceso de dibujo generativo.

Figura 16

Modelo del Proceso de Optimización Topológica y Diseño Generativo



Como punto inicial se parte del modelado de la geometría en 2D de la brida de admisión como se ve en la Figura 17.

Plano de la Brida de Admisión a Elaborar en 2D



Una vez obtenida la forma en 2D se procede a crear un sólido por donde se va a crea las

entradas y salidas del aire y las caídas de presión como se ve en la Figura 18.

Figura 18





Durante el desarrollo de optimización topológica se comienza con una repartición de material inicial y se hace uso de las interacciones con los cuales se descartan la sección menos crítica y se utilizan los refuerzos en cada área que más requiere. Adicionalmente, se procede a definir las restricciones de diseño, tales como conductos y paredes donde se concentra la temperatura, para garantizar la integridad estructural del elemento. Así también, se genera un vaciado que representará el espesor de pared. Ver Figura 19.

Figura 19





Seguidamente se realiza la extrusión para que el modelo 2D pase a ser 3D como se ve en la Figura 20, en donde las rectas se estiran a la medición que se requiere en el plano XY acorde al boceto del plano que anteriormente se diseñó en borrador para conseguir el modelado de la brida de admisión.

Figura 20

Plano para la Extrusión de Zonas de la Brida de Admisión en 3D



3.5. Consideraciones de Restricción de Diseño

Se establece las consideraciones de restricción con respecto al diseño estructural, siendo estos elementos base en las optimizaciones topológicas y que desempeñan un papel fundamental en la generación de soluciones físicas y variables. Las restricciones constituyen las condicionantes y las fronteras en los cuales trabaja la estructura optimizada, y de esta manera garantizar la seguridad, funcionalidad y su cumplimiento de exigencias específicas.

Al instante de hablar sobre restricciones de diseño, se abarca algunos criterios como los siguientes detallados:

- Presión atmosférica
- Flujos y volumen
- Frecuencias naturales
- Esfuerzos máximos permitidos
- Deformaciones admisibles
- Temperatura
- Factores de seguridad
- Restricciones geométricas

La aplicación adecuada de dichas restricciones depende de la atención de los objetivos de dibujo y de forma determinada.

Por ejemplo, para el estudio de las optimizaciones topológicas de la brida de admisión, las restricciones se fundamentan en considerar la presión atmosférica, flujos y volumen, y temperatura que se genera a la entrada en el punto intermedio y a la salida. También se establece las restricciones geométricas para de esa forma garantizar que el flujo de aire que pasa a través de la brida sea el ideal y correcto, debido a que su forma incorrecta puede generar que el aire que ingresa sea igual a su salida y provoque daños en el M.C.I, o por el contrario que el aire que sale sea mínimo y no genere ninguna utilidad para la que fue creada. La restricción en el proceso de dibujo que por lo general se desglosan de estándar del campo automotor y mecánica, necesidades determinadas de un proyecto y de las regulaciones en donde se desea aplicar. Pero un aspecto fundamental que se toma en cuenta es el encontrar un equilibrio entre el cumplir con las optimizaciones de la estructura y la restricción, por la razón que la estructura ideal vista desde la eficiencia podría ser no factible de no cumplirse con la restricción de seguridad y rendimiento.

Se debe considerar que en ciertos casos la restricción podría contradecirse y/o que necesitan de un nexo entre diferentes fines del diseño. Por tanto, el proceso de optimizaciones topológicas involucra las realizaciones de una mirada iterativa y del análisis minucioso para así ajustar cada 1 de los parámetros y obtener un modelado que se rija a todas las restricciones fundamentales.

Por ende, la consideración de restricción en el punto del diseño con la atención de las optimizaciones topológicas es fundamentales, para garantizar que la resultante sea práctica y segura. Dicha restricción permitirá instaurar cada una de las fronteras dentro de que se halla la mejora del diseño del componente, permitiendo un boceto ideal que combine su función, eficacia, eficiencia y aplicabilidad.

3.6. Simulación Numérica

Las ecuaciones demandantes en la dinámica de fluidos para el flujo compresible derivan de la subsistencia de la masa, movimiento / desplazamiento, subsistencia de la energía y del estado.

Para el parámetro gobernante es el número Mach (M), donde las consideraciones son si M < 03 el flujo se considera no compresible y si Mach es > 03 es el flujo será compresible. Por cuanto se divide al flujo como: transónico (0.8 < M < 1.2), subsónico (0.3 < M < 0.8), sónico (M = 1), supersónico (1.2 < M < 5); considerando que el físico White menciona que hasta M 3 al flujo supersónico. Para el valor M > 5 un flujo hipersónico siendo analizado en altas temperaturas.

Para la relación de presión y la ecuación de relación de temperatura, se las relaciona en empleo del número de Mach, así también de la relación del calor específico. En el caso de la viscosidad y flujo de aire en empleo de la temperatura se toma en cuenta la Ley de Sutherland.

Para simular la turbulencia del flujo compresible se utiliza el patrón de turbulencia "SST", involucra ecuación de energía cinética específica (k) y tasa de disipación específica (u), logrando optimizar las respuestas en presencia de separación del flujo y gradiente de presión adverso, accediendo la movilización del esfuerzo cortante en las zonas contiguas a las paredes de la brida.

Para la simulación del flujo de aire con simetría axial en el eje x se utiliza el parámetro 2D (para minimizar el tiempo de iteración y obtención de las formas de las ondas de choque a ser analizados), sin embargo, se utiliza 3D para resultados con mayor precisión numérica. El dominio 2D comprende la campana y brida (dispone de una campana integrada para guiar el flujo), y en la entrada de la brida se halla un filtro para evitar el paso de suciedad al cilindro del M.C.I durante el ciclo de admisión donde el flujo de aire viene de la atmósfera, y la zona en mención de la campana se considerará en la simulación. Se debe mencionar que el mallado en 2D es no estructurada con refinamiento hacia las zonas de la campana y brida puesto que hay la existencia del esfuerzo cortante en esas paredes. Previo a obtener el mallado final se refine las veces necesarias para alcanzar una convergencia numérica y una referencia de control en la zona de la garganta.

3.7. Cargas Estructurales y Escenarios de Análisis

Las cargas estructurales involucradas en el análisis del elemento se refieren a fuerzas o momentos que actúan en el mismo y que se encuentra en estado de equilibrio, en otras palabras, que no cambia en el tiempo. Dichas cargas podrían ser calificadas como permanentes, así como es el peso propio del componente, o en el suceso de calificar como carga externa aplicada la carga de viento, peso de equipo o fuerzas de apoyo. En lo que respecta al espacio de análisis de estructura se diseñan para entendimiento de cómo el componente en desarrollo responde a la carga y determinar si cumple con la mayoría de los requisitos de seguridad y diseño.

Dentro de los escenarios de las cargas que se realizan está el análisis estructural que puede variar acorde la naturaleza del componente con que cuenta y del medio en el cual se desarrolla.

Entre las atmósferas que se podrían presentar están:

- Cargas móviles
- Cargas de impacto
- Carga muerta
- Cargas distribuidas
- Cargas sobre estructuras
- Cargas estáticas
- Cargas dinámicas
- Cargas accidentales

Dichos escenarios de carga se seleccionan de acuerdo con la función a aplicar y los requisitos específicos del plan establecido. En la fase del análisis de estructura, cada escenario se pasa a modelar numéricamente y se solucionan cada una de sus ecuaciones matemáticas de equilibrio para así obtener la respuesta estructural, tales como los desplazamientos, las deformaciones y las tensiones.

Las resultantes o soluciones son necesarios para el poder entender cómo el componente en análisis se sobrelleva bajo la distinta condición de cargas y avalar tanto su diseño como su seguridad.

3.8. Ecuaciones de Equilibrio

Las ecuaciones de equilibrio de seguridad son términos numéricos aplicados en la ingeniería para así poder calcular la capacitancia del componente para aguantar fuerzas y cargas en aplicación sobre éste sin que sufra falla alguna y/o a la par deformación exagerada que afecte el trabajo.

La función de toda ecuación es la de cotejar el esfuerzo y tensión incluido en el elemento con las propiedades del material y/o los límites admisibles y así poder determinar la seguridad y si plasma con todas las exigencias de diseño planteado.

En lo que concierne al análisis de estructura, la ecuación de seguridad es de alta importancia para avalar que el componente no se encuentre laborando en condiciones que podrían provocar errores desastrosos o complicados. Las ecuaciones suponen los factores como condición de carga, propiedad geométrica y resistencia del material para calcular el margen de seguridad. Si los valores resultantes de tensión y esfuerzo se encuentran por debajo del valor límite permitido, se consideraría que el componente es seguro y plasma los requisitos de diseño.

La ecuación de seguridad podría mostrar variación acorde al tipo de estudio, el cual podría ser dinámico o estático y el tipo de carga. Su aplicativa puede requerir de consideración adicional, tales como son las condiciones de fluencia, efectos de fatigas y de la conducta de material no lineal. Dicha ecuación es la base del procedimiento del análisis de estructura y de diseño, por la razón de que validan que el componente está en la capacidad de aguantar las cargas y fuerzas a las que se hallará expuesto en toda su vida utilitaria, suministrando un fundamento sólido para la seguridad y confianza de todo su material.

3.9. Interpretación de Resultados

En cuanto a lo que refiere a la interpretación de resultado generados en el estudio estructural, involucra evaluar y analizar las resultantes tras el procedimiento de simulación por

parte del software de computación de ingeniería asistida. Se analiza la deformación, la variación de la magnitud termodinámica en el medio del flujo 2D, la transformación de la forma de las ondas de choque acorde se mueve hacia la salida en la brida, y así determinar si el elemento en análisis cumple con los juicios de seguridad y diseño. Si el campo de flujo compresible se encuentre dentro del límite permitido y la temperatura es ideal, el componente se lo determinará como seguro.

Sí la temperatura es demasiado alta o los flujos excesivos, indica la necesidad de revisar el material, la geometría y el diseño del componente. La interpretación adicionalmente consiste en contrarrestar las resultantes con predicciones y modelos teóricos, como también validar con dato experimental que se encuentre disponible. Por último, la interpretación de las resultantes proporciona detalle fundamental para la toma de decisión sobre el rendimiento y la factibilidad del componente en función de la condicionante de flujo de aire que ingresa al M.C.I.

3.10. Factor de Seguridad

Según (Riddell & Hidalgo, 1997) señala que "En términos generales, se entiende por seguridad el evitar que un elemento alcance o sobrepase un estado límite hasta el cual se considere que el comportamiento del componente es aceptable".

Así también, un factor de seguridad no va más allá de un dato fundamental en ingeniería y dibujo en el cual se valora la capacitancia del elemento para resistir la fuerza sin que alcance el punto de falla y ruptura. A la par simboliza la relación entre cargas máximas que un componente puede aguantar antes de que éste colapse y la carga real esperada actúe en ella. En definitiva, el factor de seguridad presenta cual es el margen de resistencias que tiene un componente en relación con la condición real de labor.

El factor de seguridad se computa por medio de la división de carga de colapsos o la carga de falla a alcanzar por la carga real que está en el elemento en análisis. De suscitarse que el factor de seguridad es > 1, quiere decir que el elemento es competente de aguantar la carga

sin que esté presente alguna falla y por lo tanto habrá el margen de seguridad. En cambio, cuando el factor de seguridad es un valor = 1 el elemento trabaja al límite de resistencia y de existir la figura de cualesquier factor que suba la carga podría conllevar a una falla. Si por el contrario el factor de seguridad es menor a 1 el elemento es absolutamente inseguro y no será capaz de aguantar la carga en aplicación.

Dicho valor de factor de seguridad obedece de algunos elementos entre ellos estánn:

- Propiedades de materiales
- Naturaleza del elemento
- Incertidumbre en las cargas
- Importancia de la aplicación

En aplicación crítica, es ineludible requerir un factor de seguridad > 1, ya que garantizará un nivel alto de confiabilidad y seguridad del componente.

Es vital tomar en consideración que el factor de seguridad no es invariable, ya que puede cambiar acorde a los cambios en el ambiente operativo, condición de carga y las fluctuaciones en las características del material involucrado.

El cálculo del factor de seguridad es importante para aseverar que los elementos sean suficientemente seguros y resistentes para su uso, favoreciendo la confiabilidad e integridad de los elementos de ingeniería.

Capítulo IV

Análisis de Resultados

4.1. Análisis de Datos Obtenidos

Como análisis se toma seis tipos de caída de presión, teniendo en cuenta una onda de choque en regiones donde se genere la separación de la onda del flujo de caídas de presión, la cual es convergente-divergente debido a que está actuando como un difusor, y adicional que se considera que la entrada es mayor a la salida para el siguiente caso de análisis. En la Tabla 1 se detalla los valores de caídas de presión con los que se trabajará cada caso.

Tabla 1

Datos Iniciales							
Caso	Presión inicial atmosférica en la entrada de	P = 101.325 kPa					
Cuso	Caídas de presión (P) a la salida en kPa	Relaciones de presión (rp)					
1	80	0.7895					
2	79	0.7796					
3	70	0.6908					
4	60	0.5921					
5	50	0.4934					
6	40	0.3947					

Datos Iniciales para el Análisis de Caída de Presión

4.1.1. Flujo Isentrópico Unidimensional

En el flujo del fluido por medio de diversos elementos como tobera, difusor y paso de álabes de turbina, la magnitud que representan el flujo cambia especialmente en dirección del mismo y con exactitud éste puede alcanzar un flujo isotrópico unidimensional al área que es más pequeña llamada garganta. En la Tabla 2 se muestra la relación aplicada para los diferentes flujos.

Tabla 2

Tipo de Flujo	Masa de aire (Ma)	Relación	Observación
Subsónico	< 1	$\frac{\mathrm{d}A}{\mathrm{d}V} < 0$	La presión inicial (P) aumenta, el volumen (V) disminuye, la Ma disminuye, la temperatura (T) aumenta y la presión (p) de salida aumenta.
Supersónico	> 1	$\frac{\mathrm{d}A}{\mathrm{d}V} < 0$	La P aumenta, el V disminuye, la Ma disminuye, la T aumenta y la p de salida aumenta.
Sónico	=1	$\frac{\mathrm{d}A}{\mathrm{d}V}=0$	

Relaciones de Flujo

4.1.2. Volumen de Control Finito

Este parámetro se toma al inicio de la sección de contorno del elemento que será mallado con el fin de poder obtener el dominio computacional con alusión al análisis en el área de flujo volumétrico. Ver Figura 21.

Figura 21

Volumen de Control Finito



En la Figura 22 se ve un refinamiento del mallado para lograr obtener valores cercanos acorde a la realidad, donde las esquinas redondeadas se hace acorde a un mallado más fino tratando de solventar los espacios que podrían generar conflictos con el cálculo computacional.

Mallado de la Brida de Admisión



4.1.3. Relación de Presión

Par realizar el estudio y análisis de la relación de presión en la brida de admisión se

toma los datos de la Tabla 1, anteriormente expuesta.

Para el primer caso se toma el valor que se ve en la Tabla 3.

Tabla 3

Análisis de Caída de Presión – Caso 1

	Datos Iniciales			
Caso	Presión inicial atmosférica en la entrada de la brida de admisión	P = 101.325 kPa		
	Caídas de presión (P) a la salida en kPa	Relaciones de presión (rp)		
1	80	0.7895		

Considerando los parámetros de caída de presión se obtiene que la variación de presión establece una presión media efectiva en la garganta de la brida es de 54 KPa a razón de la entrada de la presión atmosférica y en relación de la salida la presión aumenta y la velocidad disminuye a razón que el Mach es > 1 y se obtiene en la simulación 1.02 como se ve en la Figura 23.



Análisis de Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 1

En la Figura 24 se muestra las densidades producidas cuando existe una presión media

efectiva en la garganta de la brida de 54 KPa.

Figura 24

Densidades Producidas por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 1



Se interpretar como un valor de difusor supersónico el nivel de temperatura media efectiva de 248.26 °K en la garganta y la presión de salida 304.71 °K con una variación de densidad del fluido de 1.20 kg/m³ en la parte superior de la brida, generando vórtice por el acumulo de la entrada del aire y al ser una mayor área. Ver Figura 25.

Temperaturas Generadas por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 1



En la Figura 26 se muestra la velocidad del flujo de aire generado en la brida de

admisión.

Figura 26

Velocidad Generada por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso

1



Para el segundo caso se toma el valor que se ve en la Tabla 4.

Tabla 4

Análisis de Caída de Presión – Caso 2

	Datos Iniciales			
Caso	Presión inicial atmosférica en la entrada de la brida de admisión	P = 101.325 kPa		
	Caídas de presión (P) a la salida en kPa	Relaciones de presión (rp)		
2	79	0.7796		

Las ondas de choques se relacionan con la variación del número de Mach < 1 (0.98), siendo un valor subsónico producto de que es una relación de que en ese punto de la garganta es donde la presión aumenta y la velocidad disminuye a diferencia del Caso 1 esto replicaría que la densidad aumente por las diferencias de presiones y de la velocidad como se ve en la Figura 27.

Figura 27





En la Figura 28 se muestra las densidades producidas cuando existe una presión media efectiva en la garganta de la brida.

Figura 28

Densidades Producidas por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión -

Caso 2



Se interpretar como un valor de difusor supersónico el nivel de temperatura media efectiva de 300.79 °K en la garganta, una temperatura intermedia de 293.21 °K y la presión de salida 297.50 °K con una variación de densidad del fluido de 0.90 kg/m³ en la parte superior de la brida. Ver Figura 29.

Figura 29

Temperaturas Generadas por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 2



En la Figura 30 se muestra la velocidad del flujo de aire con que se genera en la brida

de admisión.

Figura 30

Velocidades Generadas por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión -

Caso 2



Para el tercer caso se toma el valor que se observa en la Tabla 5.

Tabla 5

Análisis de Caída de Presión – Caso 3

	Datos Iniciales			
Caso	Presión inicial atmosférica en la entrada de la brida de admisión	P = 101.325 kPa		
	Caídas de presión (P) a la salida en kPa	Relaciones de presión (rp)		
3	70	0.6908		

En la Figura 31 se muestra el flujo sónico Mach = 1 para el caso 3 de análisis.

Figura 31

Match Producido por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 3



El Mach obtenido está separado por una onda de choque en la parte de la entrada de la

brida, que se va desprendiendo a medida que se acerca a la garganta y aumenta su velocidad como se muestra en la Figura 32.

Figura 32

Velocidad Alcanzada por Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 3



Conforme a la temperatura avanza y es reflejado sobre la salida donde se expresa una temperatura alta del flujo, las ondas de choques para este caso se establecen elevar su temperatura por lo que presenta turbulencia como se observa en la Figura 33 en el eje de las x.

Figura 33

Temperaturas Generada por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 3



En la Figura 34 se muestra las caídas de presión generadas.

Figura 34

Caídas de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 3



En la Figura 35 se muestra la densidad del flujo de aire que se genera en la brida de admisión.

Figura 35

Densidad Generada por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 3



Para el cuarto caso se toma el valor que se ve en la Tabla 6.

Tabla 6

Análisis de Caída de Presión – Caso 4

	Datos Iniciales	
Caso	Presión inicial atmosférica en la entrada de la brida de admisión	P = 101.325 kPa
	Caídas de presión (P) a la salida en kPa	Relaciones de presión (rp)
4	60	0.5921

En la Figura 36 se muestra el flujo sónico Mach > 1 (1.09) para el caso 4 de análisis.





La temperatura para el valor Mach 1.09 se muestra en la Figura 37, siendo un valor alto a diferencia del Caso 3 para un flujo sónico porque la corriente de choque que se impulsa a su temperatura nominal efectiva a la salida alcanza los 348.85 °K como temperatura máxima al borde de la salida de la brida.

Figura 37

Temperaturas Alcanzadas por Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 4



En la Figura 38 se observa la zona de la garganta hasta la salida que presenta un valor de variación de la zona transversa a través del ducto en medida que baja la presión y aumenta su velocidad.

Figura 38

Velocidad Generada por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 4



En la Figura 39 se muestra las caídas de presión generadas.

Figura 39

Caídas de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 4



En la Figura 40 se muestra la densidad del flujo de aire que se genera a lo largo de la brida de admisión.

Figura 40

Densidad Generada por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 4



Para el quinto caso se toma el valor que se observa en la Tabla 7.

Tabla 7

Análisis de Caída de Presión – Caso 5

	Datos Iniciales		
Caso	Presión inicial atmosférica en la entrada de la brida de admisión	P = 101.325 kPa	
	Caídas de presión (P) a la salida en kPa	Relaciones de presión (rp)	
5	50	0.4934	

En la Figura 41 se muestra el flujo sónico Mach > 1 (1.16) para el caso 5 de análisis.

Figura 41

Match Producido por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 5



El valor Mach 1.16 refleja que se alcanzó una mayor velocidad a la salida causando un ligero cambio a diferencia de los demás casos anteriores (1 - 4). Ver Figura 42.

Figura 42

Velocidad Generada por Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 5



El ligero cambio a diferencia de los demás casos anteriores (1 - 4) es debido a la baja

presión de salida y un aumento de velocidad como se muestra en la Figura 44, en el eje x.

Figura 43

Caídas de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 5



En la Figura 44 se muestra las temperaturas que se generan en la brida de admisión.



Temperaturas Generadas en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 5

En la Figura 45 se muestra la densidad del flujo de aire que se genera a lo largo de la

brida de admisión.

Figura 45

Densidad Generada por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 5



Para el quinto caso se toma el valor que se observa en la Tabla 8.

Tabla 8

Análisis de Caída de Presión – Caso 6

Caso	Presión inicial atmosférica en la entrada de la brida de admisión	P = 101.325 kPa		
	Caídas de presión (P) a la salida en kPa	Relaciones de presión (rp)		
6	40	0.3947		

En la Figura 46 se muestra el flujo sónico Mach > 1 (1.62) para el caso 6 de análisis.

Figura 46

Match Producido por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 6



El valor Mach 1.62, de representación supersónico, aumenta en cuanto el área del flujo

de la tobera baja. Ver Figura 47.

Figura 47

Densidad Generada por Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 6



La teoría de que el área del flujo de la tobera disminuya es válida a razón de existir menor presión a la salida. Ver Figura 48.



Caídas de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 6

Y de existir menor presión a la salida aumentara la velocidad como se muestra en la Figura 49 donde la velocidad que logra alcanzar es de valores dentro del rango de hasta un máximo de 511 m/seg.

Figura 49

Velocidad Generada en la Garganta de la Brida de Admisión – Caso 6



En la Figura 50 se muestra las temperaturas que se generan en la brida de admisión.

Densidad Generada por la Caída de Presión en la Garganta de la Brida de Admisión - Caso



4.1.4. Esfuerzos y Deformación

Par realizar el estudio y análisis de la relación de presión en la brida de admisión se toma los datos de la Tabla 1, anteriormente expuesta.

Se analiza los esfuerzos y la deformación a causa de la fuerza ejercida sobre la brida de admisión por cada caso expuesto en la Tabla 1. Análisis de Caída de Presión independientemente, cuyo análisis representa desde la propiedad mecánica del material hasta las resultantes obtenidas.

En la Tabla 9 se muestra la propiedad mecánica de la aleación de aluminio 6061-T4 para la brida de admisión, siendo elegida por su bajo costo, facilidad de encontrar el material en el mercado local y su versatilidad.

Tabla 9

Propiedades Mecánicas de la Aleación de Aluminio 6061-T4

Modulo elástico	69 GPA
Coeficiente de Poisson	0.33
Limite elástico	227.52 Mpa
Densidad de masa	2700 kg/m^3

Se somete a los elementos de estudio a la simulación de esfuerzos ejerciendo la presión en la cara interna de la brida. En la Figura 51 se muestra los parámetros de selección para la simulación.

Figura 51

Parámetros de Selección para la Simulación de Esfuerzos y Deformación



Par realizar el estudio y análisis de esfuerzos y deformación en la brida de admisión se toma los datos de la Tabla 1, anteriormente expuesta.

Para el primer caso se toma el valor que se observa en la Tabla 10.

Tabla 10

Análisis de Esfuerzos y Deformación – Caso 1

	Datos Iniciales		
Caso	Presión inicial atmosférica en la entrada de la brida de admisión	P = 101.325 kPa	
	Caídas de presión (P) a la salida en kPa	Relaciones de presión (rp)	
1	80	0.7895	

Considerando los parámetros de caída de presión se obtiene los datos detallados en la Tabla 11. La fuerza de arrastre representa los diferentes tipos de fuerza que está ejerciendo en los diferentes ejes de coordenada el elemento, este tipo de fuerza se usa para aplicar en las caras que actúan como una fuerza resultante.

Tabla 11

Fuerza Resultante en cada uno de los Ejes – Caso 1

Fuerza resultante	Valor en Newton (N)
Eje X	0.768
Eje Y	1.196
Eje Z	0.391

En la Figura 52 se observa la gráfica resultante de la simulación obtenida para el Caso

1.

Figura 52

Gráfica Resultante de la Simulación de Esfuerzos y Deformación - Caso 1

 × 											
× Tr	All GG For GG For GG For	ce (X) 1 ce (Y) 2 ce (Z) 3		~							
Options	5			/							
Sum	nmary 🔻		10 d								
Goal Na	me	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria	
G Force	e (X) 1	[N]	0.768	0.714	0.671	0.768	30	Yes	0.082	0.024	
G Force	e (Y) 2	[N]	1.196	1.182	1.081	1.271	87	Yes	0.059	0.052	
G Force	e (Z) 3	[N]	0.391	0.362	0.329	0.408	33	Yes	0.024	0.008	

Los esfuerzos principales Von Mises que se representan para el Caso 1 son en la entrada de la brida debido al producto de la relación por las caídas de presión por el cual se vería afectado, pero esto no implica que sobrepase el límite de elástico del material. Ver Figura 53.

Figura 53



Gráfica de Esfuerzos Principales Von Mises – Caso 1

Los desplazamientos generados para el Caso 1 se muestran en la Figura 54 donde se observa un máximo de 0.385 mm por la fuerza de arrastre que ejerce.

Figura 54

Gráfica de Desplazamientos - Caso 1



Para el segundo caso se toma el valor que se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12

Análisis de Esfuerzos y Deformación – Caso 2

	Datos Iniciales	
Caso	Presión inicial atmosférica en la entrada de la brida de admisión	P = 101.325 kPa
	Caídas de presión (P) a la salida en kPa	Relaciones de presión (rp)
2	79	0.7796
Considerando los parámetros de caída de presión se obtiene los datos detallados en la Tabla 13. Las fuerzas de arrastre son menores con respecto al Caso 1 considerando que se aplica en las paredes de la brida.

Tabla 13

Fuerza Resultante en cada uno de los Ejes – Caso 2

Fuerza resultante	Valor en Newton (N)
Eje X	0.943
Eje Y	1.011
Eje Z	0.365

En la Figura 55 se ve la gráfica resultante de la simulación obtenida para el Caso 2.

Figura 55

Gráfica Resultante de la Simulación de Esfuerzos y Deformación – Caso 2



Los esfuerzos principales Von Mises que se representan para el Caso 2 son en la entrada de la brida alcanzando el esfuerzo máximo de 12.84 Mpa, el cual no supera el límite elástico. Ver Figura 56.

Figura 56





Los desplazamientos generados en el Caso 2 se muestran en la Figura 57 donde se observa un máximo de 0.31 mm por la fuerza de arrastre que ejerce.

Figura 57



Para el tercer caso se toma el valor que se observa en la Tabla 14.

Tabla 14

Análisis de Esfuerzos y Deformación – Caso 3

	Datos Iniciales	
Caso	Presión inicial atmosférica en la entrada de la brida de admisión	P = 101.325 kPa
	Caídas de presión (P) a la salida en kPa	Relaciones de presión (rp)
3	70	0.6908

Considerando los parámetros de caída de presión se obtiene los datos detallados en la

Tabla 15.

Tabla 15

Fuerza Resultante en cada uno de los Ejes – Caso 3

Fuerza resultante	Valor en Newton (N)
Eje X	1.937
Eje Y	0.727
Eje Z	0.167
Eje Z	0.167

En la Figura 58 se observa la gráfica resultante de la simulación obtenida para el Caso

3.

Figura 58

Gráfica Resultante de la Simulación de Esfuerzos y Deformación – Caso 3

🏂 Goal Plot 1				(?)				-		
🗸 🗙										
C All C GG Foi C GG Foi C GG Foi C GG Foi C GG Foi	rce (X) 1 rce (Y) 2 rce (Z) 3		~ ~	L.						
Options				·						
📕 Summary 🔻	· 4,	D (,							
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria	
GG Force (X) 1	[N]	1.575	1.937	1.575	2.273	20	Yes	0.317	0.062	
GG Force (Y) 2	[N]	0.803	0.727	0.680	0.860	26	Yes	0.180	0.047	
GG Force (Z) 3	[N]	0.124	0.167	-0.005	0.278	11	Yes	0.162	0.018	

Figura 59

Gráfica de Esfuerzos Principales Von Mises – Caso 3



Los desplazamientos generados para el Caso 3 se muestran en la Figura 60 donde se

observa un máximo de 0.25 mm.

Figura 60

Gráfica de Desplazamientos – Caso 3



Para el cuarto caso se toma el valor que se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16

Análisis de Esfuerzos y Deformación – Caso 4

	Datos Iniciales	
Caso	Presión inicial atmosférica en la entrada de la brida de admisión	P = 101.325 kPa
	Caídas de presión (P) a la salida en kPa	Relaciones de presión (rp)
4	60	0.5921

Considerando los parámetros de caída de presión se obtiene los datos detallados en la Tabla 17. En este caso se representa un valor de mayor fuerza de arrastre para el cual dichos valores existe uno que está en negativo y sería la fuerza resultante (y) indicando que en este eje está en compresión por la caída de presión.

Tabla 17

Fuerza Resultante en cada uno de los Ejes - Caso 4

Fuerza resultante	Valor en Newton (N)
Eje X	3.84
Eje Y	-1,287
Eje Z	0.505

En la Figura 61 se observa la gráfica resultante de la simulación obtenida para el Caso

4.

Figura 61



Gráfica Resultante de la Simulación de Esfuerzos y Deformación – Caso 4

Los esfuerzos principales Von Mises que se representan para el Caso 4 se extienden hasta la salida de la brida cuyo valor máximo de esfuerzo se establece en 23.47 Mpa, el cual no supera el límite elástico. Ver Figura 62.

Figura 62



Gráfica de Esfuerzos Principales Von Mises – Caso 4

Los desplazamientos generados para el Caso 4 se muestran en la Figura 63 donde se observa un máximo de 0.42 mm, debido a que las fuerzas de arrastre que está ejerciendo como la fuerza que está en compresión, tiene un valor promedio, por cuanto hará que la brida represente mayor esfuerzo y desplazamiento.

Figura 63



Para el quinto caso se toma el valor que se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18

Análisis de Esfuerzos y Deformación – Caso 5

	Datos Iniciales	
C	Presión inicial atmosférica en la entrada de	P = 101.325 kPa
Caso	Caídas de presión (P) a la salida en kPa	Relaciones de presión (rp)
5	50	0.4934

Considerando los parámetros de caída de presión se obtiene los datos detallados en la Tabla 19. En este caso las fuerzas que están actuando en los ejes principales que se les va asignar como fuerza resultante porque actúan en el plano de compresión.

Tabla 19

Fuerza Resultante en cada uno de los Ejes – Caso 5

Fuerza resultante	Valor en Newton (N)
Eje X	3.979
Eje Y	-1.437
Eje Z	0.592

En la Figura 64 se observa la gráfica resultante de la simulación obtenida para el Caso

5.

Figura 64

Gráfica Resultante de la Simulación de Esfuerzos y Deformación – Caso 5



Los esfuerzos principales Von Mises que se representan para el Caso 5 se desplazan desde la entrada hasta la salida de la brida cuyo valor máximo de esfuerzo se establece en 24.61 Mpa, el cual no supera el límite elástico. Ver Figura 65.

Figura 65

Gráfica de Esfuerzos Principales Von Mises – Caso 5



Los desplazamientos generados para el Caso 5 se muestran en la Figura 66 donde se observa un máximo de 0.46 mm, debido a que los valores de las fuerzas de arrastre se establecen en una de las caras donde existe una fuerza que actúa en cortante.

Figura 66



Para el sexto caso se toma el valor que se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20

Análisis de Esfuerzos y Deformación – Caso 6

	Datos Iniciales	
Caso	Presión inicial atmosférica en la entrada de la brida de admisión	P = 101.325 kPa
	Caídas de presión (P) a la salida en kPa	Relaciones de presión (rp)
6	40	0.3947

Considerando los parámetros de caída de presión se obtiene los datos detallados en la Tabla 21. En este caso debido a que el valor promedio de la fuerza está en negativo, dichas fuerzas actuarán como fuerza resultante.

Tabla 21

Fuerza Resultante en cada uno de los Ejes – Caso 6

Fuerza resultante	Valor en Newton (N)
Eje X	4.097
Eje Y	-1.875
Eje Z	0.338

En la Figura 67 se observa la gráfica resultante de la simulación obtenida para el Caso

Figura 67

Gráfica Resultante de la Simulación de Esfuerzos y Deformación – Caso 6



^{6.}

Los esfuerzos principales Von Mises que se representan para el Caso 6 se desplazan en la entrada y la salida de la brida cuyo valor máximo de esfuerzo se establece en 13 Mpa, el cual no supera el límite elástico. Ver Figura 68.

Figura 68

Gráfica de Esfuerzos Principales Von Mises – Caso 6



Los desplazamientos generados para el Caso 6 se muestran en la Figura 69 donde se observa un máximo de 0.62 mm, lo cual no representa ningún problema en la brida.

Figura 69



4.1.5. Factor de Seguridad

En el Caso 1 donde la caída de P a la salida es 80 kPa y el rp 0.7895, el factor de seguridad resultante es > 1 con un valor de FDS mín. = 14, determina que la brida soportará las cargas ejercidas por la entrada del aire en referente a las caídas de presión sin problema alguno. Ver Figura 70.

Figura 70



En el Caso 2 donde la caída de P a la salida es 79 kPa y el rp 0.7796, el factor de seguridad resultante supera el límite > 1 con un valor de FDS mín. = 18, determina que la brida soportará las cargas ejercidas por la entrada del aire en referente a las caídas de presión con ciertos problemas. Ver Figura 71.

Figura 71



En el Caso 3 donde la caída de P a la salida es 70 kPa y el rp 0.6908, el factor de seguridad resultante supera el límite > 1 con un valor de FDS mín. = 21, determina que la brida está situada de forma que no va afectar en grandes esfuerzos como grandes desplazamientos. Ver Figura 72.

Figura 72



En el Caso 4 donde la caída de P a la salida es 60 kPa y el rp 0.5921, el factor de seguridad resultante supera el límite > 1 con un valor de FDS mín. = 9.7, determina que la brida está situada de forma que no va a afectar en grandes esfuerzos como grandes desplazamientos, así como también el comportamiento de la brida. Ver Figura 73.

Figura 73

Factor de Seguridad - Caso 4 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 9,7



En el Caso 5 donde la caída de P a la salida es 50 kPa y el rp 0.4934, el factor de seguridad resultante supera el límite > 1 con un valor de FDS mín. = 9.2, determina que la brida está situada de forma segura. Ver Figura 74.

Figura 74



En el Caso 6 donde la caída de P a la salida es 40 kPa y el rp 0.3947, el factor de seguridad resultante supera el límite > 1 con un valor de FDS mín. = 8.5, determina lo cual está en el rango de un componente aceptable y por ende se verá afectado. Ver Figura 75.

Figura 75



Conclusiones

Se simuló el comportamiento del flujo de aire en la brida de admisión para el vehículo de competición Suzuki Swift 1.2 cc en seis diferentes casos de caídas de presión por medio de simulación de flujos de aire utilizando Autodesk Inventor.

Se definió el diseño, la geometría y propiedad del material de la brida de admisión estableciendo que la zona de estancamiento al inicio de la brida es por la entrada de la presión a razón de la presión atmosférica que presenta pequeños vórtices de estancamiento en la parte superior de la brida presentando así pequeñas variaciones en el cambio de densidad del flujo de aire.

Se realizó un análisis detallado de los flujos de perfil determinando que las diferentes caídas de presión revelan el comportamiento de este y como se pudo variar en donde puede estar el número de Mach máximo (> 5) para algunos casos estuvo representado en la zona media de la garganta de la brida, pero a medida que se disminuyó la presión este valor se alejaba hasta la salida llegando a alcanzar velocidades máximas (Match < 0.98).

Se generó un modelo 3D de la brida de admisión con su respectivo mallado y simulación de flujo ideal con el manejo del Software Autodesk Inventor, llegando a establecer que el mayor número de Mach encontrado está relacionado con el sexto caso donde la caída de presión de 40 kPa con la relación de presión de 0.3947 se puede obtener un flujo supersónico de un Mach de 1.6, lo cual puede ser significativo si se quiere obtener un flujo de una velocidad de aire de mayor velocidad a la salida de la brida.

Recomendaciones

Se recomienda que para siguientes trabajos de ingeniería se realice o fundamente con información del comercializador de bridas de admisión ya habientes en la localidad para poder tener una mirada general y así rediseñar en base a las necesidades pretendidas.

Se sugiere que futuros proyectos sean como la tesis adjunta, donde se observe ejercicio analítico, desarrollativo, de complemento real, técnico e informático, porque de esa forma se podrá determinar la capacidad del estudiante(s) para rediseñar y generar elementos basados en técnicas de simulación computacional.

Brindar cursos de manejo de Diseño Asistido por Computadora (CAD) para generar planos de dibujos que se pueden transformar a solidos 3D, para poder realizar pruebas analíticas de materiales, flujos, cargas, aerodinámica, esfuerzos, densidades, entre otros.

Bibliografía

- An, K., y Fung, J. (2018). An improved SST k u model for pollutant dispersion simulations within an isothermal boundary layer. *ScienceDirect*, 179, 369-384. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.06.010
- Andueza, L. (21 de Septiembre de 2015). Autodesk Fusion 360: Análisis de Esfuerzos. http://dimcad3d.com/2015/09/21/fusion360-fem/
- Ashby, M. F. (2000). *Material Selection in Mechanical Desing. Butterworth Heinemann*. http://www.utc.fr/~hagegebe/UV/MQ12/CORRECTIONS_TD/%5BASHBY99%5D %20-
- Autodesk Support. (8 de Octubre de 2023). Como refinar la malla en los nodos seleccionados

 en
 robot
 structural
 analysis.

 https://www.autodesk.es/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/ESP/H
 ow-to-refine-mesh-in-selected-points-in-Robot-Structural-Analysis.html
- Brecht, D., Troch, P., y Rauwoens, P. (2018). Performance of a buoyancy-modified k-ω and k-ω
 ω SST turbulence model for simulating wave breaking under regular waves using
 OpenFOAM. ScienceDirect, 138, 49-65.
 https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2018.04.011
- Cengel, A. Y., y Boles, A. M. (2011). Termodinamica. McGraw-Hill.
- Frausto-Robledo, A. (26 de Mayo de 2022). Autodesk AutoCAD 2023 AI, Upskilling Users and Performance. https://architosh.com/2022/05/autodesk-autocad-2023-ai-upskillingusers-and-performance/
- Gonzalez Herrera, E. (2018). Análisis estructural de un sistema de enganche de remolque automotriz mediante el método de elemento finito. México.

Rivera Berrío, J. G. (2022). FÍSICA VOLUMEN I. Córdoba, España: RED Descartes.

- Tavera, B. (7 de Septiembre de 2023). Aplicación de Autodesk Robot Structural Analysis y Revit para Proyectos Estructurales. https://www.inesa-tech.com/blog/aplicacion-deautodesk-robot-structural-analysis-y-revit-para-proyectos-estructurales/
- Vera, E. (2017). Propuesta de diseño ergonómicoen butacas de vehículos monoplaza, para equipos ecuatorianos participantes de la Formula Student. Quito: UISEK.

Anexos



A. Plano de la brida de admisión

