



INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

Autor: Nexar Xavier Guaranga Guapi

Tutor: Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla, Msc

**Análisis Estructural Aplicado a un Sistema de Enganche en
Remolque Simulado Bajo el Método de Elementos Finitos**

Certificación de Autoría

Yo, Nexar Xavier Guaranga Guapi, con CI: 0950488411, 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.

Nexar Xavier Guaranga Guapi

C.I.: 0950488411

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

Director del Proyecto

Dedicatoria

A mis amados padres, vuestra luz ha sido la guía constante en mi travesía académica.

A mi madre, cuyo amor infinito ha sido mi refugio en las tormentas. Gracias por tus palabras alentadoras y por ser mi mayor defensora. Tu dedicación y paciencia han sido faros que me han llevado a la culminación de este viaje.

A mi padre, cuya fuerza y sabiduría han sido mi inspiración. Tu ejemplo de perseverancia y determinación ha dejado una huella imborrable en mi corazón. Gracias por ser mi mentor y mi héroe.

Este logro no habría sido posible sin su sacrificio y sin sus innumerables esfuerzos. Esta tesis lleva impreso vuestro legado, vuestro amor inquebrantable y vuestro deseo incansable de verme triunfar.

Nexar Xavier Guaranga Guapi

Agradecimientos

Agradezco a mis padres, abuelos e hija, ya que, ustedes fueron el motor que me permitió seguir adelante para cumplir mis sueños, quienes siempre estuvieron conmigo día y noche en todo mi proceso de estudio. Hoy que concluyo mis estudios universitarios, les agradezco este logro tan grande al que ustedes me han permitido llegar. Orgulloso de haberlos elegido a ustedes por estar a mi lado en este momento tan importante de mi vida.

Nexar Xavier Guaranga Guapi

Índice General

Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Índice General.....	vii
Índice de Figuras	xi
Índice de Ecuaciones	xiv
Índice de Tablas.....	xv
Resumen	xvi
Abstract.....	xvii
Capítulo I.....	1
Problema de la Investigación.....	1
1.1. Tema de Investigación	1
1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema.....	1
1.2.1. <i>Planteamiento del Problema</i>	1
1.2.2. <i>Formulación del Problema</i>	2
1.3. Sistematización del Problema	2
1.4. Objetivos de la Investigación	3
1.4.1. <i>Objetivo General</i>	3
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.5. Justificación e Importancia de la Investigación	3
1.5.1. <i>Justificación Teórica</i>	3
1.5.2. <i>Justificación Metodológica</i>	4

1.5.3. <i>Justificación Práctica</i>	5
1.5.4. <i>Delimitación Temporal</i>	6
1.5.5. <i>Delimitación Geográfica</i>	6
1.5.6. <i>Delimitación del Contenido</i>	7
1.6. Alcance.....	7
Capítulo II.....	9
2. Marco de Referencia	9
2.1. Sistema de Enganche de Remolque	9
2.1.1. <i>Historia del Sistema de Enganche de Remolque</i>	9
2.1.2. <i>Tipos de Enganche</i>	12
2.1.3. <i>Selección de Enganche</i>	14
2.1. Sistema de Enganche de Remolque	18
2.1.1. <i>Sistema de Eje del Remolque</i>	18
2.1.2. <i>Componentes del Remolque</i>	19
2.2. Técnicas de Optimización en Ingeniería de Diseño.....	20
2.3. Simulación por Elementos Finitos en Análisis Estructural.....	21
2.4. Optimización Topológica.....	23
2.4.1. <i>Consideraciones de Restricción de Diseño</i>	25
2.5. Análisis Estructural	26
2.5.1. <i>Cargas Estructurales y Escenarios de Análisis</i>	28
2.5.2. <i>Esfuerzos</i>	30
2.5.3. <i>Centro de Gravedad</i>	31

2.5.4. Ecuaciones de Equilibrio	31
2.5.5. Interpretación de Resultados	34
2.5.6. Factores de Seguridad	34
2.5.7. Falla por fatiga	36
2.5.8. Soldadura	37
2.6. Software de Ingeniería Mecánica y Diseño Asistido por Computadora (CAD).....	39
2.6.1. Autodesk Inventor.....	40
Capítulo III	42
Metodología.....	42
3.1. Métodos.....	42
3.2. Tipo de Estudio	42
3.2.1. Investigación Experimental.....	42
3.2.2. Método Experimental.....	43
3.3. Materiales.....	43
3.4. Modelado del Enganche de Remolque.....	44
3.5. Simulación.....	48
3.5.1. Restricción de Movimiento.....	48
3.5.2. Control de Malla.....	49
Capítulo IV	50
Análisis de Resultados.....	50
4.1. Análisis de Datos Obtenidos	50
4.1.1. Análisis de Carga.....	50

<i>4.1.2. Propiedades Mecánicas del Material</i>	51
<i>4.1.3. Esfuerzos Generales</i>	51
<i>4.1.4. Desplazamiento</i>	54
<i>4.1.5. Factor de Seguridad</i>	55
Conclusiones.....	57
Recomendaciones	59
Bibliografía.....	60

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Grúa Patentada por Ernest Holmes en 1919</i>	9
Figura 2 <i>Enganche de Remolque</i>	10
Figura 3 <i>Acoplador y Esfera de Enganche Ensamblados, Patente 1254499 de M.D Brice y A.L. Brice</i>	10
Figura 4 <i>Modelo de Enganche Utilizando Tornillos y Arandelas para la Instalación</i>	11
Figura 5 <i>Enganches Fijos</i>	12
Figura 6 <i>Enganches Desmontables</i>	13
Figura 7 <i>Enganche de Bola</i>	14
Figura 8 <i>Enganche de Bola Mixta</i>	14
Figura 9 <i>Peso Bruto del Vehículo</i>	15
Figura 10 <i>Peso Bruto del Remolque</i>	15
Figura 11 <i>Peso Bruto Combinado</i>	15
Figura 12 <i>Peso de Extensión</i>	16
Figura 13 <i>Base Esfera de Enganche</i>	16
Figura 14 <i>Esfera de Enganche</i>	16
Figura 15 <i>Acoplador</i>	17
Figura 16 <i>Cadenas de Seguridad</i>	17
Figura 17 <i>Eje de Remolques sin Freno</i>	18
Figura 18 <i>Eje de Remolques con Freno</i>	19
Figura 19 <i>Remolque Balanceado</i>	19
Figura 20 <i>Eje de Remolques sin Freno</i>	20

Figura 21 <i>Mallado de una pieza</i>	21
Figura 22 <i>Modelo del Proceso de Optimización Topológica y Diseño Generativo</i>	24
Figura 23 <i>Ejemplo de Análisis Estructural</i>	27
Figura 24 <i>Cargas Estructurales y Escenarios de Análisis</i>	29
Figura 25 <i>Esfuerzos en Software Autodesk</i>	30
Figura 26 <i>Análisis de Esfuerzos</i>	30
Figura 27 <i>Centro de Gravedad en Software Autodesk</i>	31
Figura 28 <i>Cálculo de Masas y Equilibrio en el Software Autodesk</i>	33
Figura 29 <i>Factor de Seguridad en Software Autodesk</i>	35
Figura 30 <i>Falla por Fatiga en Software Autodesk</i>	36
Figura 31 <i>Proceso de Soldadura en el Software Autodesk Inventor</i>	37
Figura 32 <i>Entorno para Definir Parámetros de Soldadura</i>	38
Figura 33 <i>Entorno para Visualizar los Cálculos de la Soldadura Aplicada</i>	38
Figura 34 <i>Datos Exportador en Microsoft Excel de la Soldadura Aplicada</i>	39
Figura 35 <i>Pantalla del Software AutoCAD 2023</i>	39
Figura 36 <i>Pantalla Principal del Software Autodesk Inventor2023</i>	41
Figura 37 <i>Modelo del Enganche Remolque 2D</i>	44
Figura 38 <i>Plano de la pieza a elaborar en 2D</i>	45
Figura 39 <i>Modelo del Enganche Remolque 3D</i>	45
Figura 39 <i>Perfilado de Aristas del Enganche Remolque</i>	46
Figura 41 <i>Perforaciones Laterales para los Pernos que van en el Enganche Remolque</i>	46
Figura 42 <i>Perforaciones Superior para los Pernos que van en el Enganche Remolque</i>	47

Figura 43 <i>Modelado 3D del Enganche Remolque</i>	47
Figura 44 <i>Modelado 3D Final del Enganche Remolque</i>	48
Figura 45 <i>Restricción de Movimiento</i>	48
Figura 46 <i>Mallado del Enganche de Remolque</i>	49
Figura 47 <i>Análisis de Esfuerzos Generales</i>	52
Figura 48 <i>Análisis de Esfuerzos Generales en Plano XX</i>	53
Figura 49 <i>Análisis de Esfuerzos Generales en Plano XY</i>	53
Figura 50 <i>Análisis de Esfuerzos Generales en Plano YZ</i>	54
Figura 51 <i>Desplazamiento</i>	55
Figura 52 <i>Factor de Seguridad</i>	56

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 <i>Determinación del límite de resistencia de las conexiones por perno</i>	32
Ecuación 2 <i>Límite de resistencia básica</i>	33
Ecuación 3 <i>Peso</i>	50
Ecuación 4 <i>Momento</i>	51

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Propiedades Mecánicas del Acero al Carbono</i>	51
---	----

Resumen

En la actualidad todo vehículo utilitario (SUV) trae consigo enganche para colocar remolque y poder transportar cargas excedentes a la que soporta el vehículo en sí; una falencia es el desconocimiento de cuánta carga es la que puede soportar el enganche y en ciertas ocasiones se sobrepasa el límite el peso generan que el vehículo se desplace más lento y con más consumo de combustible o incluso provoca una ruptura del sistema de remolque. Por ello se hace necesario el conocer la carga que soporte y si se requiere de mayor carga el cambiarla por otro sistema de enganche de remolque. En el presente proyecto se detalla el proceso, como la recopilación de información, Diseño Asistido por Computadora (CAD), selección de materiales y simulación de esfuerzos en programas de Ingeniería Asistida por Computadora (CAE) y el proceso final es la construcción de un sistema de enganche de enganche de remolque. Con ello se establece el análisis completo desde la elección de los materiales y la simulación para su posterior construcción una vez comprobado la seguridad estructural del diseño.

Palabras Clave: Análisis estructural, diseño, enganche, remolque, simulador, sistema.

Abstract

Currently every utility vehicle (SUV) comes with a hitch to attach a trailer and be able to transport loads in excess of what the vehicle itself supports; A shortcoming is the lack of knowledge of how much load the hitch can support and on certain occasions the limit is exceeded, the weight causes the vehicle to move slower and consumes more fuel or even causes a breakdown of the towing system. For this reason, it is necessary to know the load it can support and if a greater load is required, change it for another trailer hitch system. This project details the process, such as the collection of information, Computer Aided Design (CAD), selection of materials and simulation of efforts in Computer Aided Engineering (CAE) programs and the final process is the construction of a system trailer hitch-hitch. This establishes the complete analysis from the choice of materials and the simulation for its later construction once the structural safety of the design has been verified.

Palabras Clave: Structural analysis design, hitch, trailer, simulator, system.

Capítulo I

Problema de la Investigación

1.1. Tema de Investigación

Análisis estructural aplicado a un sistema de enganche en remolque simulado bajo el método de elementos finitos.

1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

1.2.1. Planteamiento del Problema

En el sector automotriz es indispensable el sondeo de mejoras en las estructuras de los elementos, mecanismos y/o sistemas que son segmento de un automóvil, debido a que hoy en día se emplean sistemáticas que asienten ahorrar recursos económicos mediante el uso de medios de ingeniería asistida por computadora, es decir el uso de softwares que plasman un sinnúmero de métodos para alcanzar resultados ideales y precisos. Por lo anteriormente expuesto se define el realizar un estudio sobre el funcionamiento del sistema de enganche de remolque de forma técnica, debido a que se requiere determinar el comportamiento del elemento al conectar un remolque, todo ello basado en la aplicación del diseño de un prototipo que determine un ahorro de recursos en el caso de materiales que sean de menos peso, de mayor resistencia y durabilidad.

Parte del problema en el estudio de investigación es la falta de aplicación de metodología descriptiva en la optimización de recursos como para el análisis estructural por medio de programas computacionales a la vanguardia del mercado que pertenecen a un proceso actual del diseño en el campo automotriz.

El estudio de investigación propuesto busca realizar el estudio técnico relacionado con la optimización topológica y análisis estructural del sistema de enganche de remolque con el uso del análisis de elementos finitos, esto con el fin de poder evaluar el comportamiento estático

y encontrar la distribución del material de forma óptima en el elemento en construcción, debido a que el elemento en su construcción real será sometido a una fuerza externa.

1.2.2. Formulación del Problema

¿Cuáles son las fases metodológicas apropiadas que intervienen en la optimización topológica y el análisis estructural dirigido al diseño de un sistema de enganche de remolque aplicado en un vehículo tipo SUV que permita al momento de conectar el remolque una adecuada distribución de cargas y fuerzas?

Con la enunciación de la interrogante se aspira la posibilidad de formularse los objetivos a los que se ostenta el estudio presente bajo los parámetros y restricciones de diseño en ingeniería asistida por computador por la que se encamina la fase metodológica de procesos y del análisis estructural que guiarán en la instauración del proceso de optimización.

El presente problema estructuralmente se expone a través de:

La descripción del sistema a través de la tipificación de la forma geométrica del sistema de remolque para así alcanzar que el análisis estructural y la optimización topológica sea el adecuado.

Teniendo presente las restricciones que se muestran como son la rigidez mínima de la misma que al momento de conectar el remolque debe arrastrar y soportar las cargas que se generen sin que experimente deformaciones y choque de fuerzas.

1.3. Sistematización del Problema

- ¿Cómo se figuran las condiciones y cargas de fondo y forma que sobresaltan el sistema de enganche de remolque?
- ¿Cuál es la metodología para discretizar y diseñar el prototipo 3D de elementos finitos del sistema de enganche de remolque?
- ¿Qué metodología de optimización topológica se podrá emplear en base a las restricciones y los objetivos que se generen?

- ¿Cuáles son parámetros que se consideran para distribuir el material en el enganche durante la fase de optimización?
- ¿Cuáles son los puntos para valorar la efectividad de la optimización, considerando aspectos como es el arrastre de carga?

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

- Analizar el comportamiento de la estructura de un sistema de enganche en un remolque automotriz por medio de simulación bajo el método de elementos finitos.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Definir las propiedades y geometría de materiales iniciales del sistema de enganche de remolque.
- Realizar un análisis detallado de las condiciones de contorno y cargas que afectan al enganche del prototipo propuesto.
- Generar un modelo 3D de optimización topológica y elementos finitos de un sistema de enganche de remolque con la utilización del Software Autodesk Inventor.

1.5. Justificación e Importancia de la Investigación

1.5.1. Justificación Teórica

El presente estudio de ingeniería se justifica debido a una carencia de un sistema de enganche de remolque adaptable para un auto tipo SUV y dentro de su constitución está el enganche. Por ende, se formula que éste debe ser eficaz y con excelente optimización de estructura, y así otorgarle a la estructura estabilidad, suficiente resistencia y seguridad, a través de una fase de análisis estructural y optimización topológica del componente en estudio.

Lo que se desea obtener es una adecuada distribución del material por intermedio de la maximización en su resistencia y minimización del peso con que dispone el enganche para

remolque, y así alcanzar un diseño óptimo que permita aportar con la estabilidad del auto para su recorrido en el momento del arrastre de carga.

Por consiguiente, el presente estudio otorga un progreso a lo referente como proceso de la ingeniería del diseño mecánico que dentro de la industria automotriz mejora de forma significativa las características del vehículo utilitario tipo deportivo (SUV) en lo concerniente a arrastre de carga(s).

1.5.2. Justificación Metodológica

La metodología general aplicada en el presente proyecto es del tipo cualitativo, experimental y comparativo, debido a que se realiza un análisis del sistema de remolque ya fabricado, además de sus elementos y su integración para establecer cuáles son los requerimientos más comunes e imprescindibles para el soporte de carga y fuerza.

El estudio está basado en la optimización topológica y análisis estructural para ello se aplica una metodología experimental donde la topología permitirá descargar una amplia gama de disposiciones geométricas y dividendos del material que forman la estructura base, el enganche; determinando los esquemas estructurales que maximizan su eficacia y eficiencia, y minimice el peso, buscando siempre que no se llegue a implicar la durabilidad y resistencia que se necesita al momento que el sistema esté en trabajo. En la parte del estudio estructural, lo que se busca es verificar la capacidad que dispone la estructura de forma óptima para el soporte de fuerzas y cargas que se exhiben en situación real. Por consiguiente, cuando se conciba la fase de simulación y evaluación de los parámetros de estudio, toda respuesta obtenida será basada en las distintas condiciones de carga, fuerza, seguridad y estabilidad en el diseño final.

Po lo anteriormente expuesto se justifica que las metodologías empleadas buscan formar avanzadas técnicas de generación en la simulación de algoritmos de optimización y

elementos finitos, que permiten una visión basada en datos y contestaciones numéricas de manera exacta.

Al instante de alcanzar la capacidad de carga eficaz, geometría óptima y efectiva, lo que se pretende asegurar es la resultante de un proyecto real, práctico y funcional.

1.5.3. Justificación Práctica

La justificación práctica del trabajo a continuación se basa en buscar la mejora de manera tangible del diseño, rendimiento y calidad de un sistema de remolque automotriz por medio de un enganche óptimo. Parte de los resultados que se desean conseguir con el análisis estructural y la optimización topológica se detallan a continuación:

- Mejora del rendimiento del vehículo tipo SUV al momento del arrastre de la carga por medio de un diseño ideal y óptimo del sistema de remolque, el cual permita la maniobrabilidad y estabilidad durante la conducción del automóvil. Tomando en cuenta que una optimización cerciora que el enganche transmita la fuerza de forma distribuida y soporte la carga para la cual se diseñe, de forma eficaz y eficiente, y la seguridad en la toma de curvas por parte del automóvil no se vea afectada.
- Con respecto a la eficiencia de la aplicación de materiales, una optimización topológica permitirá que se reduzca el peso integral del enganche, debido a que a través de esta fase se extrae el material que no se necesita en el componente, pero considerando de que por medio de esta fase no solo es reducir el peso adicional que llevará consigo el vehículo, sino que también mejora significativamente la conducción, maniobrabilidad y menor generación de tracción que haga que el vehículo no se desplace a una velocidad optima que permita un bajo de consumo de combustible por conllevar carga adicional.
- La reducción de costos de producción se traduce al poder reducirse los análisis físicos de prueba y error al que se somete elementos cuando no se realiza diseños

asistidos por computador, debido a que al diseñarse computacionalmente una estructura se puede identificar los componentes que contribuyan a obtener menor peso, pero con mejor eficiencia.

- Seguridad automovilística mejorada debido a que se genera la distribución de esfuerzos cargas, y fuerzas adecuadas, y eficacia directa en múltiples condiciones de arrastre, consiguiendo de esta manera un avance total en cuanto a la disminución de riesgos en fallas estructurales y seguridad.
- En cuanto a la innovación e idoneidad del presente trabajo está el uso de técnicas actuales como es el análisis estructural y la optimización topológica a través de las simulaciones de elementos finitos.

Por lo anteriormente mencionado se puede concluir que la justificación practica se basa en ser una investigación viable puesto que se podrá trasladar técnicas actuales y el conocimiento teórico en procesos palpables y reales, las mismas que contribuyen a la innovación en el sector automotriz, optimizar y conocer procesos de diseño de sistemas de remolque de autos tipo SUV, involucrando la eficiencia, eficacia, seguridad y competencia en los componentes de automóviles, induciendo a un impacto positivo en el sector automotriz.

1.5.4. Delimitación Temporal

Acorde con la organización determinada para este trabajo de investigación se dispone de un tiempo que comienza el 28 de septiembre de 2023 y culminaría el 25 de abril de 2024, tiempo en el que se realiza cada uno de los procesos cronológicamente y se cumplen los objetivos planteados.

1.5.5. Delimitación Geográfica

Este trabajo se realiza en las infraestructuras de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE), extensión Guayaquil.

1.5.6. Delimitación del Contenido

El presente trabajo se realiza en las infraestructuras de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE), extensión Guayaquil, tanto en la parte práctica como teórica con el uso de los laboratorios con que dispone la Institución.

1.6. Alcance

El presente trabajo se encuentra establecido bajo un marco teórico y conceptual para el análisis estructural, así también la optimización topológica del sistema de enganche de remolque, a través, del proceso de investigación fundamentada en fuentes bibliográficas técnicas y teóricas, artículos científicos, proyectos de tesis, sitios web, entre otros, que se estructuran de la mejor forma para poder obtener los objetivos proyectados.

La estructura propuesta como tal del marco teórico se muestra en cuatro capítulos teóricos y pertinentes recomendaciones y conclusiones. A diferencia de la indagación que estará determinada acorde la delimitación y la inclusión de:

En cuanto a los límites se establece que:

- Dispone una orientación en el análisis estructural y la optimización topológica del sistema de enganche de remolque automotriz.
- Aplicación de simulación por medio de elementos finitos para modelar el cómo se comporta en distintas cargas, determinadas condiciones y fuerzas.
- Miramiento en la fijación de objetivos específicos y restricciones, tanto en la eficiencia que va a obtener la estructura en análisis como en la reducción del peso.
- Evaluar las resultantes obtenidas en las que se contienen máximas tensiones, desplazamientos y deformaciones, lo que garantizará la estructural integridad.
- Por último, la perspectiva en la mejora del rendimiento, seguridad y estabilidad del modelo por medio de un óptimo diseño del sistema de enganche de remolque.

En lo referente a la delimitación se establece que:

- Descarte total de otros métodos de optimización no afines con la topología de estructuras.
- No se derivará a emprender ninguno otro elemento del modelo que no sea el sistema de enganche de remolque.
- No contendrá otra clase de examen como lo es consideraciones de vibración y/o el dinámico en el presente estudio.
- Este trabajo investigativo excluye temas de costos de elaboración y/o fabricación de un enganche y remolque.

Capítulo II

Marco de Referencia

2.1. Sistema de Enganche de Remolque

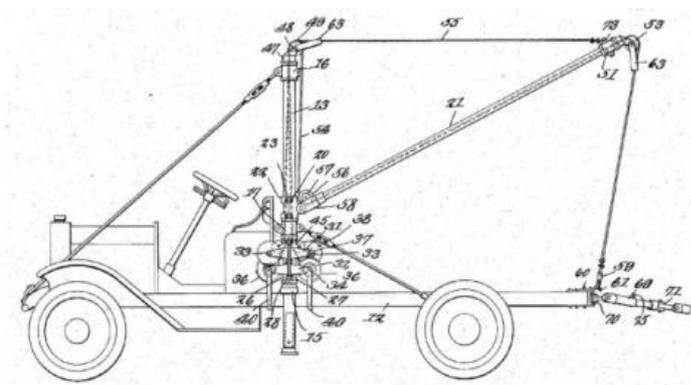
2.1.1. Historia del Sistema de Enganche de Remolque

Según (Valcárcel, 2015) define a remolque como: “tráiler o acoplado que permite el traslado diversos tipos de objetos como: motocicletas, equipaje, vehículos, herramientas, entre otros”.

El uso de enganche para remolque se remonta al acontecimiento sucedido en el año 1916 en Tennessee, Estados Unidos (EE. UU.), en el que un vehículo modelo Ford T descendió a un lago y se destinó la labor de recuperarlo al Sr. Ernest Holmes, conjuntamente con 10 personas más demoraron alrededor de 8 horas para sacar el auto del lago. Desde este momento Ernest en conjunto con L.C. Decker y Elmer Gross diseñaron la grúa con capacidad de remolque, instalado a un vehículo Cadillac de 1913. En los primeros ensayos no se obtuvo los resultados esperados, por lo cual agregaron estabilizadores al diseño y el sistema soldaron a la estructura del vehículo, con lo cual finalmente obtuvieron el resultado esperado. Dicho diseño fue patentado por Holmes en el año de 1919 y se observa en la Figura 1. (Taylor, 2013)

Figura 1

Grúa Patentada por Ernest Holmes en 1919

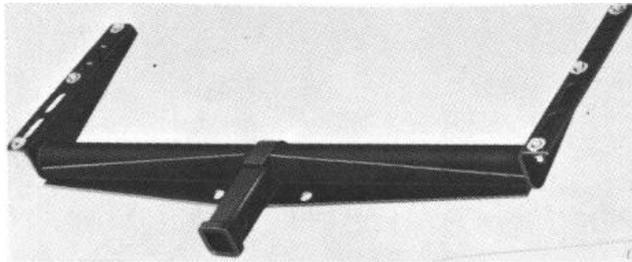


Fuente: (Gonzalez Herrera, 2018)

El enganche es un elemento el cual permite acoplar un remolque a la estructura del auto (tractores, vehículos livianos, vehículos tipo SUV, y otros similares), éstos se montan por medio de tornillo y arandelas como se ve en la Figura 2.

Figura 2

Enganche de Remolque



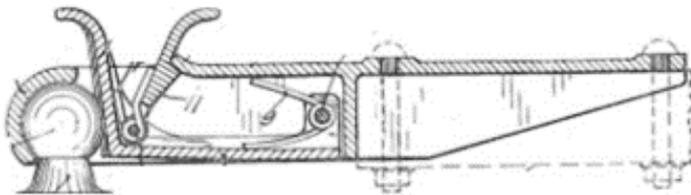
Fuente: (Gonzalez Herrera, 2018)

Posterior a la segunda guerra mundial, surgen demasiados cambios en cuanto a la aplicación del enganche, debido a que anterior a este periodo se destinaba para actividades deportivas, y posteriormente se utilizarían para actividades recreativas y cotidianas, lo cual incrementó la compra, y la incursión de otras compañías en la fabricación de dicho componente.

En la Figura 3 se muestra la esfera y el acoplador de enganche ensamblados, perteneciente a la patente 1254499 de M.D Brice y A.L. Brice.

Figura 3

Acoplador y Esfera de Enganche Ensamblados, Patente 1254499 de M.D Brice y A.L. Brice



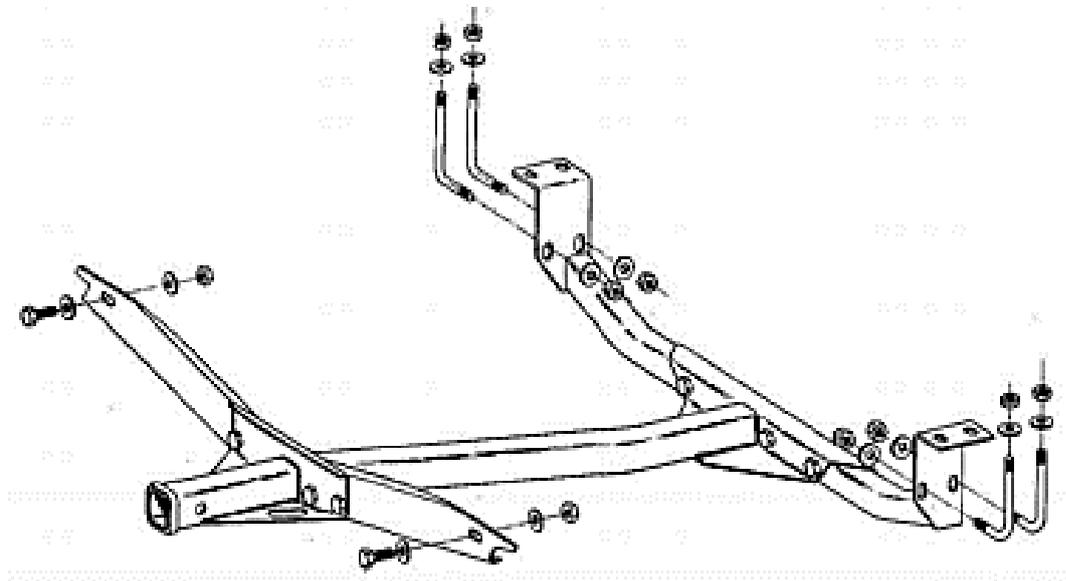
Fuente: (Gonzalez Herrera, 2018)

Con el pasar de los años el enganche ha sufrido una serie de cambios en su diseño y estructura, entre ellos los fabricados de fundición de zinc y los ensamblados a base de acoples. En la antigüedad cuando se adquiría un enganche, el cliente adquiría diferentes componentes necesarios para instalar incluido un manual base, pero aun así era primordial soldar para unirlo

con los elementos de la estructura del automóvil, causando problemas y debilitamiento en la estructura. En el año 1970 aparece la instalación del enganche completamente con tornillos y arandelas como se ve en la Figura 4.

Figura 4

Modelo de Enganche Utilizando Tornillos y Arandelas para la Instalación



Fuente: (Gonzalez Herrera, 2018)

La ventaja de ese sistema de instalación se basaba en que los fabricantes ya podían generar pruebas y bosquejar el modelado que cumpliera con los requisitos de la norma SAE de esa época, por ende, se incrementó la calidad en materiales y la soldadura utilizada en la elaboración de enganches y por consiguiente el enganche no era necesario soldar a ningún elemento de la estructura del auto.

Para el año 1970 se procede a regularizar la instalación de enganches en los vehículos, tales como:

- El fabricante debía determinar el tamaño de la esfera para cada clase de enganche, con el objetivo de evitar accidentes.
- Se requería una certificación y un ensayo de instalación de cada enganche, con un porcentaje superior al 167% con respecto a las pruebas de la SAE.

- Etiquetado de especificaciones para cada sistema de enganche.
- El fabricante debía comprobar con el vehículo en carretera el remolque y enganche, para establecer la velocidad crítica, o lo mismo que se denomina la velocidad a la que se generan problemas de conducción.
- El fabricante establecía la máxima carga que soportaba el remolque en cada tipo de vehículo.
- El fabricante entregaba un manual al detalle de la instalación y los componentes, incluido los diagramas.

Con el transcurso de los años nace la organización de la SAE J684 que incluía lo anteriormente mencionado y adicional incluía las directrices de diseño requerido para prescindir de fallas en los elementos para prevenir accidentes y/o condiciones de peligro para los conductores.

2.1.2. Tipos de Enganche

Existen diversos tipos de enganche de remolque y varían según la situación y necesidad, los más principales son:

Figura 5

Enganches Fijos



Fuente: (Piña Feijoo, 2021)

- Enganches fijos: son los tradicionales de fijación manual que se utilizan para sujetar los remolques en los vehículos, como se puede apreciar claramente en la figura 5. No se pueden retirar y para desmontarlos se necesita de llaves y herramientas para el desmontaje.
- Enganches desmontables (ver Figura 6): como indica su nombre son aquellos que no siempre están colocados en el vehículo y se montan y desmontan fácilmente según la necesidad.

Figura 6

Enganches Desmontables



Fuente: (Piña Feijoo, 2021)

De acuerdo con el tipo de sistema de enganche se puede clasificar en:

- De bola (ver Figura 7): el vehículo remolcador cuenta con una bola de acero acoplada a una barra que actúa como enganche, dependiendo la capacidad de carga será su construcción (diámetro, material y peso). El remolque cuenta con el enganche para que la bola conecte de forma directa e inmediata.

Figura 7*Enganche de Bola*

Fuente: (Proaño Recalde & Yépez Moran, 2022)

- De bola mixta (ver Figura 8): dispone 2 tipos de enganches de cabezal y bola tipo aro. Es utilizado para el arrastre de diferentes tipos de remolques de capacidad de carga mayor, por ejemplo, en vehículos de uso agrícola, 4 x 4, entre otros de carga pesada.

Figura 8*Enganche de Bola Mixta*

Fuente: (Proaño Recalde & Yépez Moran, 2022)

2.1.3. Selección de Enganche

Para elegir el enganche adecuado y usarlo de forma correcta es preciso conocer algunas determinaciones del automóvil a instalar, tales como:

- **Peso bruto del vehículo:** como se ve en la Figura 9 es el máximo peso que puede cargar el automóvil, considerando el peso propio del automóvil, pasajeros y carga extra (accesorios, equipaje, entre otros).

Figura 9*Peso Bruto del Vehículo*

Fuente: (Gonzalez Herrera, 2018)

- **Peso bruto del remolque:** como se ve en la Figura 10 pertenece a la suma del peso de la carga más el peso del remolque.

Figura 10*Peso Bruto del Remolque*

Fuente: (Gonzalez Herrera, 2018)

- **Peso bruto combinado:** como se ve en la Figura 11 pertenece a la suma del peso bruto del remolque más el peso bruto del vehículo.

Figura 11*Peso Bruto Combinado*

Fuente: (Gonzalez Herrera, 2018)

- **Peso de extensión:** como se ve en la Figura 12 es una fuerza vertical que aplica el peso mismo del remolque con dirección hacia abajo en la esfera de enganche. Dicha carga corresponde (normalmente) entre 10% y 15% del peso bruto del remolque.

Figura 12*Peso de Extensión*

Fuente: (Gonzalez Herrera, 2018)

Para el ensamble del sistema de Enganche de Remolque, se debe determinar:

- Base esfera de enganche: como se ve en la Figura 13 está combinado por un tubo metálico, que se encaja dentro del enganche a través del cual se fija la esfera.

Figura 13*Base Esfera de Enganche*

Fuente: (Gonzalez Herrera, 2018)

- Esfera de enganche: como se ve en la Figura 14 es la unión inmediata entre el auto y el remolque.

Figura 14*Esfera de Enganche*

Fuente: (Gonzalez Herrera, 2018)

- Acoplador: como observamos en la Figura 15 es el componente de unión del remolque con que se acopla al enganche.

Figura 15

Acoplador



Fuente: (Gonzalez Herrera, 2018)

- Cadenas de Seguridad: como se ve en la Figura 16 el fin de este elemento es conservar la unión entre el auto y el remolque, a pesar de que se llegue a presentar la desunión de la esfera de enganche con el acoplador.

Figura 16

Cadenas de Seguridad



Fuente: (Gonzalez Herrera, 2018)

2.1. Sistema de Enganche de Remolque

2.1.1. Sistema de Eje del Remolque

Los ejes en un remolque son elementos principales debido a que soportan la carga arrastrada por medio del enganche y a la par son la guía del movimiento de rotación.

El eje es aquel que permite el movimiento rotacional de las llantas con lo cual permite al remolque el movimiento lineal. Los tipos de ejes más comunes son:

- De remolques sin freno (ver Figura 17): son remolques utilizados para llevar una carga ligera (como por ejemplo una moto, un go-kart, remolques de camping).

Figura 17

Eje de Remolques sin Freno



Fuente: (Piña Feijoo, 2021)

- De remolques con freno (ver Figura 18): sirven para que el remolque no ejerza presión en el vehículo cuando se frena y de esa forma evitar que entre más peso se arrastra el tiempo y distancia de frenado se alargue, por ende, el freno del remolque también actúa como seguridad para que la carga oscile en el momento del frenado del vehículo.

Figura 18

Eje de Remolques con Freno



Fuente: (Piña Feijoo, 2021)

- Remolque balanceado (ver Figura 19): dispone de un eje que se encuentra ubicado cerca al centro de gravedad para que se repartan uniformemente las cargas.

Figura 19

Remolque Balanceado



Fuente: (Proaño Recalde & Yépez Moran, 2022)

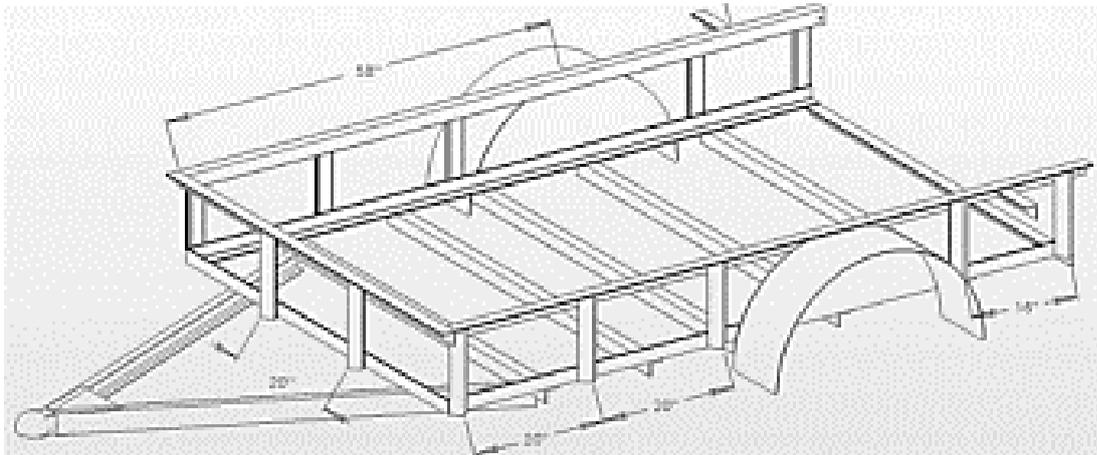
2.1.2. Componentes del Remolque

Un remolque dispone de diferentes elementos que avalan la sujeción al auto, desplazamiento, capacidad de carga y arrastre. Los principales componentes que conforman al remolque son los siguientes:

- Bastidor (ver Figura 20): se encarga de sostener todos los componentes fijos del remolque. Está constituido por el marco metálico, los largueros y travesaños. Se construye con diferentes materiales y aleaciones dependiendo la carga a soportar. Este componente está sujeto a deformaciones y esfuerzos por las cargas aplicadas sobre éste, para ello se dispone de un sistema de amortiguación para disminuir los esfuerzos, contribuir a un buen desplazamiento en el manejo y reducir las cargas sobre el vehículo remolcador.

Figura 20

Eje de Remolques sin Freno



Fuente: (Proaño Recalde & Yépez Moran, 2022)

2.2. Técnicas de Optimización en Ingeniería de Diseño

Según (Zugarramurdi & Parín, 1998) dice que: “Las técnicas de optimización requieren de un profundo conocimiento técnico y analítico del sistema a ser optimizado. En muchos casos esto implica la posibilidad de desarrollar un modelo matemático incorporando las variables más relevantes”, este criterio se puede analizar así:

En la fase del boceto automatizado una optimización se orienta a aplicar técnicas y metodologías que aprueben solucionar de la mejor forma dentro de su conjunto de disyuntivas, pero considerando las prohibiciones. Estos métodos son altamente importantes para optimizar

el rendimiento, la eficiencia y calidad del componente y/o sistema diseñado. Entre los métodos de mayor importancia manejadas en la parte del diseño se tiene:

- Optimización topológica
- Optimización en tiempo real
- Optimización global
- Optimización multiobjetivo
- Optimización basada en gradientes
- Optimización basada en procesos de simulación
- Optimización heurística
- Optimización basada en logaritmos
- Diseño robusto y de tolerancia

El escoger cada uno de estos métodos de optimización dependerá del entorno de los objetivos y del problema trazados en la etapa de las restricciones y diseño implicada en el mismo.

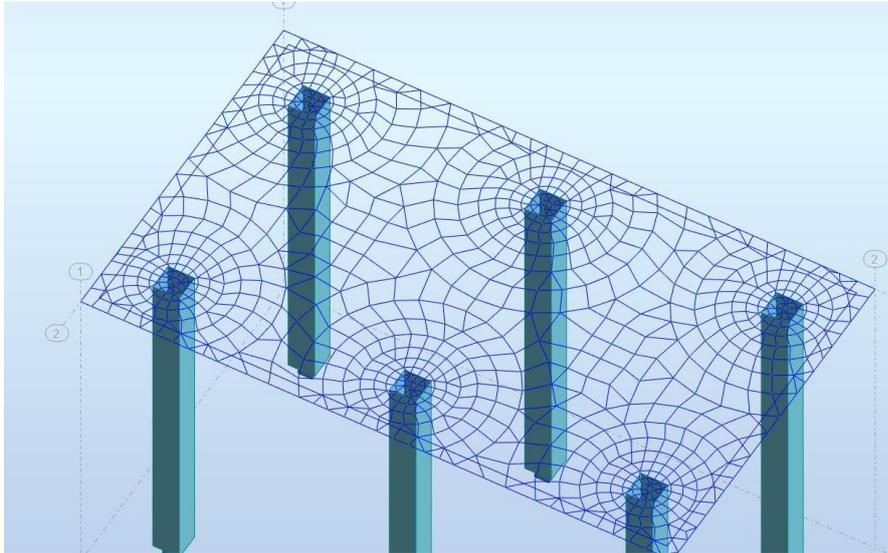
2.3. Simulación por Elementos Finitos en Análisis Estructural

Según (Abasolo, Aguirrebeitia, Coria, & Heras, 2017) menciona que “el Método de Elementos Finitos (MEF) es sin duda una de las herramientas más utilizadas en la actualidad en el ámbito del análisis y diseño mecánico”.

En la actualidad el MEF es una herramienta muy utilizada para el análisis y diseño de métodos mecánicos que permiten corroborar y perfeccionar esbozos en un bajo tiempo. Parte de dividir la geometría del componente en estudio en variadas partes llamadas elementos; los cuales se componen de nodos que son puntos usuales entre componentes; esta fase de discretización es denominada “mallado”. Ver Figura 21

Figura 21

Mallado de una pieza



Fuente: (Autodesk Support, 2023)

Al tratarse de la realización de simulación por parte del MEF la resolución de problemas de análisis estructural y mecánico en el área de ingeniería se aplica la técnica numérica. Fundamentándose en la desintegración del procedimiento u objeto en componentes más pequeños y manuales denominados elementos finitos para posteriormente estudiar el comportamiento en forma universal.

En el proceso de la ejecución del análisis estructural en la MEF la valoración de las contestaciones que genera un componente ante cargas puede implicar temperaturas, presiones, momentos, fuerzas, entre otras. Es decir que se proyecta conseguir a través del método establecer las tensiones, deformaciones y desplazamientos resultantes sobre el componente bajo ciertas condiciones prácticas.

En lo referente a la delineación base del comportamiento y funcionamiento de la simulación por elementos finitos en el argumento del análisis estructural se definen que las de importancia mayor serán:

- Cálculo de tensiones
- Aplicación de condiciones de frontera
- Formulación de ecuaciones de equilibrio

- Discretización
- Ensamblaje del sistema de ecuaciones
- Resolución del sistema de ecuaciones
- Interpretación de resultados

Hay que tener alta precisión de cada uno de las resultantes ya que de ello dependerá en postulados realizadas en el modelo, la calidad de la discretización y propiedades de los elementos que lo contemplan.

El procedimiento para ejecutar el análisis a través del método de elementos finitos, integrado en cualquier software, consta de tres pasos fundamentales:

- Pre-procesamiento: se define la conducta del elemento a evaluar, se discretiza el sistema continuo y/o dominio, es decir, se concibe el mallado en donde se observa la geometría y el tipo de componente, así como la unión entre esos. Adicionalmente se determinan las propiedades del material para después establecer las condiciones de frontera, las cargas aplicadas y selección del tipo de análisis.
- Solución: las ecuaciones base son citadas en forma matricial, posterior a resolver y conseguir la resultante de las variables no conocidas. Posteriormente la resultante obtenida se sustituye en otras ecuaciones para hallar variables adicionales.
- Post-procesamiento: corresponde al análisis de la resultante, y se establece si son satisfactorias de forma razonable o no con respecto al elemento de estudio.

2.4. Optimización Topológica

Según (Ibermática, 2023) se establece 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 día a día va tomado mayor fuerza en el ámbito del diseño de ingeniería con el enfoque de imitación evolutiva de la naturaleza y de esta forma aplicarla en el diseño de productos con mejora de detalle y configuraciones de los mismos elementos.

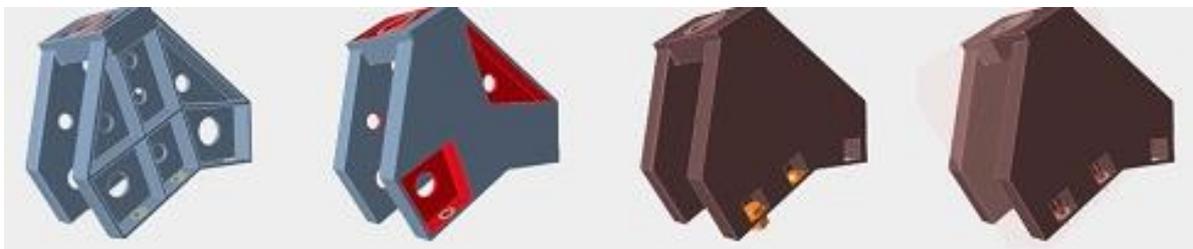
Bajo este juicio de teorías de diseño generativo se pasa a la teorización de la optimización topológica, en donde para (Giménez, 2020) dice que “se basa en buscar la distribución óptima de material en una estructura. Partiendo de una forma inicial y mediante la definición de distintas condiciones de contorno, y se genera la mejor distribución de material que cumpla con las condiciones”.

Al establecer sobre el proceso de optimización topológica (Garzón, Roa, & Cortés, 2004) menciona 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”. Como conclusión, la optimización topológica es una pericia de vanguardia en el campo de la ingeniería de diseño que intenta hallar la distribución de mayor eficiencia de elementos en la generación de un prototipo, que tiene por fin el minimizar peso y maximizar rendimiento.

En la figura 22 se puede observar el cambio de un componente básico y uno ya aplicado la optimización topológica por medio del proceso de diseño generativo.

Figura 22

Modelo del Proceso de Optimización Topológica y Diseño Generativo



En la fase de optimización topológica, se inicia con una repartición de material base y designaciones de interacciones con las que se eliminen partes críticas menores y a la par se emplean refuerzos en las áreas requeridas. También se pasa a instaurar restricciones de diseño, tales como refuerzos máximos permitidos, con el fin de asegurar la integridad estructural del componente.

2.4.1. Consideraciones de Restricción de Diseño

Cuando se instauran las condiciones de restricción en lo que concierne a esbozo estructural, debido a que son componentes base en la optimización topológica que desempeña un rol crucial en la obtención de medidas realistas y variables. Esas restricciones entablan las condiciones y límites, en el cual debe soportar la estructura optimizada, y así asegurar la funcionalidad, cumplimiento de requisitos específicos y su seguridad.

En cuanto a las restricciones de diseño, éstas pueden incluir varios aspectos como los siguientes:

- Deformaciones admisibles
- Esfuerzos máximos permitidos
- Factores de seguridad
- Criterios de estabilidad
- Frecuencias naturales
- Modos de vibración
- Restricciones geométricas

La selección ideal de las restricciones en mención dependerá de los objetivos de diseño y de su aplicación de forma específica. Por ejemplo, en el proceso de la optimización topológica del sistema de enganche de remolque automotriz, las restricciones incluirían límites en las tensiones con el objetivo de impedir agrietamientos y/o excesivas deformaciones, que son perturbaciones de la geometría funcional. Se puede instaurar los requisitos de rigidez mínima para avalar que el enganche cumpla con su función específica de unión al momento de emplear el arrastre. Las restricciones en una fase de diseño del que por lo general son derivaciones de estándares del campo automotriz y mecánica, particularidades concretas del plan y sobre todo de la regulación gubernamental. Aunque hay que tener en cuenta en un aspecto básico es el de hallar un equilibrio entre la optimización de la estructura del componente y el cumplimiento

de las restricciones, dado que una estructura óptima desde la eficiencia puede no ser factible en el caso de que no se plasmen las restricciones de seguridad y rendimiento. Se debe tener presente que en varios argumentos las restricciones llegan a ser contradictorias y/o exhortan de un compromiso entre objetivos no correlacionados del diseño. Por cuanto la fase de optimización topológica involucra la realización de un enfoque iterativo, minucioso y de un análisis para concertar cada una de las medidas y alcanzar un diseño que cumpla con las restricciones. En conclusión, las consideraciones de restricción en la fase del diseño con atención a la optimización topológica son fundamentales, para avalar que las resultantes son prácticas y seguras. Dichas restricciones permitirán constituir cada límite dentro de los que se requiere el perfeccionamiento de la estructura, condescendiendo un óptimo esbozo que combine la eficiencia, aplicabilidad y funcionabilidad.

2.5. Análisis Estructural

Según (Martínez González, 2008) menciona que “el enfoque estructural comparte con el análisis sistémico el énfasis en las interdependencias, pero parte a la búsqueda de lo subyacente y dentro de ello de lo que es más determinante y duradero”. Bajo este criterio el análisis estructural es la fase de determinación de efectos y cálculo de las fuerzas y cargas involucradas en un componente, edificio, elemento o estructura. El análisis estructural es significativo para aquel que analice, se asegure de entender en la totalidad los impactos y rutas de carga que las disponen en su diseño de ingeniería. Permitiendo avalar que una estructura o componente sea seguro y su aplicación bajo las cargas consideradas que se desean, las soporten. Se las realiza durante el diseño, ensayo o pos-construcción y generalmente representada por la geometría de la estructura, los materiales y cargas aplicadas.

En el momento que se hace un análisis estructural se debe:

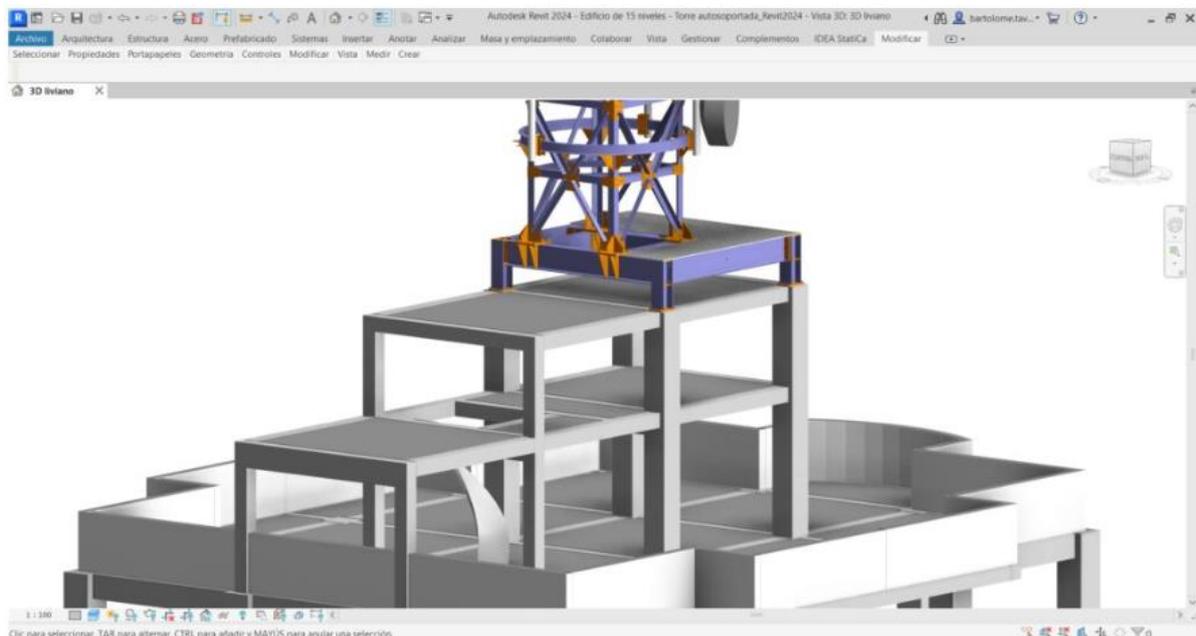
- Optimización y validación
- Definición de cargas y restricciones

- Ecuaciones de equilibrio
- Modelado matemático
- Evaluación de resultados
- Análisis numérico

El análisis estructural por lo general analiza elementos estructurales individualistas y las fuerzas que lo soportan. Se identifica las resultantes del análisis estructural para losas, cables, muros, vigas, entre otros; y dichos componentes tienen fuerzas aplicadas, tales como son cargas muertas (peso propio), cargas vivas (personas o automóviles) y cargas de viento. El análisis estructural puede ser estático en el cual se analizan las cargas que se ejercen en una etapa de reposo o si se lo hace en un tiempo largo. Por cuanto las cargas estáticas varían acorde a la magnitud, debido a que contribuye a saber si el componente estructural está diseñado con exceso o si éste se romperá con las cargas que se aplicaran, es decir que se puede identificar si el elemento puede reducirse en material con el fin de bajar peso de la estructura y costos. En la Figura 23 se muestra un ejemplo de análisis estructural.

Figura 23

Ejemplo de Análisis Estructural



Fuente: (Tavera, 2023)

El análisis estructural en el caso de cargas puntuales es cuando se aplica la fuerza constantemente sobre un área específica de un elemento. A través de este análisis se comprueba si el material se deformaría bajo condiciones de carga(s) aplicada(s).

Para cargas distribuidas es cuando son sometidas en todo lo largo de un componente y operan en gran parte de la viga. Con el análisis se determina los sitios de congregación de esfuerzos para modificación de la distribución a lo largo de la estructura garantizando un factor de seguridad óptimo deseado.

2.5.1. Cargas Estructurales y Escenarios de Análisis

Las cargas estructurales dentro del estudio de una estructura y/o componente hacen referencias a momentos o fuerzas que ejercen sobre la misma y se hallan en estado de equilibrio, o lo mismo que no varían en el tiempo. Dichas cargas son consideradas: permanentes, por ejemplo, el peso propio de la infraestructura, o en el caso de considerar como cargas externas aplicadas, podría ser fuerzas de apoyo, peso de equipos o cargas de viento. En lo referente a los espacios de análisis estructural se esbozan para entender cómo un elemento en estudio expresa las cargas y establece si está o no con la mayor parte de las exigencias de diseño y seguridad. En los ambientes de carga al generar el estudio estructural pueden alterar según el entorno de la infraestructura con que disponen y el entorno en el que se desenvuelven.

Entre los ambientes están:

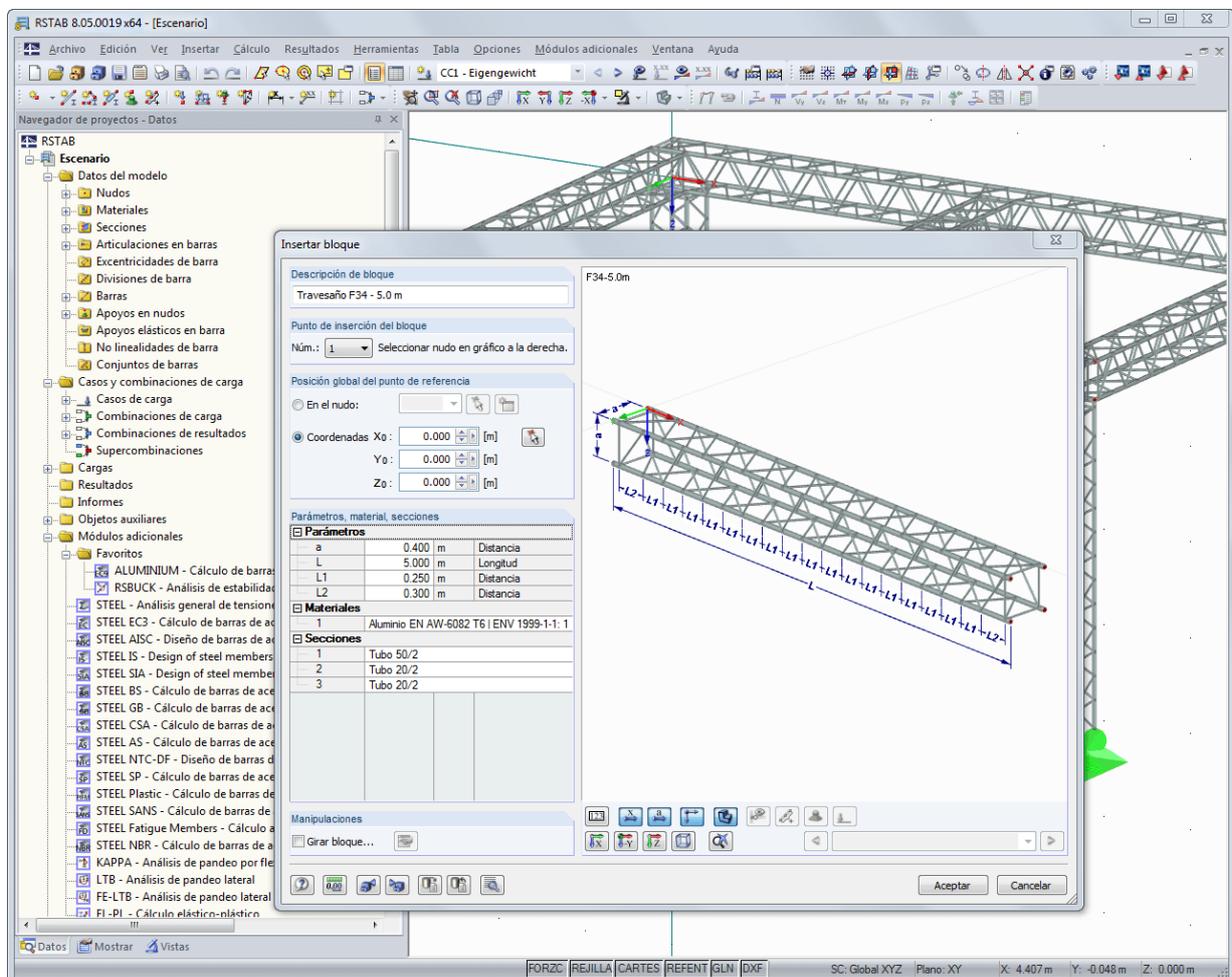
- Carga muerta
- Carga accidental
- Cargas dinámicas
- Cargas móviles
- Cargas distribuidas
- Carga estática
- Cargas sobre estructuras

- Cargas de impacto

Estos ambientes de carga son escogidos acordes a su función de aplicación y las exigencias específicas del proyecto a establecer. En el proceso del análisis estructural, cada ambiente se procede a modelar matemáticamente y se soluciona el modelo matemático de equilibrio para de esa forma establecer las respuestas estructurales, desplazamientos, tensiones y deformaciones. Dichas soluciones o resultados son necesarios para poder entender cómo la estructura y componente en análisis se comporta bajo condiciones distintas de carga y asegurar tanto su seguridad como su integridad. Esta descripción conceptual se puede apreciar claramente como ejemplo en la figura 24.

Figura 24

Cargas Estructurales y Escenarios de Análisis



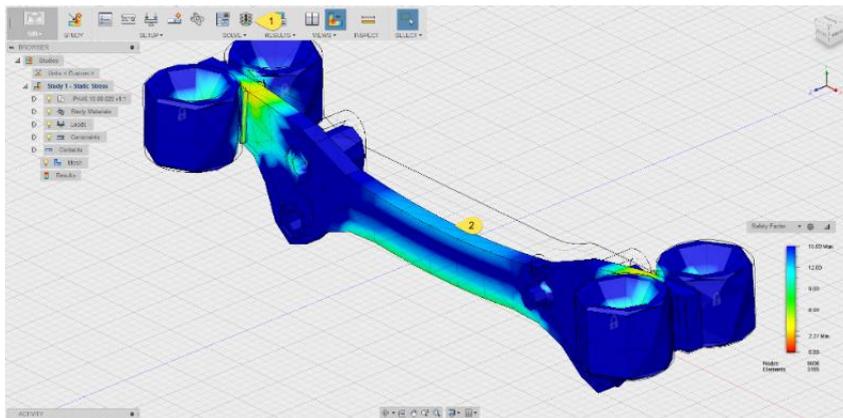
Fuente: (Autodesk Support, 2023)

2.5.2. Esfuerzos

En la estructura intervienen ciertas fuerzas físicas que podrían ocasionar perjuicios en el elemento acabado como son las fuerzas cortantes, la flexión y momentos flectores, los cuales conciben deformaciones que se miden en función de la deflexión y del ángulo de giro. Claramente de manera gráfica del presente ejemplo de cómo actúan los esfuerzos se puede observar en la figura 25.

Figura 25

Esfuerzos en Software Autodesk

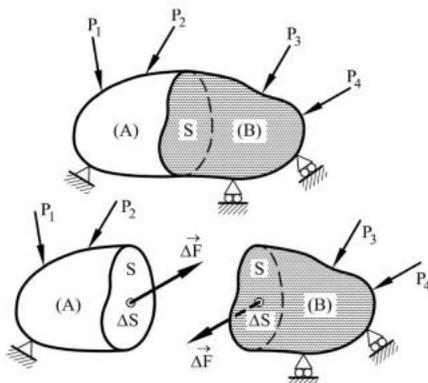


Fuente: (Andueza, 2015)

Considerando un cuerpo en equilibrio, el cual es sometido a fuerzas externas se obtendrá como resultado fuerzas internas F' . Estudiar dichas fuerzas se fracciona el cuerpo en 2 partes (A y B) a través de un plano S, como está en la Figura 26.

Figura 26

Análisis de Esfuerzos



Fuente: (Gonzalez Herrera, 2018, pág. 38)

2.5.3. Centro de Gravedad

Es el punto en el que se centralizan las fuerzas que intervienen sobre el cuerpo, éstas se estudian para saber el comportamiento dinámico en donde intercede el análisis de distancias o pesos.

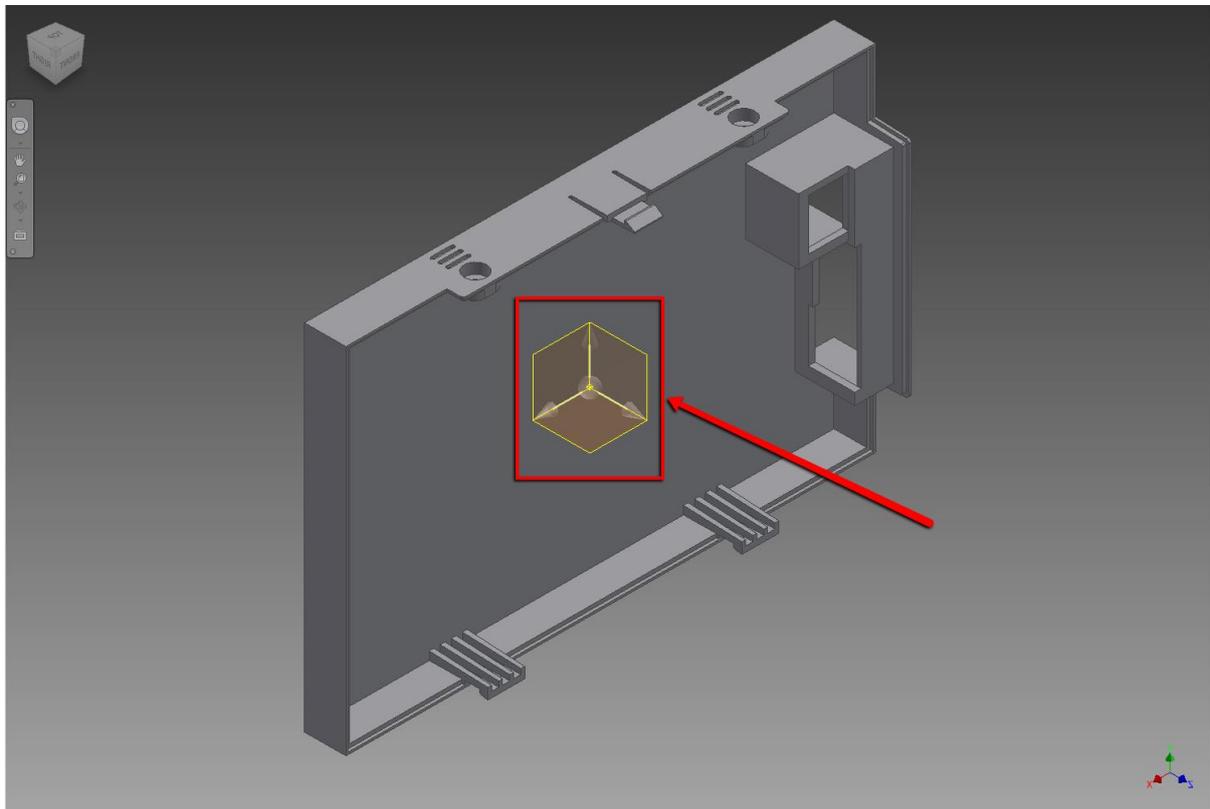
El centro de gravedad es proporcionalmente inverso a la transferencia de masas, por ende, si es baja existirá menos transferencia de masa.

El centro de gravedad debe ser lo más cerca al centro de balanceo y lo más bajo posible.

Ver Figura 27.

Figura 27

Centro de Gravedad en Software Autodesk



Fuente: (Autodesk Support, 2023)

2.5.4. Ecuaciones de Equilibrio

Cuando se habla de ecuaciones de equilibrio de seguridad, referimos a locuciones matemáticas aplicadas en ingeniería para evaluación de la capacidad del componente y/o la

estructura en estudio para fuerzas aplicadas y resistir las cargas sobre éstas sin que transiten errores y/o deformación excesiva que perjudique al desempeño. La función de dichas ecuaciones es de contrastar los esfuerzos y tensiones inmersos en el componente y/o la estructura con los límites tolerables y/o propiedades del material y de esa forma determinar si es seguro y si plasma los requisitos de esbozo proyectados.

Lo que concierne a análisis estructural, las ecuaciones de seguridad son de alto valor para asegurarse de que la estructura no se halle trabajando en condiciones que provoquen errores catastróficos y/o complejos.

Dichas ecuaciones consideran factores tales como resistencia del material, propiedades geométricas y condiciones de carga para computar los márgenes de seguridad. Si los valores computados de tensiones y esfuerzos se hallan por abajo de valores límites tolerados, se consideraría que la estructura cumple con criterios de diseño y es segura. En la Ecuación 1 se muestra la determinación del límite de resistencia de las conexiones por perno utilizada dentro del Software Autodesk Inventor.

Ecuación 1

Determinación del límite de resistencia de las conexiones por perno

$$\sigma_e = \sigma'_e k_e k_f [MPa, lpc]$$

Donde:

σ'_e = límite de resistencia básica de una barra de prueba del material seleccionado (MPa, lpc)

k_e = factor modificado de concentración de tensión (-)

k_f = factor de efectos diversos (-)

La Ecuación 2 se muestra el límite de resistencia básica utilizada dentro del Software Autodesk Inventor.

Ecuación 2

Límite de resistencia básica

$$\sigma'_e \approx 0.4 S_U \text{ — para tracción invertida — presión}$$

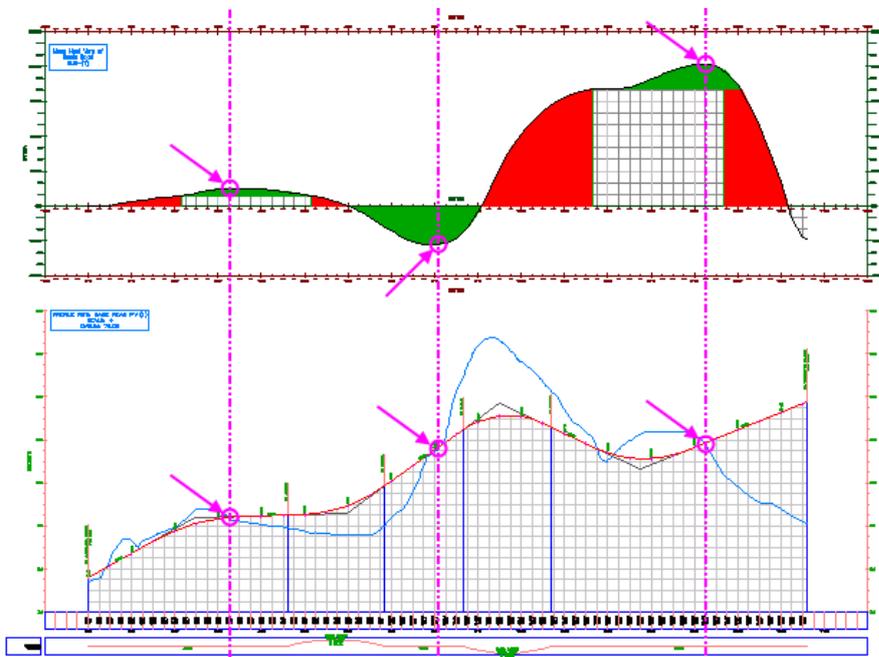
Donde:

S_U = tensión máxima de tracción (MPa, lpc)

Las ecuaciones de seguridad pueden exhibir diversificaciones acordes al tipo de análisis y carga, que puede ser dinámica o estática. Adicional, su concentración puede necesitar de atenciones extras, por ejemplo, las condiciones de fluencia, del comportamiento de material no lineales y efectos de fatiga. Dichas ecuaciones son fragmento principal de la fase de análisis estructural y diseño, por la razón de que aseguran que la estructura esté en la capacidad de soportar las fuerzas y cargas a las que se encontrará expuesta en toda su útil vida, otorgando una base consistente para la confiabilidad y seguridad de construcciones, así como también de todos los elementos a los que se aproximan visualmente. En la Figura 28 se muestra un ejemplo de cálculo de masas y equilibrio realizado en el Software Autodesk.

Figura 28

Cálculo de Masas y Equilibrio en el Software Autodesk



Fuente: (Andueza, 2015)

2.5.5. Interpretación de Resultados

En lo que refiere al análisis de las resultantes del análisis estructural, implica evaluar y comprender lo obtenido tras el proceso de simulación por parte del software. Se analiza los desplazamientos, las tensiones y deformaciones computadas para establecer si la estructura en análisis cumple con parámetros de seguridad y diseño. De darse que las tensiones se hallen en los límites permitidos por las deformaciones y los materiales son aceptables, la estructura se la considera como segura. Si las tensiones son muy altas o con deformaciones excesivas, se puede concluir que es necesario examinar los materiales, el diseño del elemento o la geometría. El análisis también consiste en cotejar la resultante con predicciones teóricas y modelos, como también aprobarlos con los datos experimentales, si se encuentren disponibles. Por último, la resultante suministra datos fundamentales para la toma de decisiones sobre el rendimiento y la viabilidad de la estructura en función de su forma de operación y de las condiciones de carga.

2.5.6. Factores de Seguridad

Según (Riddell & Hidalgo, 1997) indica que “En términos generales, se entiende por seguridad el evitar que la estructura o elemento alcance o sobrepase un estado límite hasta el cual se considera que el comportamiento de la estructura es aceptable”.

Así también, el factor de seguridad es un dato fundamental en diseño e ingeniería, que evalúa la capacidad de un componente o una estructura para resistir fuerzas o cargas sin que esas alcancen el punto de error. Así mismo, simboliza la relación entre la carga máxima que una estructura puede resistir antes de que colapse y la carga real que se desea que actúe sobre ella. En conclusión, el factor de seguridad muestra el margen de resistencia posee una estructura en concordancia con las condiciones reales de trabajo. El factor de seguridad se calcula por medio de la partición de la carga de colapso o carga de fallo requerida por la carga real que opera sobre la estructura en análisis. Si el factor de seguridad es mayor a 1 simboliza que la estructura es capaz de soportar la carga sin que presente error y existe el margen de

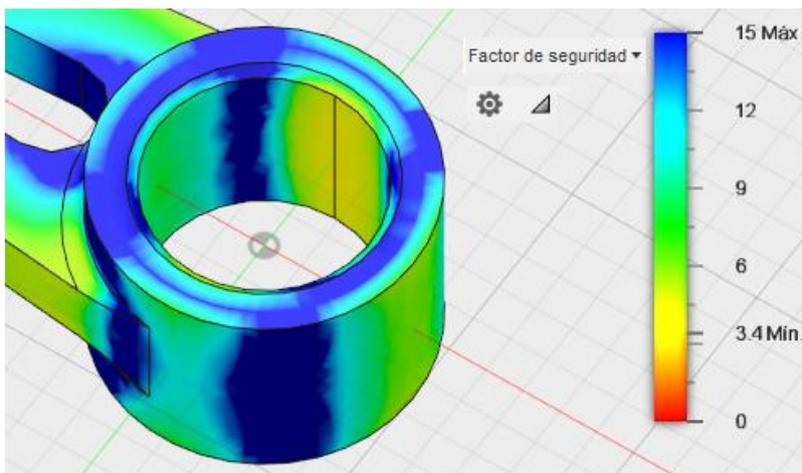
seguridad. Si el factor de seguridad da un valor igual a 1 se considera que la forma de la estructura está operando al límite de resistencia y por la presencia de cualquier factor que aumente la carga, conllevará a la reproducción de falla. Si un factor de seguridad es menor a 1, se traduce que la estructura es absolutamente insegura y no puede soportar la carga en aplicación. Dicho valor proporcionado como factor de seguridad depende de:

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

En las aplicaciones críticas es necesario hallar un factor de seguridad ampliamente mayor a 1, para garantizar un nivel de aseguramiento alto y confiable de la estructura o del elemento. Se debe tener presente que el factor de seguridad no es constante, y variar según los cambios en el medio operativo, las condiciones de carga y de las indecisiones en las propiedades del material. El cálculo del factor de seguridad es de alto valor para poder cerciorar que la estructura sea lo suficientemente segura y resistente para aplicar, aportando así a la integridad y confiabilidad de los componentes y construcciones de ingeniería. Ver Figura 29.

Figura 29

Factor de Seguridad en Software Autodesk



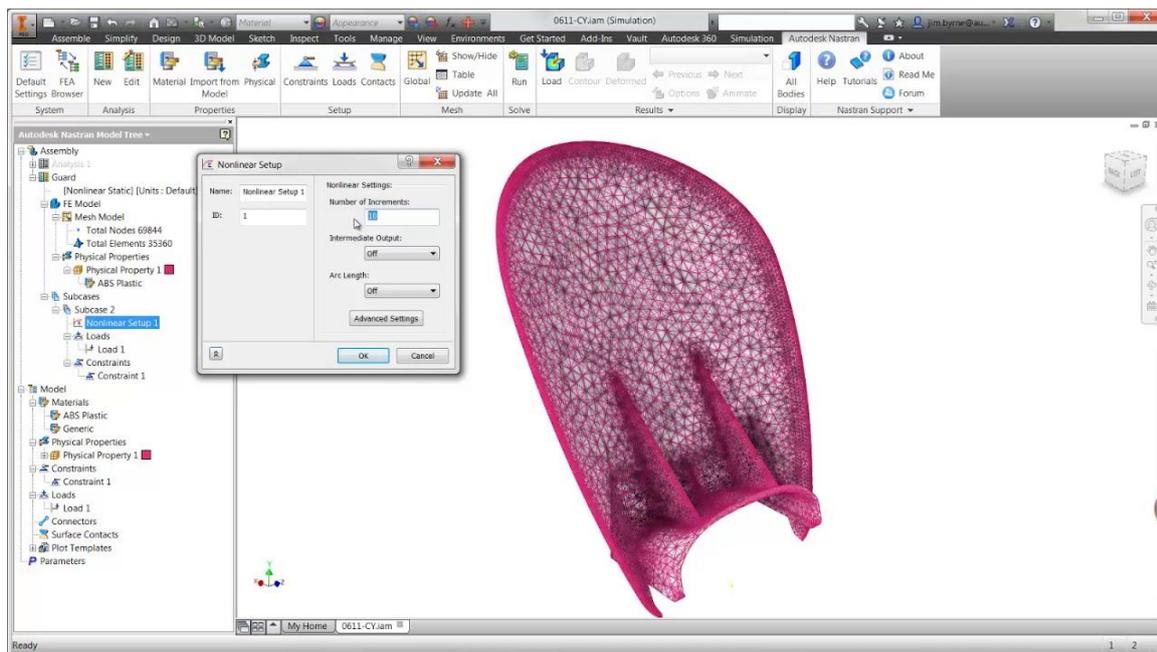
Fuente: (Autodesk Support, 2023)

2.5.7. Falla por fatiga

Toda pieza y elemento mecánico que esté sometido a cargas cíclicas o variables puede sufrir rotura por fatiga. La resistencia mecánica del material se disminuye al momento se aplican esfuerzos normales de tensión, cargas cíclicas o fluctuantes y deformaciones plásticas. Ver Figura 30.

Figura 30

Falla por Fatiga en Software Autodesk



Fuente: (Autodesk Support, 2023)

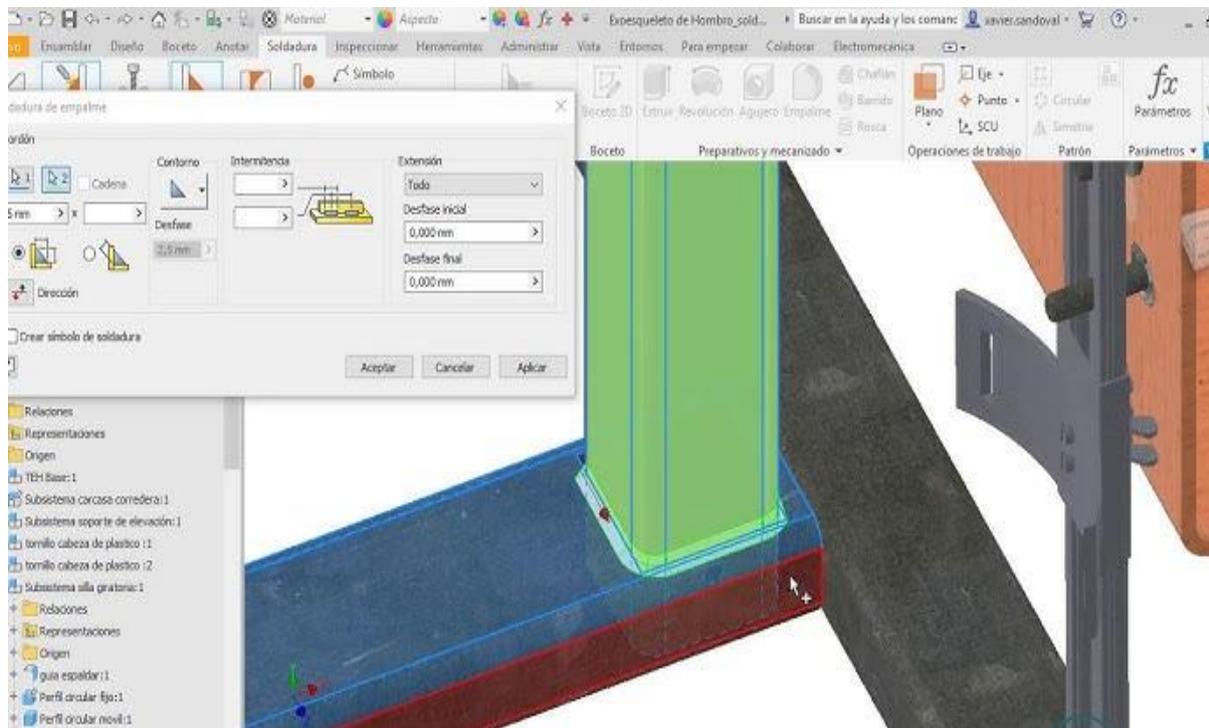
Las teorías de falla están basadas en múltiples conceptos, por ejemplo, energía de deformación, esfuerzos cortantes, deformaciones específicas, entre otros similares, debido a que no existe una teoría de falla universal porque el comportamiento de los materiales es diferente, sin embargo, pueden clasificarse en 2 grupos: frágiles y dúctiles, por ejemplo, el acero que tiene un compartimento de naturaleza dúctil, pero puede presentar una falla frágil bajo ciertos casos de estudio. El material dúctil puede fallar al alcanzar el esfuerzo de cadencia para la aplicación estructural, debido a que partir de ese punto se exhiben deformaciones plásticas. En cambio, un material frágil falla al momento de la fractura o rotura física.

2.5.8. Soldadura

Es la fase donde se juntan partes metálicas a través del calentamiento de las superficies a un estado plástico o fluido, consintiendo que las partes se unan y fluyan, con o sin la adición de material fundido. Para ello se considera que el material (llamado electrodo) que se fundirá es compatible con los elementos a soldar. Con esta fase el oxígeno que se halla en el medio produce óxido que contamina a las uniones, pero el electrodo abastecerá de la escoria que cubrirá la suelda para evitar la contaminación en mención. En la Figura 31 se muestra la ventana disponible para realizar soldadura en el Software Autodesk Inventor.

Figura 31

Proceso de Soldadura en el Software Autodesk Inventor



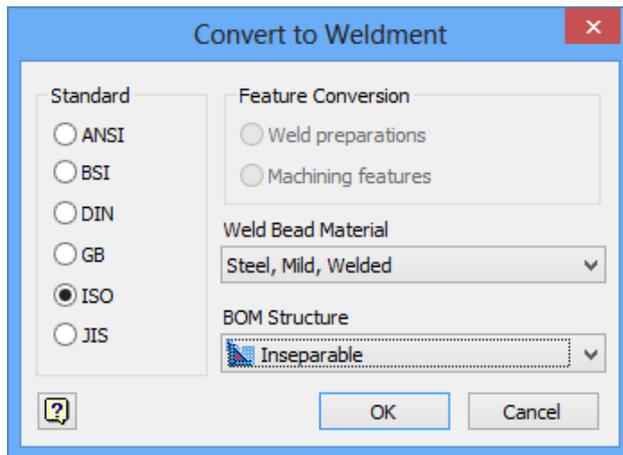
Fuente: (Prototicad3d, 2017)

Para realizar soldadura en el Software Autodesk Inventor se debe seguir los siguientes pasos:

- Ingresar al entorno de soldadura.
- Definir el material de soldadura y la norma en que se va a trabajar. Ver Figura 32

Figura 32

Entorno para Definir Parámetros de Soldadura



Fuente: (prototicad3d, 2017)

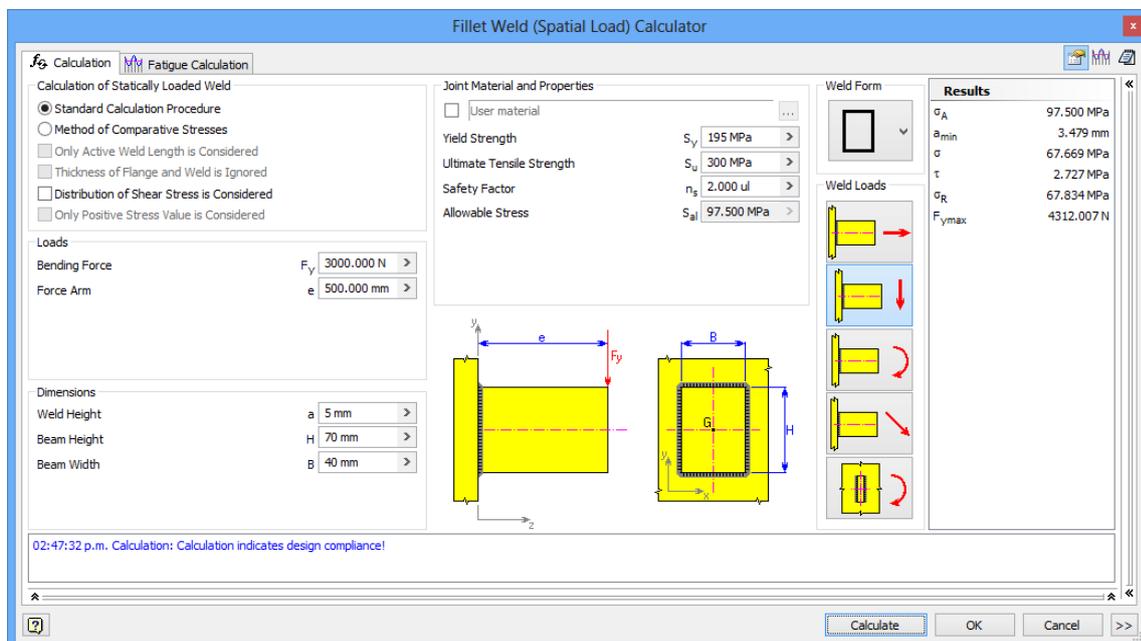
- Ingresar al entorno de preparaciones para poder agregar chaflanes a los elementos que van a ser soldados.
- Se selecciona el ángulo de la soldadura.

Si se desea se puede visualizar los cálculos de la soldadura aplica, como se muestra en

la Figura 33.

Figura 33

Entorno para Visualizar los Cálculos de la Soldadura Aplicada

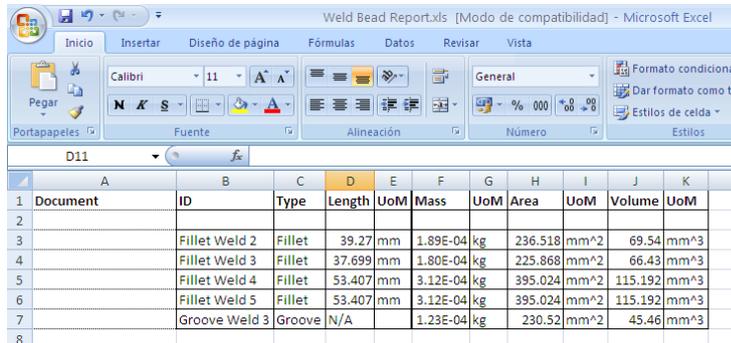


Fuente: (prototicad3d, 2017)

El reporte obtenido se puede trasladar a un archivo de Microsoft Excel, como se observa en la Figura 34.

Figura 34

Datos Exportador en Microsoft Excel de la Soldadura Aplicada



Document	ID	Type	Length	UoM	Mass	UoM	Area	UoM	Volume	UoM
		Fillet Weld 2	39.27	mm	1.89E-04	kg	236.518	mm^2	69.54	mm^3
		Fillet Weld 3	37.699	mm	1.80E-04	kg	225.868	mm^2	66.43	mm^3
		Fillet Weld 4	53.407	mm	3.12E-04	kg	395.024	mm^2	115.192	mm^3
		Fillet Weld 5	53.407	mm	3.12E-04	kg	395.024	mm^2	115.192	mm^3
		Groove Weld 3		N/A	1.23E-04	kg	230.52	mm^2	45.46	mm^3

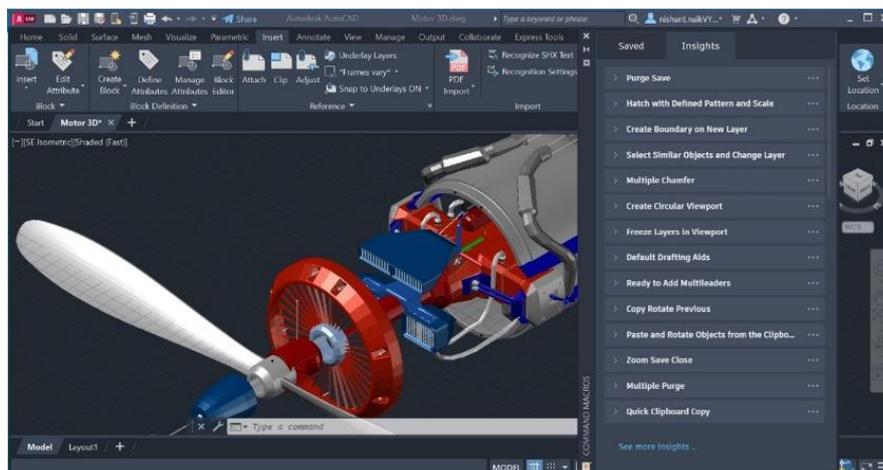
Fuente: (prototica3d, 2017)

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

La tecnología ha revolucionado la industria y la ingeniería en el campo de la mecánica permitiendo que el diseño asistido por computadora genere la pre-visualización, estudio y comunicación previa a la manufactura y construcción de un elemento físico. El sistema CAD dispone de un uso amplio de rango de herramientas computacionales que profesionales de diseño manejan en el desarrollo de su labor ya sea para ingenierías, diseños gráficos, arquitecturas, entre otras. Ver Figura 35.

Figura 35

Pantalla del Software AutoCAD 2023



Fuente: (Frausto-Robledo, 2022)

2.6.1. Autodesk Inventor

El Software Autodesk Inventor (ver Figura 36) oferta un conjunto de herramientas profesionales ideales para el diseño mecánico, estructural, arquitectónico, de ingeniería y más, así como también permite la simulación, visualización y documentación de productos en 3D.

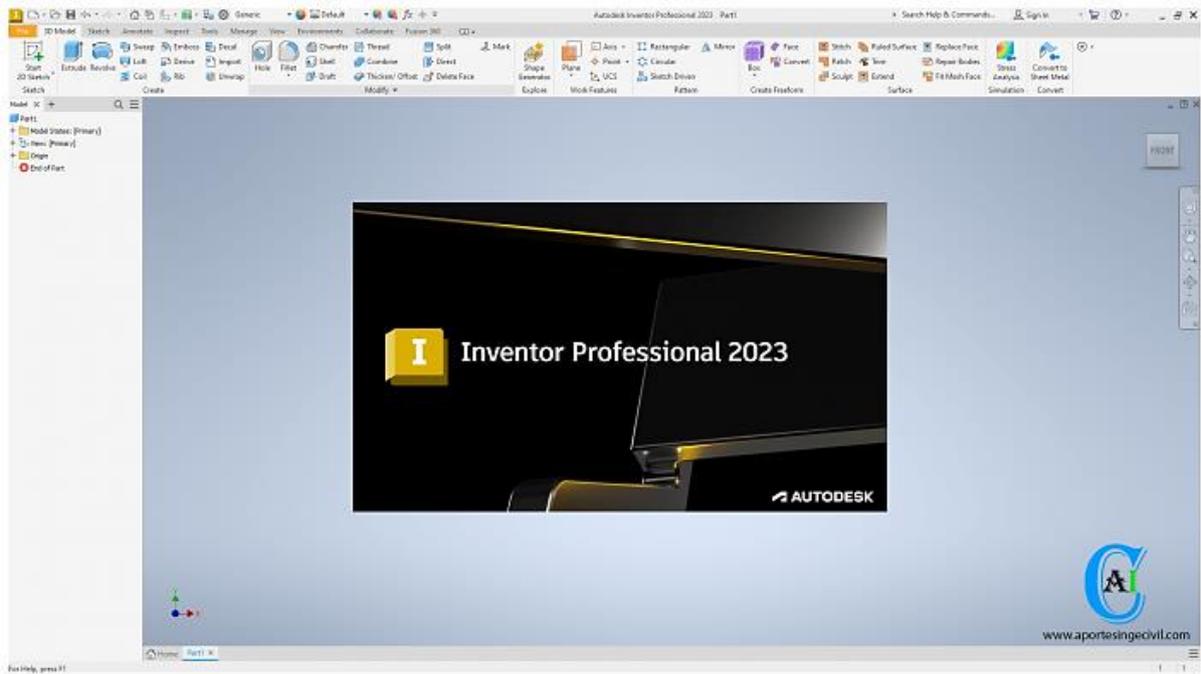
Permite integrar datos en 2D y 3D en un solo ambiente, admitiendo crear el diseño virtual del componente final que admite inspeccionar el ajuste, diseño paramétrico, funcionamiento y forma del componente esbozado en cualquier instante, previo a su fabricación, de forma tal que reduce costos de desarrollo y suministra mejores componentes acabados. Mediante la biblioteca virtual se puede elegir elementos estándar de contenido personalizado por ejemplo aceros, tubos, tornillería, engranajes, levas, conexiones por perno, y otros similares. Por cuanto el programa es ajustable al presente trabajo dado que contribuye a que se realice un análisis estructural aplicado en un sistema de enganche en remolque, y previamente al diseño estructural real, en el software se puede:

- Bosquejar
- Valoraciones bajo el método de elementos finitos
- Las evaluaciones de trabajo de prueba, entre otros.

Y así determinar si los materiales de construcción que se quieren utilizar son los requeridos.

Figura 36

Pantalla Principal del Software Autodesk Inventor 2023



Fuente: (Vera, 2017)

Capítulo III

Metodología

3.1. Métodos

Los métodos de investigación para la optimización topológica y el análisis estructural del sistema de enganche de remolque involucran el aplicar simulaciones por elementos finitos para modelamiento del comportamiento estructural bajo ciertas cargas estáticas. La optimización topológica se basa en algoritmos que exploran configuraciones geométricas eficientes, maximizando la resistencia y minimizando el peso.

Estos métodos combinan la simulación numérica precisa con enfoques algorítmicos para lograr un diseño óptimo y seguro del enganche, mejora de la estabilidad y el rendimiento del vehículo.

3.2. Tipo de Estudio

Este estudio se clasifica como una investigación aplicada y experimental. Utiliza simulaciones por elementos finitos y algoritmos de optimización para analizar estructuralmente y optimizar topológicamente el sistema de enganche de remolque automotriz. La investigación se basa en la aplicación práctica de técnicas de ingeniería en un contexto real, con el objetivo de optimizar el rendimiento y la seguridad del vehículo al momento del arrastre de la carga. Se emplean datos numéricos y resultados de simulaciones para respaldar las conclusiones y recomendaciones.

3.2.1. Investigación Experimental

La investigación experimental se caracteriza por la administración premeditada y controlada de variables en un entorno controlado para comprender las relaciones causales y efectos. En este enfoque, se diseñan experimentos con grupos de control y experimental, y se registran y analizan datos cualitativos y cuantitativos.

El objetivo es investigar y validar hipótesis científicas, explorar relaciones de causa y efecto, y establecer conclusiones basadas en evidencia empírica. La investigación experimental es esencial en disciplinas como la ciencia, psicología y medicina, y ayuda a proporcionar una base firme para la toma de decisiones instruidas y avance del conocimiento en campos específicos.

3.2.2. Método Experimental

El uso de este método se podrá comparar, demostrar y analizar que a través del proceso propuesto se puede alcanzar un correcto análisis de la optimización topológica y análisis estructural en la que se obtendrán datos para fundamentar y analizar cada criterio para llegar a una conclusión.

3.3. Materiales

Para los materiales que van a ser utilizados en la fabricación del sistema de enganche de remolque se toman en cuenta cinco aspectos:

- **Propiedades mecánicas:** las características físicas del material deben acoplarse a los esfuerzos a los que va a estar sometido, así como también a las condiciones climáticas y particularidades de la bola remolque.
- **Estética y adecuación con el diseño a alcanzar.**
- **Proceso de producción:** los materiales escogidos deben permitir alcanzar que, mediante el menor empleo de procesos y menor complejidad, la formulación técnica de la pieza en proceso.
- **Medio ambiente:** utilizar el menor número de materiales posibles y de ser posible un solo material aleado.

(Ashby, 2000), menciona que es ideal clasificar los materiales de ingeniería en seis clases, las cuales son metales, polímeros, elastómeros, cerámicas, vidrios y compuestos; debido a que tienen características en común como son las propiedades, rutas de procesamiento y

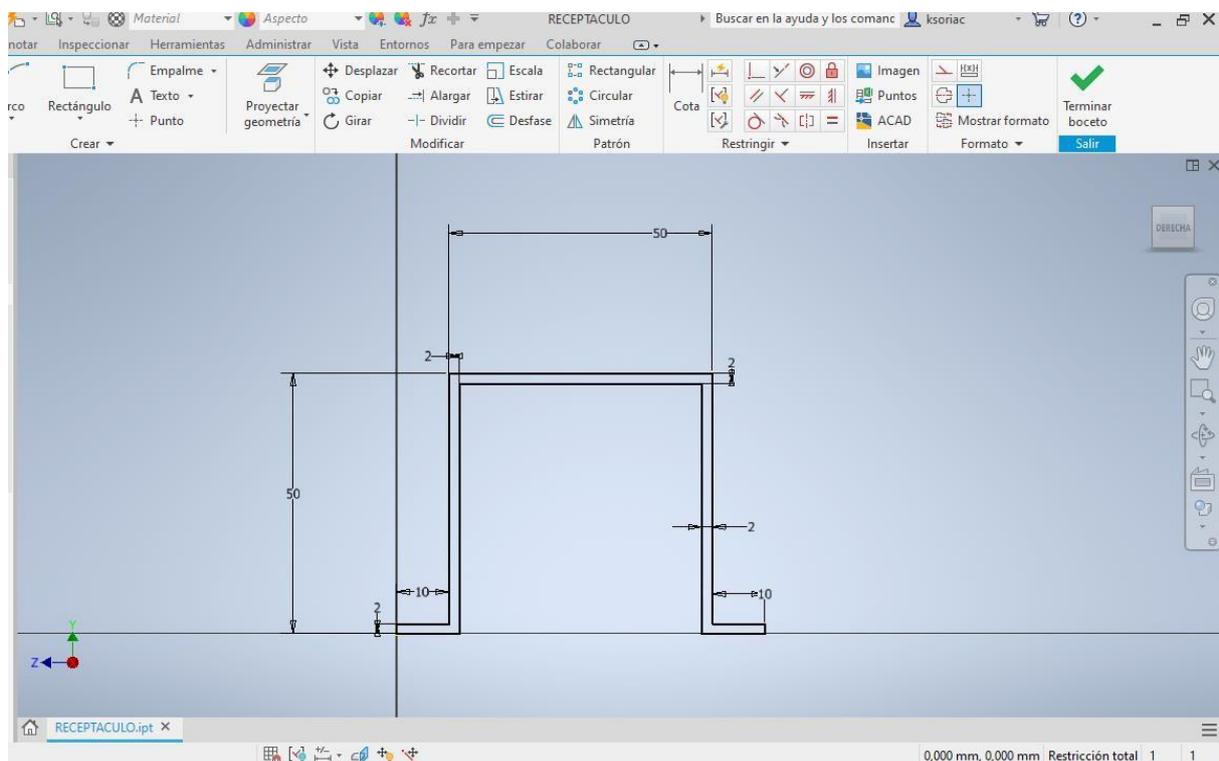
similares aplicaciones, además pueden mejorar sus propiedades mecánicas mediante aleaciones y tratamientos térmicos.

3.4. Modelado del Enganche de Remolque

Para el modelado del enganche de remolque se procede a diseñar en 2D en el Software Autodesk Inventor el plano del enganche de remolque como se observa en la Figura 37, donde en base a las medidas ya preestablecidas en borrador se procede a dibujar dentro del programa, mediante el trazo de líneas rectas que luego se irían cambiando sus aristas según la necesidad.

Figura 37

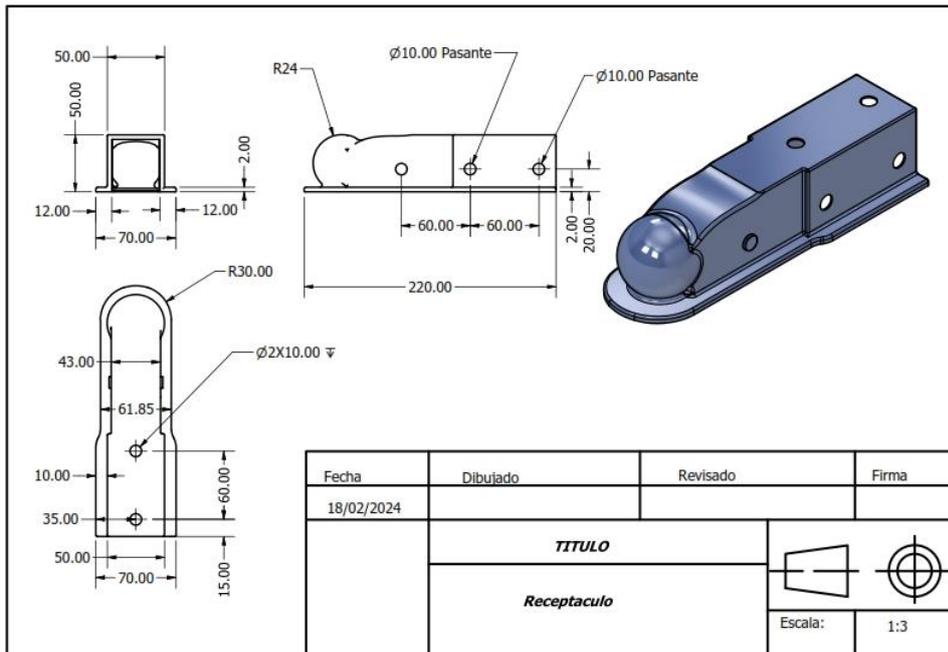
Modelo del Enganche Remolque 2D



Se procede a diseñar en 3D en el Software Autodesk Inventor el enganche de remolque como se observa en la Figura 38, donde en base a las medidas ya preestablecidas en borrador se procederá a dibujar dentro del programa, mediante el trazo de líneas rectas que luego se irían cambiando sus aristas según la necesidad

Figura 38

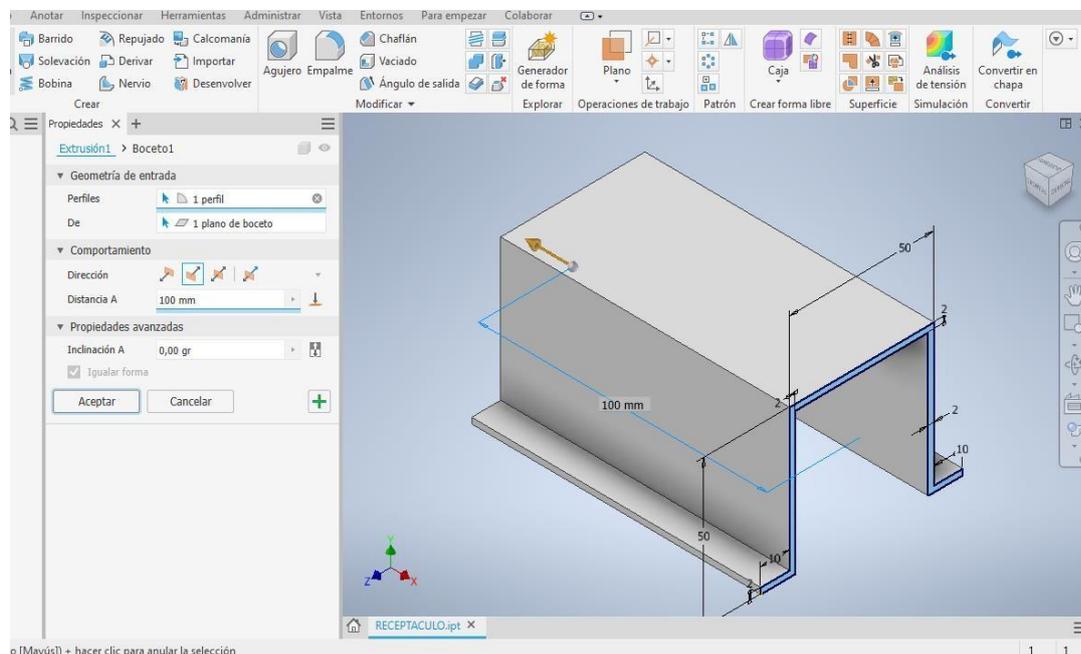
Plano de la pieza a elaborar en 2D



A continuación, se realiza la extrusión para pasar de modelo 2D a 3D como se observa en la Figura 39, en donde las líneas planas se estiran a la medida requerida en el plano XY según el diseño del plano que previamente se dibujó en borrador para obtener el modelado del enganche de remolque base.

Figura 39

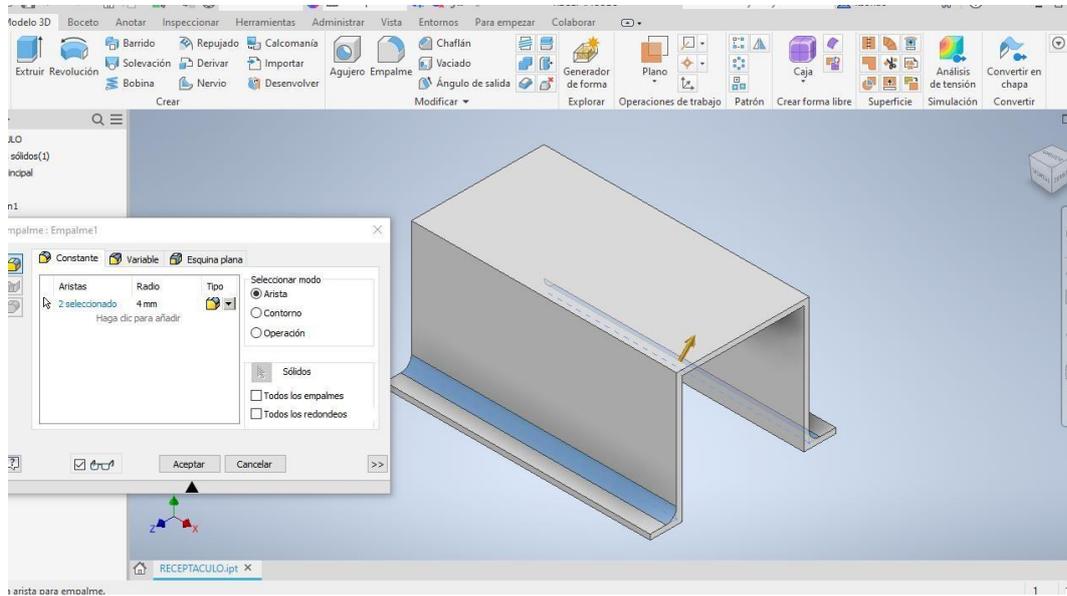
Modelo del Enganche Remolque 3D



Se procede a generar el perfil de los ángulos internos como se observa en la Figura 39, para poder pasar de un diseño plano donde el objetivo es distribuir las cargas y evitar rupturas o fragmentaciones que afecten a la estructura una vez se lleve a la pieza real.

Figura 40

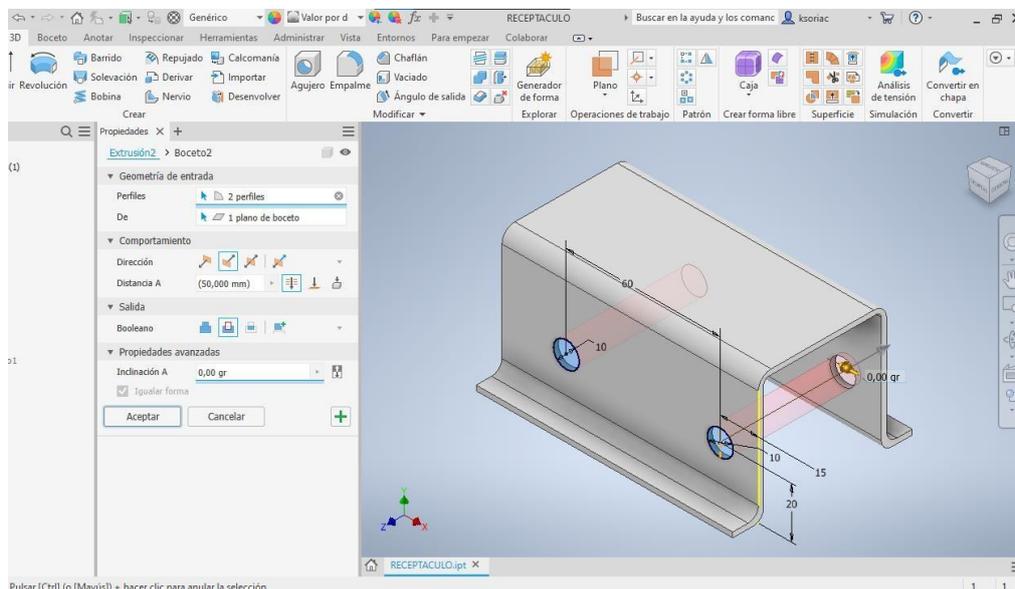
Perfilado de Aristas del Enganche Remolque



En la Figura 41 se observa las perforaciones realizadas en las caras laterales donde se colocará los pernos, con ello también se obtendrá un alivio de peso de la pieza y distribución de cargas.

Figura 41

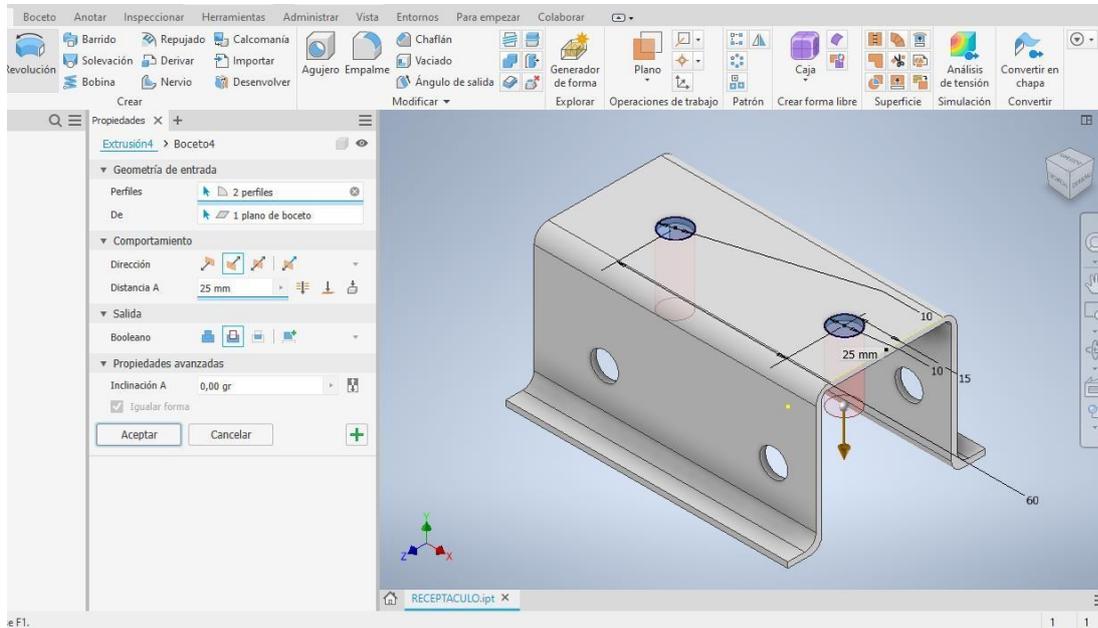
Perforaciones Laterales para los Pernos que van en el Enganche Remolque



De igual manera se realiza las perforaciones en la cara superior donde se colocará los pernos como se observa en la Figura 42.

Figura 42

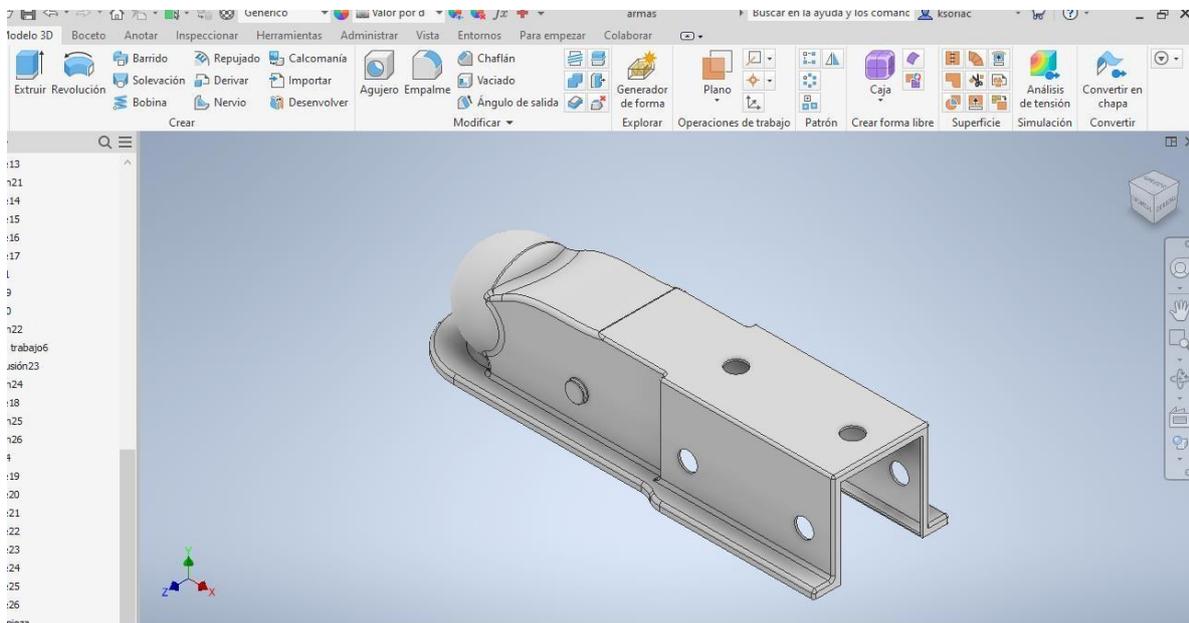
Perforaciones Superior para los Pernos que van en el Enganche Remolque



En la Figura 43 se ve el diseño 3D inicial del enganche remolque, ya con sus aristas, curvas y perforaciones correspondientes para poder proceder a colocar los pernos correspondientes que aseguran contra el remolque al que se le coloque a futuro.

Figura 43

Modelado 3D del Enganche Remolque



En la Figura 44 se observa el diseño 3D final del enganche remolque ya con sus pernos y tuercas colocadas debidamente. Este diseño servirá ya para su posterior construcción real.

Figura 44

Modelado 3D Final del Enganche Remolque



3.5. Simulación

3.5.1. Restricción de Movimiento

Se coloca las sujeciones (6 pernos) en el componente el cual van a hacer fijas y el acople de bola que va a estar sujeto en la parte delantera que será sin fricción de modo que representará la sujeción del elemento como se ve en la Figura 45.

Figura 45

Restricción de Movimiento

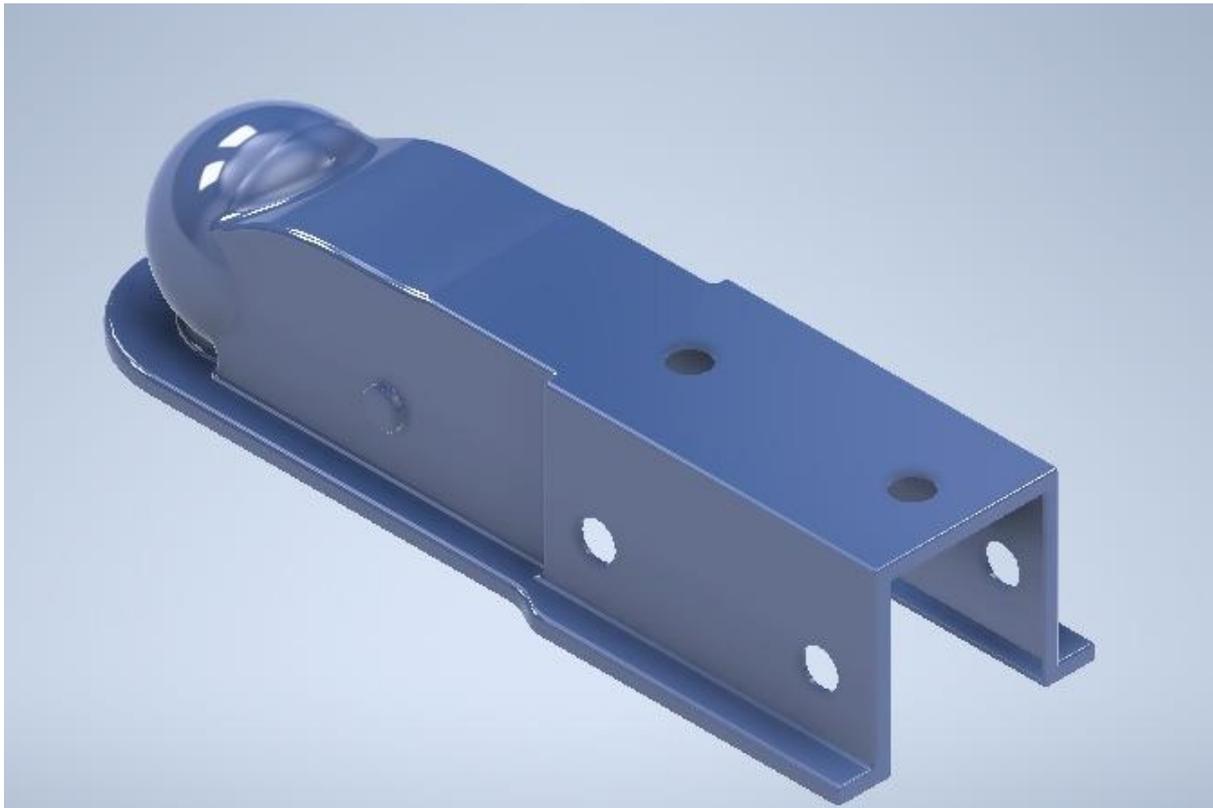


3.5.2. *Control de Malla*

Esta parte contempla el mallado que usa el modelo matemático de dividir una pieza en varios cuadros para poder encontrar una solución óptima (método de elementos finitos), entre más fina sea la malla más se podrá encontrar el valor cercano a la realidad, para esta pieza la asignación de la carga se le colocará en el centro de gravedad de la misma, generando un momento positivo como se observa en la Figura 46.

Figura 46

Mallado del Enganche de Remolque



Capítulo IV

Análisis de Resultados

4.1. Análisis de Datos Obtenidos

Para el enganche se analiza los esfuerzos que soportara al momento de que se va a sujetar en un remolque y se hará un análisis detallado para estimar la carga que está actuando en el componente y los esfuerzos que genera en las sujeciones que actúan en los pernos mediante el análisis CAE que usa el método de elementos finitos de aproximación por medio de variables como son las restricciones donde van a estar sujetas.

4.1.1. Análisis de Carga

El análisis que se efectúa para la carga se contempla en el peso para el cual va a estar sujeto el remolque, tomando para este proyecto que el peso del remolque será de 75 kg y una masa total de 255 kg. Siendo el peso que está actuando para el caso de una carga concentrada en el remolque que tiene que a partir de esa carga una distancia de 1.8 m al centro de gravedad del enganche, el cual va a estar sujeto por 6 pernos que actúan restringiendo el desplazamiento, esto se podrá observar en el diagrama de cuerpo libre DCL, además que este diagrama mediante una sumatoria de momentos determinará el momento positivo que está actuando en el centro de gravedad del enganche para poder proceder a simular el componente. Mediante la Ecuación 3 se determinará el peso.

Ecuación 3

Peso

$$P = m * g$$

Donde:

P = Peso (N)

m = masa total (Kg)

g = gravedad (9.8 m/s²)

Mediante la Ecuación 4 se determinará el momento positivo.

Ecuación 4

Momento

$$\Sigma mto(A) = 0$$

Donde:

mto = momento (N * m)

Reemplazando por valores la Ecuación 1 y 2 se obtiene un peso de 2501.55 N y un momento positivo de 4502790 N * m

4.1.2. Propiedades Mecánicas del Material

Se determina que el material sugerido para el enganche de remolque debe ser de acero al carbono dado las propiedades mecánicas que se detallan en la Tabla 1. El acero al carbono es muy utilizado para la construcción de estructuras de caravanas, dispone de un equilibrio entre resistencia y ductilidad.

Tabla 1

Propiedades Mecánicas del Acero al Carbono

Propiedades Mecánicas del Acero al Carbono	
Límite elástico	350 MPa
Módulo cortante	79700 MPa
Coefficiente de Poisson	0.29
Densidad	7,850 g / cm ³
Módulo de Young	200 GPa
Resistencia a la tracción	420 MPa

4.1.3. Esfuerzos Generales

El primer resultado obtenido es el esfuerzo máximo de un valor que está por muy por debajo del límite elástico del material, en este caso es de 141.4 MPa, siendo que este valor indicaría un comportamiento del componente que establece permanecerá de forma adecuada.

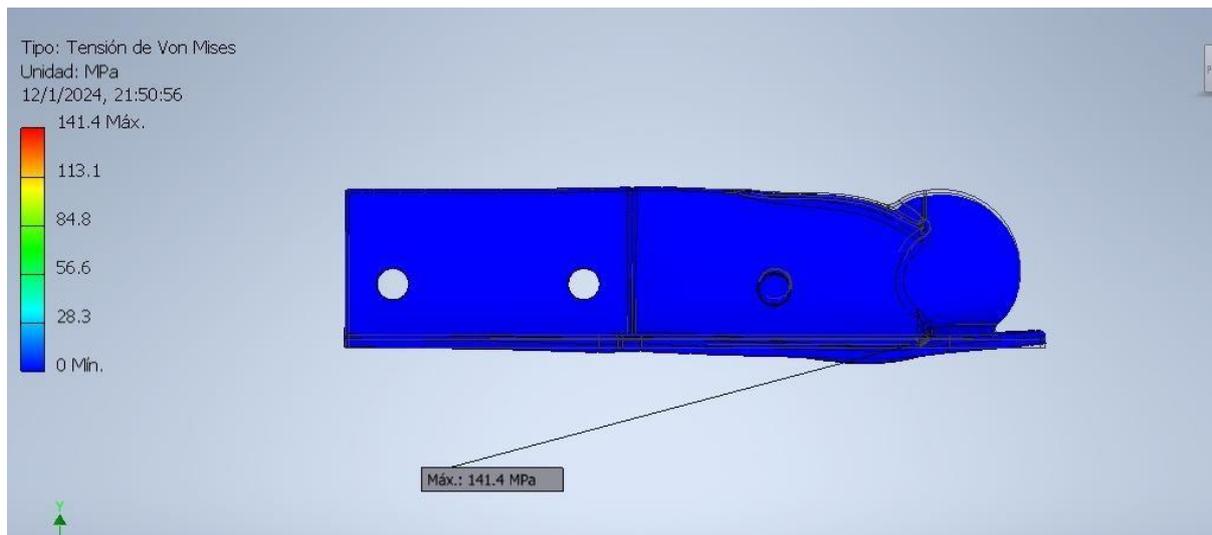
Ver Figura 47.

Hay que tener en cuenta que el valor obtenido en la simulación presenta un comportamiento normal en la estructura y los puntos donde se concentran estos esfuerzos se concentran en el orificio de anclaje o sujeción y en el extremo del anclaje de retención hasta llegar a tener un valor máximo de tensión de 141.4 MPa.

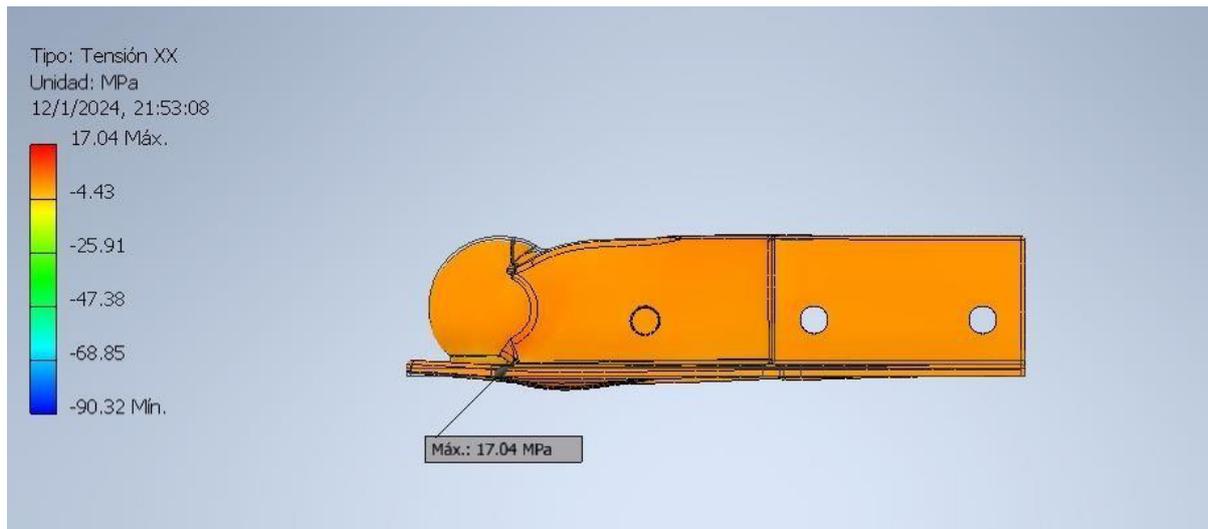
Otra situación para tener en cuenta que el valor de referencia que se tomó está sobredimensionado por el motivo que en caso de volcamiento del remolque sumado a la de la carga que este contenga debería la simulación dotar de esta información para poder saber hasta qué punto la estructura entraría a soportar este tipo de carga o el de sufrir deformaciones ya sea elástica, plástica o en qué punto llegaría a alcanzar una fallo o más conocido como una deformación de punto de quiebre. Otro aspecto para tomar en cuenta que este elemento posee una función de ser un nexo entre el remolque y el vehículo.

Figura 47

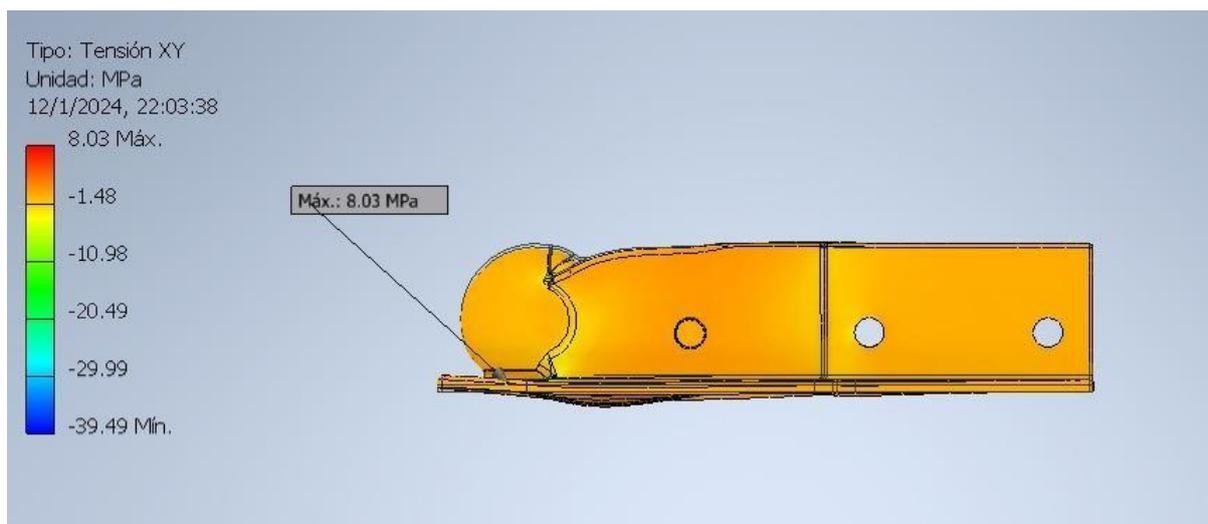
Análisis de Esfuerzos Generales



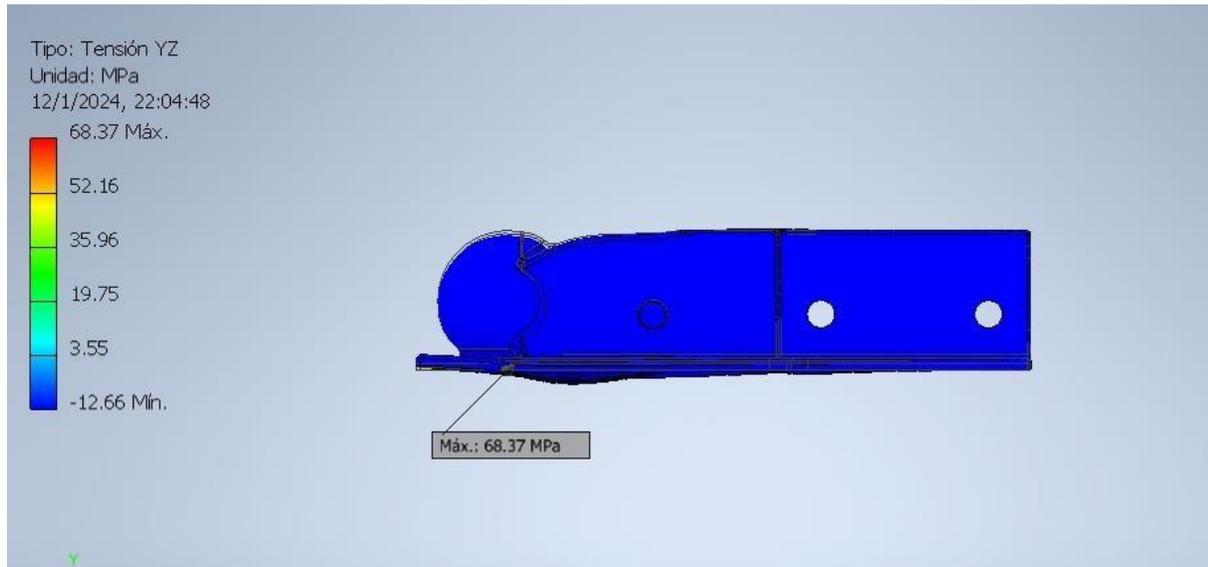
En el plano XX se refleja en la Figura 48 una menor concentración de esfuerzos en el cual su mayor concentración se aprecia en la parte superior de la pieza donde actúa un perno, donde el valor de esfuerzo medio de 17.04 MPa resultaría ser un menor esfuerzo al cual está sometido en este plano de referencia.

Figura 48*Análisis de Esfuerzos Generales en Plano XX*

En el plano referencial XY que se ve en la Figura 49 se observa que su esfuerzo máximo promedio disminuye y el valor de concentración mayor se halla en la parte superior frontal del componente.

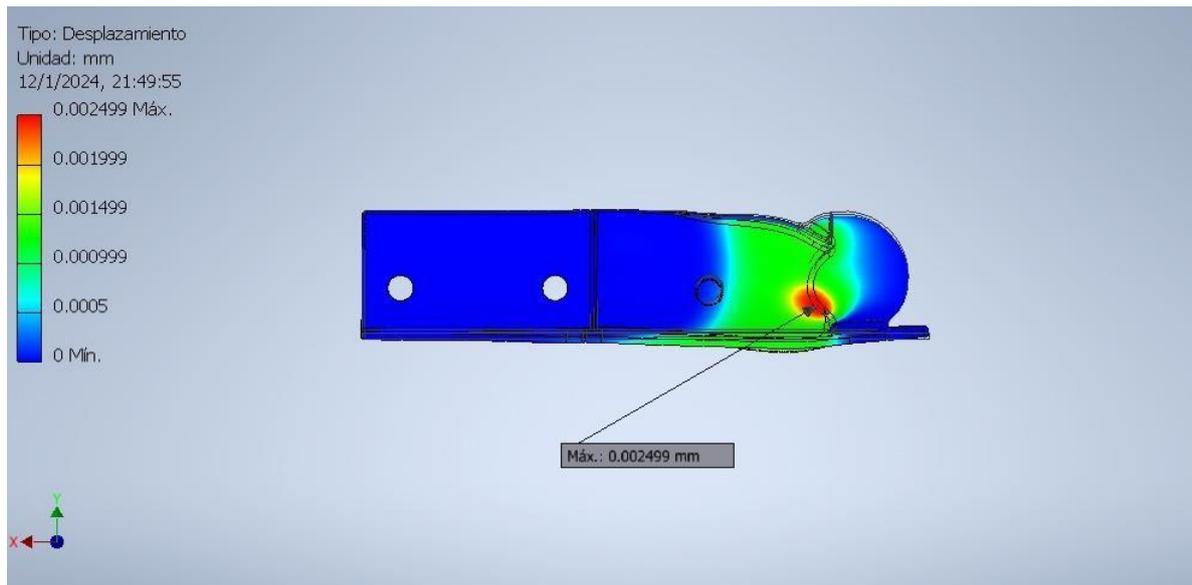
Figura 49*Análisis de Esfuerzos Generales en Plano XY*

En el plano YZ que se muestra en la Figura 50 se analizó y se observa que aumenta de forma considerable el esfuerzo, pero sin superar el límite elástico del material por el cual su esfuerzo se lo considera de óptimo al que está trabajando el componente.

Figura 50*Análisis de Esfuerzos Generales en Plano YZ***4.1.4. Desplazamiento**

Al aplicar la carga al enganche se desplaza hacia abajo una distancia de 0.003 mm por la carga de momento que está efectuando, la cual hace que el componente tenga un ligero desplazamiento mínimo debido a que no sobrepasa la cantidad exuberante para este tipo de análisis y existe un desplazamiento mínimo que en este caso va a ser un valor casi despreciable en la parte que va a estar sujeta por los pernos y adicional que esta restricción no está permitiendo que exista un desplazamiento mayor por la sujeción que existe. Ver Figura 51.

Así mismo al realizar el análisis del desplazamiento en cuanto a la forma se puede observar que estructuralmente el refuerzo que se genera viene dado por la forma del enganche por el motivo que al ser una estructura en forma de “U” invertida es de menor resistencia tendría hacia la parte superior y su comportamiento se expresa al deformarse de forma contraria produciéndose la deformación generada por los esfuerzos y esta se presenta en una dirección hacia abajo del extremo que va en anclaje esférico.

Figura 51*Desplazamiento***4.1.5. Factor de Seguridad**

Los resultados de la simulación estructural del anclaje de remolque arrojan un valor de 1.46 ul. Sin embargo, es crucial destacar que este resultado se encuentra significativamente por encima del umbral aceptable, el cual debe ser superior a 1 para garantizar la seguridad y eficiencia del anclaje. Esta disparidad indica una preocupante falta de resistencia estructural, lo que podría comprometer la funcionalidad y la integridad del anclaje durante su uso. Es esencial revisar y ajustar el diseño o los materiales utilizados en el anclaje para mejorar su desempeño y asegurar que cumpla con los estándares de seguridad requeridos.

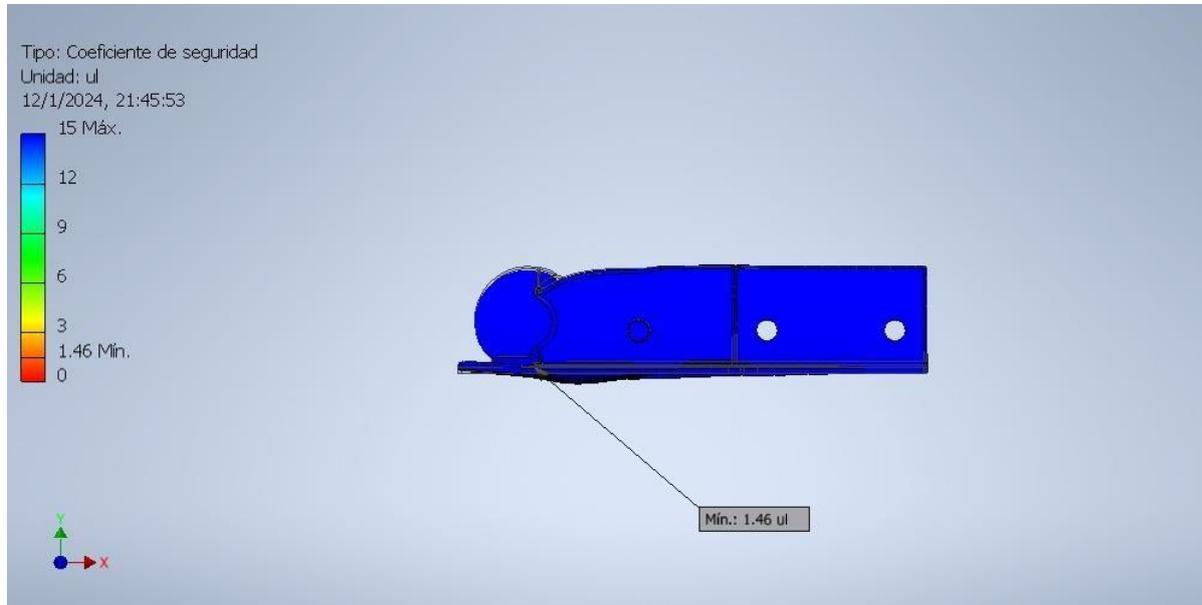
Sin embargo, es esencial evaluar otros factores como las especificaciones del material, el entorno de aplicación y posibles incertidumbres en la simulación para una comprensión completa de la robustez del anclaje. Aunque, se recomienda realizar un análisis detallado para confirmar la confiabilidad y seguridad del diseño.

Cabe aclarar que se respetó el valor arrojado por la simulación y teniendo en cuenta que el valor de ingreso del momento fue considerado elevado dándole de esta manera una

sobrecarga a la estructura, por lo que con lo obtenido se puede observar y analizar el porqué de este comportamiento en el estudio.

Figura 52

Factor de Seguridad



Conclusiones

Se analizó el comportamiento de la estructura de un sistema de enganche en un remolque automotriz por medio de simulación bajo el método de elementos finitos del Software Autodesk Inventor.

Se definió la geometría y propiedades de materiales iniciales del sistema de enganche de remolque, determinando que el acero al carbono era el material ideal para su fabricación y que su masa no supere los 255 kg para el rendimiento del enganche, debido a que el análisis indica un factor de seguridad de 1.46, lo cual se considera un valor óptimo para las cargas que está trabajando.

Se realizó un análisis al detalle de las condiciones de contorno y cargas que influyen sobre el enganche del prototipo propuesto, así como también se determinó en el cálculo de peso un valor de 3678.75 N y un momento positivo de 6621.75 Nm.

Se generó un modelo 3D de optimización topológica y elementos finitos de un sistema de enganche de remolque con el manejo del Software Autodesk Inventor, para comprender su desplazamiento y esfuerzos generales en los planos donde representan valores muy por debajo del límite de esfuerzo máximo de Von Mises esto es por los planos que actúan en las caras principales del componente son valores considerables, pero no afectaran el comportamiento drástico del componente.

Se obtuvo que el componente al aplicar diferentes cargas que genera momento en sus caras y el centro de gravedad trabaja de manera óptima con un factor de seguridad mayor a 1, lo cual representa una confiabilidad en el componente y buen desempeño debido a que acorde al análisis puede soportar bien las cargas siempre y cuando no exceda el límite elástico del material.

Se determinó que el valor del desplazamiento es un valor bajo que no logra superar un límite de 1 mm por el cual el componente trabajará de manera óptima sin presentar riesgos de alguna fractura.

Recomendaciones

Se recomienda que, para trabajos técnicos, se trabaje basándose en información del fabricante de enganches ya existentes en el mercado para poder obtener una visión general y poder reconstruir en base a las necesidades requeridas.

Se sugiere que futuras tesis sean como la adjunta donde se observe ejercicio técnico, informático, desarrollativo y de complemento real porque así se podrá observar la capacidad de la persona para diseñar y crear elementos basados en técnicas y no experimentos de prueba y error.

Dictar cursos de manejo de Softwares CAD y CAM para transformar diseños planos en diseños 3D donde se pueda realizar pruebas técnicas, análisis de materiales, cargas, resistencias, esfuerzos, entre otros similares.

Dictar cursos sobre materiales utilizados en el campo automotriz e industrial, para conocer sus usos, orígenes, aleaciones, entre otros.

Bibliografía

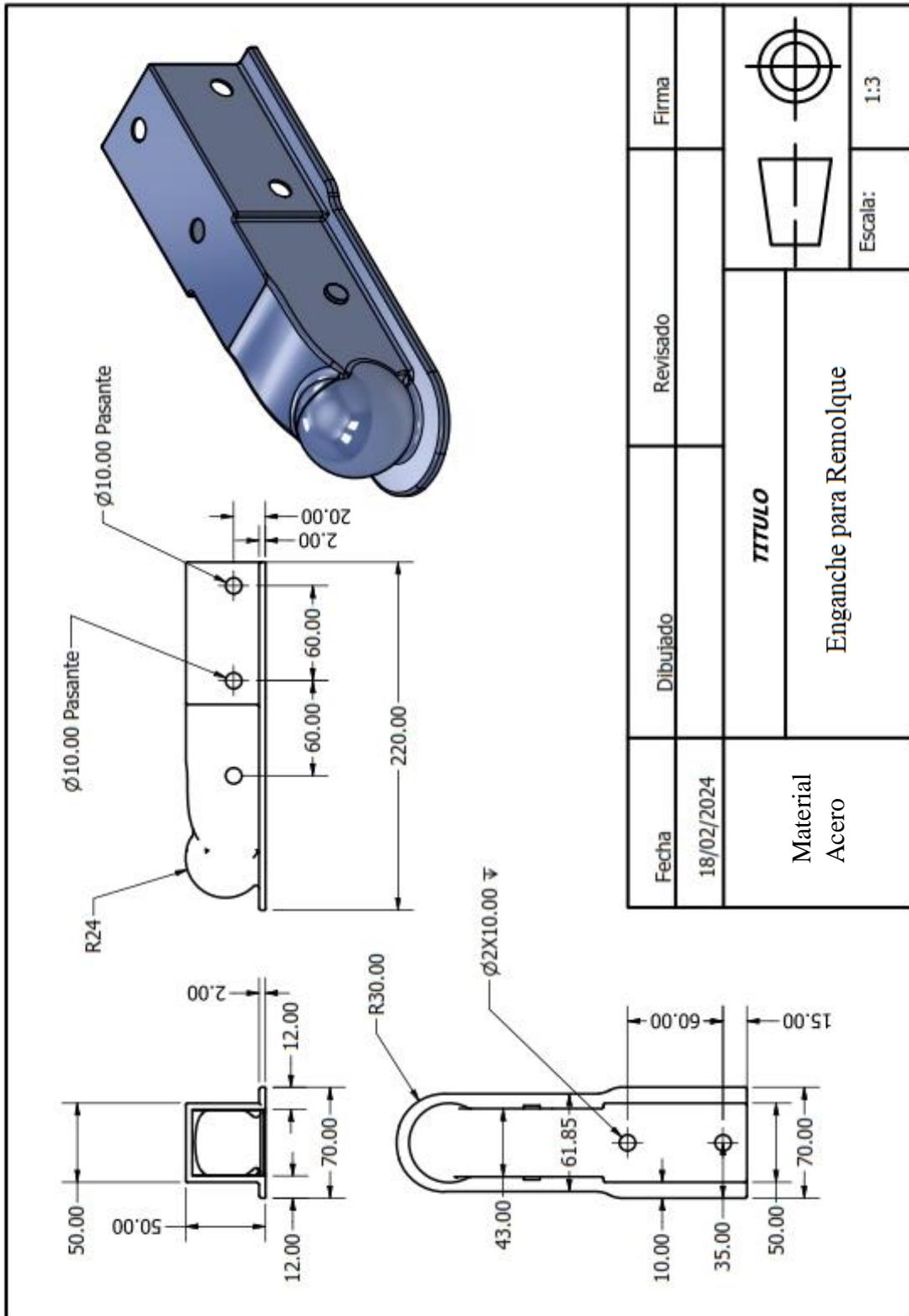
- Andueza, L. (21 de Septiembre de 2015). Autodesk Fusion 360: Análisis de Esfuerzos. Obtenido de <http://dimcad3d.com/2015/09/21/fusion360-fem/>
- Ashby, M. F. (2000). *Material Selection in Mechanical Desing. Butterworth Heinemann.* Obtenido de http://www.utc.fr/~hagegebe/UV/MQ12/CORRECTIONS_TD/%5BASHBY99%5D%20-
- Autodesk Support. (8 de Octubre de 2023). Como refinar la malla en los nodos seleccionados en robot structural analysis. Obtenido de <https://www.autodesk.es/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/ESP/How-to-refine-mesh-in-selected-points-in-Robot-Structural-Analysis.html>
- Frausto-Robledo, A. (26 de Mayo de 2022). Autodesk AutoCAD 2023 — AI, Upskilling Users and Performance. Obtenido de <https://architosh.com/2022/05/autodesk-autocad-2023-ai-upskilling-users-and-performance/>
- Gonzalez Herrera, E. (2018). *Análisis estructural de un sistema de enganche de remolque automotriz mediante el método de elemento finito.* México.
- Piña Feijoo, R. A. (2021). Diseño y construcción de un remolque utilitario para vehículo monoplaza de karting. Guayaquil.
- Proaño Recalde, F. X., & Yépez Moran, E. M. (2022). Diseño y construcción de un remolque de mantenimiento para el club de automovilismo UTN Racing Team. Ibarra.
- protocad3d. (2017). Cómo hacer soldaduras con Autodesk Inventor. Obtenido de <https://www.protocad3d.com/2017/02/como-hacer-soldaduras-con-autodesk.html>
- Tavera, B. (7 de Septiembre de 2023). Aplicación de Autodesk Robot Structural Analysis y Revit para Proyectos Estructurales. Obtenido de <https://www.inesa->

tech.com/blog/aplicacion-de-autodesk-robot-structural-analysis-y-revit-para-proyectos-estructurales/

Vera, E. (2017). *Propuesta de diseño ergonómico en butacas de vehículos monoplaça, para equipos ecuatorianos participantes de la Formula Student*. Quito: UISEK.

Anexos

Anexo 1.- Planos del Elemento de Enganche de Remolque



Anexo 2.- Planos de Elementos de Sujeción del Enganche de Remolque

