## Universidad Internacional del Ecuador



Facultad de Ingeniería en Mecánica Automotriz

Proyecto de grado para la obtención del Título de Ingeniería en Mecánica Automotriz

Análisis de estrés a un acero de alta resistencia para la industria automotriz en la integridad estructural de un chasis.

Leonardo Andrés Parrales Hernández

Director: Ing. Virgilio Ramos. MsC

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

**CERTIFICADO** 

Ing. Virgilio Ramos

**CERTIFICA** 

Que el trabajo de "Análisis de estrés a un acero de alta dureza para la industria automotriz en la

integridad estructural de un chasis", realizado por la estudiante: Leonardo Andrés Parrales

Hernández ha sido guiado y revisado periódicamente, cumpliendo las normas estatuarias

establecidas por la Universidad Internacional del Ecuador, en el Reglamento de Estudiantes.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación

de conocimientos y al desarrollo profesional, si recomiendo su publicación. El mencionado trabajo

consta de un empastado que contiene toda la información de este trabajo. Autoriza el señor:

Leonardo Andrés Parrales Hernández que lo entregue a biblioteca de la facultad, en calidad de

custodia de recursos y materiales bibliográficos.

Guayaquil, septiembre del 2018

Ing. Virgilio Ramos

Director de Proyecto

i

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN Y ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD

Yo, Leonardo Andrés Parrales Hernández, 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.

Leonardo Andrés Parrales Hernández

CI: 0950061127

ii

### **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios por darme las oportunidades y las gratas experiencias de compartir una vida con salud, y seres queridos, también por la fuerza y el apoyo que me ha brindado en los obstáculos y en los momentos más difíciles.

Dedico este trabajo a mis padres, Cristian Parrales y Tania Hernández, quienes han sido incondicionales conmigo, y me han apoyado de todas las maneras posibles, que detrás de cada logro ellos han estado atrás mío, dándome su apoyo, su fuerza, su amor sin medida.

A mi hermano Cristian, quien me ha mostrado su apoyo, no solo como hermano, como amigo, que ha estado conmigo en toda mi vida académica.

A quien fue mi centro de luz y de mi alma e inspiración quien estuvo presente desde el principio de mi vida universitaria, Ninoska, que demostró tener un amor cálido, inspirador, fruto de nuestro inmenso amor nuestro hijo Alejandro quien me ha acompañado los últimos 3 años de esta travesía y me ha enseñado que no hay amor más grande en este mundo que el de la Familia.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, a mis padres, a mi hermano, a los compañeros y amistades que se formaron dentro de esta etapa de formación profesional, quienes en las adversidades han brindado su apoyo.

Agradezco por los Docentes, Tutores, que no solamente han sido encargados de dirigir materias y conocimiento, las experiencias y recomendaciones y la grata amistad profesional son cosas que tienen un valor incalculable.

A mi Director Académico, Profesor, Tutor quien ha impartido conocimiento y experiencias no solo del mundo automotriz, sino de la vida como guía, como un padre.

# ÍNDICE

CERTIFICADO	i
CERTIFICACIÓN Y ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	XV
CAPÍTULO I	1
ANTECEDENTES	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivos de la investigación	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Justificación y delimitación de la investigación	4
1.3.1. Justificación teórica	4
1.3.2. Justificación metodológica	4
1.3.3. Justificación práctica	4
1.3.4. Delimitación de contenido	5
1.4. Marco metodológico	5
1.4.1 Método de investigación	5
1.5. Variables de la investigación	6

	1.5.1. Variable dependiente	6
	1.5.1. Variable independiente	6
	1.5.2. Operación de variables	6
(	CAPÍTULO II	7
	MARCO TEÓRICO	7
	2.1. Aceros	7
	2.1.1 Aceros de alta resistencia	8
	2.1.2 Aceros en la industria automotriz.	9
	2.2. Tipos de acero de alta resistencia	11
	2.2.1 Acero de fase doble	11
	2.2.2. Aceros de plasticidad inducida por transformación	13
	2.2.3. Aceros de baja aleación y alta resistencia	13
	2.3. Propiedades de los aceros de alta resistencia	14
	2.2.2. Limite elástico	16
	2.2.3. Tensión de rotura	17
	2.2.4. Coeficiente de Poisson	17
	17	
	2.3. Elección de acero para la simulación	18
	2.4. Software de ingeniería y diseño automotriz 3D	18
	2.5. Software CAD	20
	2.5.1 AutoCAD	21
	2.5.2. Barra de título AutoCAD	22
	2.5.3. Cinta de opciones	22
	2.5.4. Grupos de herramientas	22
	2.5.5. Área de trabajo Gráfica	23

2.6. SolidWorks	24
2.6.1. Interfaz Gráfica de SolidWorks	25
2.6.2. Panel de tareas de SolidWorks	26
2.7. Abaqus CAE	27
2.7.1. Interfaz gráfica Abaqus	27
2.7.2 Análisis por elementos finitos en Abaqus CAE	28
2.7.3. Resolución de problemas mecánicos en Abaqus	29
2.8. Chasis Grand Cherokee	30
CAPITULO III	32
MODELADO DEL CHASIS POR CAD	32
3.1. Planos del chasis	32
3.2. Importar planos a AutoCAD	36
3.3. Función transparencia AutoCAD	39
3.4. Importación de planos a SolidWorks	43
3.5. Extrusión de los planos laterales en SolidWorks	44
3.6. Extruir cortes en SolidWorks	45
3.7. Vistas finales del chasis generado por CAD	46
CAPITULO IV	49
ANÁLISIS DE ESTRÉS ESTÁTICO	49
4.1 Identificación de cargas a las que está sometido el chasis	49
4.2. Propiedades mecánicas Acero HSLA 350/450	51
4.3. Ecuación de factor de seguridad	51
4.4. Ecuación Von mises	52
4.5. Simulación SolidWorks	53
4.5.1 Resultados de estrés estático en SolidWorks	56

4.6. Simulación Abaqus	58
4.5.1. Creación del material	58
4.5.2. Propiedades del Solido	59
4.5.3. Propiedades del análisis	59
4.5.4. Selección de cargas sobre el chasis	60
4.5.5. Selección de mallado en Abaqus	62
4.5.6. Selección de límites condicionales	63
4.5.7. Ejecución de la simulación	63
4.5.8. Resultados	64
CAPITULO V	67
ANÁLISIS DE RESULTADOS	67
5.1. Tabulación de resultados SolidWorks y Abaqus	67
CAPÍTULO VI	71
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
6.1. Conclusiones	71
6.2. Recomendaciones	73
ANEXOS	75
BIBLIOGRAFÍA	76

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de Acero	7
Figura 2. Aceros en el chasis de un Grand Cherokee	10
Figura 3. Estructura de un Acero de Fase Doble.	11
Figura 4. Estructura de un Acero de Fase Doble.	12
Figura 5. Estructura de un Acero	13
Figura 6. Acero HSLA bajo el microscopio	14
Figura 7. Carrocería automotriz con láminas de acero	15
Figura 8. Ensayo de tracción a una lámina de acero	16
Figura 9. Gráfica del coeficiente de Poisson	17
Figura 10. Planos de biela	19
Figura 11. Análisis por estrés en SolidWorks	20
Figura 12. Pantalla con elementos de AUTOCAD	21
Figura 13. Cinta de opciones de AUTOCAD	22
Figura 14. Sub menú de opciones de la función Arco	23
Figura 15. Área de trabajo gráfico en AutoCAD.	24
Figura 16. Modelados 3D de figuras básicas en SolidWorks	25
Figura 17. Barra de funciones y comando en SolidWorks	26
Figura 18. Panel de tareas en SolidWorks	26
Figura 19. Elementos de geometría básica en Abaqus CAE.	27
Figura 20. Panel de tareas de Abaqus CAE.	28
Figura 21. Ejemplos de simulación en Abaqus CAE	29
Figura 22. Representación gráfica de los procesos en Abaqus CAE.	30
Figura 23. Todoterreno Grand Cherokee 2001-2013	31
Figura 24. Vistas laterales del Todoterreno Grand Cherokee 2001-2013	32
Figura 25. Vistas Superior del Todoterreno Grand Cherokee 2001-2013	33
Figura 26. Vistas Superior del Todoterreno Grand Cherokee 2001-2013	33
Figura 27. Vistas Superior del Todoterreno Grand Cherokee 2001-2013	34
Figura 28. Vistas Superior del Todoterreno Grand Cherokee 2001-2013	34
Figura 29. Vistas Superior del Todoterreno Grand Cherokee 2001-2013	35
Figura 30. Vistas Superior del Todoterreno Grand Cherokee 2001-2013	35

Figura 31. Importación de archivos para planos de trabajo en AutoCAD	36
Figura 32. Vista frontal del "Blueprint" en AutoCAD.	37
Figura 33. Vista frontal en formato DWG de trabajo en AutoCAD.	37
Figura 34. Vista lateral en formato DWG de trabajo en AutoCAD	38
Figura 35. Vista superior en formato DWG de trabjo en AUTOCAD	38
Figura 36. Opción modificar la transparencia del plano del vehículo en AutoCAD	39
Figura 37. Activación de comando de transparencia en AutoCAD.	39
Figura 38. Vista frontal del plano de AutoCAD.	40
Figura 39. Vista superior del plano de AutoCAD.	40
Figura 40. Vista lateral del plano de AutoCAD	41
Figura 41. Fusión de vistas del plano lateral en AutoCAD.	41
Figura 42. Fusión de vistas del plano posterior en AutoCAD.	42
Figura 43. Fusión de vistas del plano superior en AutoCAD.	42
Figura 44. Importación de planos de AutoCAD a SolidWorks	43
Figura 45. Función de extruir en AutoCAD.	44
Figura 46. Plano extruido en AutoCAD.	44
Figura 47. Selección de plano para cortar material.	45
Figura 48. Material cortado en AutoCAD.	45
Figura 49. Vista Frontal en SolidWorks	46
Figura 50. Vista lateral en AutoCAD.	47
Figura 51. Vista superior en AutoCAD.	47
Figura 52. Vista Isométrica en AutoCAD.	48
Figura 53. Plano de esfuerzos con su medida y ubicación sobre el chasis	50
Figura 54. Asistente para análisis "Simulation Express".	53
Figura 55. Sujeción de geometría fija en la cara de un eje del chasis	54
Figura 56. Colocación de los esfuerzos basados en la Carrocería central	55
Figura 57. Ejecución del mallado para la posterior ejecución del análisis	55
Figura 58. Vista Isométrica de Análisis de estrés estático.	56
Figura 59. Vista Lateral de Análisis de estrés estático	56
Figura 60. Tercera Vista Isométrica de Análisis de estrés estático	57
Figura 61. Cuarta vista isométrica de Análisis de estrés estático	57

Figura 62. Menú de propiedades Abaqus CAE.	58
Figura 63. Propiedad homogénea en Abaqus CAE.	59
Figura 64. Modulo Step en Abaqus CAE.	60
Figura 65. Nodos y mallado para la simulación de estrés estático en Abaqus CAE	6
Figura 66. Delimitación y selección de cargas sobre el chasis.	61
Figura 67. Relación de nodos para el mallado.	62
Figura 68. Recuadro del tipo de limite condicional a seleccionar	63
Figura 69. Módulo de trabajo previo a la simulación	64
Figura 70. Resultado de la simulación de estrés estático en Abaqus CAE.	64
Figura 71 Vista isométrica de la representación gráfica de la simulación de estrés estático	65
Figura 72. Segunda vista isométrica de la gráfica de la simulación de estrés estático	65
Figura 73. Vista frontal de la representación gráfica de la simulación de estrés estático	66
Figura 74. Segunda vista frontal de la gráfica de la simulación de estrés estático	66

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operación de variables de la investigación	6
Tabla 2. Propiedades Mecánicas del Acero seleccionado	18
Tabla 3. Elementos del automóvil que ejercen cargas sobre el chasis con sus respectivo pe	so49
Tabla 4. Acero de alta Resistencia HSLA 350/450	51
Tabla 5. Cargas para el análisis de estrés estático en SolidWorks	54
Tabla 6. Comparativa de parámetros de simulación en SolidWorks Y Abaqus	68
Tabla 7. Comparativa de Tensión máxima	68
Tabla 8. Factor de Seguridad en cada sección.	69

# ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Coeficiente de seguridad	51
Ecuación 2. Tension Von misses	52

**RESUMEN** 

El presente trabajo pretende impulsar la selección de nuevos materiales para aplicaciones en

la industria automotriz como la seguridad, la nueva era ecológica, fabricación, durabilidad y calidad

entre muchas otras. En el campo automotriz como en cualquier otro tipo de industria, el costo es

extremadamente importante en la implementación de materiales para la fabricación de elementos

automotrices. Uno de los objetivos principales de el avance tecnológico automotriz es el de reducir

el peso global de los vehículos, sin sacrificar la integridad estructural en cuanto a factores de

seguridad. La manufacturación es un proceso que implica investigar en muchos campos, uno de

los desarrollos más grandes actuales son los ambientes de simulación de materiales puestos a

prueba a diferentes parámetros físicos.

El análisis usando un motor de trabajo como CAD (COMPUTER AIDED DESIGN), y el uso

de motores de simulación como el que nos ofrece SolidWorks. Nos permite tener un concepto claro

de las capacidades del material y el elemento sobre el cual se van a realizar pruebas estáticas o

dinámicas, con lo cual considerar HSS (HIGH STRENGTH STEELS) para la industria automotriz

resulta en ventajas de tanta durabilidad, calidad sin afectar los costos de fabricación, en parte

porque la amplia gama de grados de aceros permite flexibilidad de diseño. Poner en práctica la

fabricación de elementos automotrices como chasis en acero más resistente permite a los ingenieros

utilizar acero más delgado.

Palabras clave: CAD, acero, simulación, automotriz.

xiv

**ABSTRACT** 

The present work aims to promote the selection of new materials for applications in the

automotive industry of which we have security, the new ecological era, manufacturing, durability

and quality among many others. In the automotive field as in any other type of industry, the cost is

extremely important in the implementation of materials for the manufacture of automotive

elements. One of the main objectives of automotive technological progress is to reduce the overall

weight of vehicles, without sacrificing structural integrity in terms of safety factors. Manufacturing

is a process that involves research in many fields, one of the biggest developments today are the

simulation environments of materials tested to different physical parameters.

The analysis using a working engine such as CAD (COMPUTER AIDED DESIGN), and the

use of simulation engines such as the one offered by SolidWorks. It allows us to have a clear

concept of the capabilities of the material and the element on which they are going to perform static

or dynamic tests, with which to consider HSS (HIGH STRENGTH STEELS) for the automotive

industry results in advantages of so much durability, quality without affect manufacturing costs, in

part because the wide range of steel grades allows for design flexibility. Putting into practice the

manufacture of automotive elements as a more resistant steel chassis allows engineers to use

thinner Steel.

Keywords: CAD, steel, simulation, automotive.

XV

## **CAPÍTULO I**

### **ANTECEDENTES**

### 1.1.Planteamiento del problema

El desarrollo, la innovación y la mejora continua tecnológica es algo que está presente en todas las industrias, la industria automotriz siempre está en constante mejora de eficiencia energética, en conjunto de la búsqueda de mejores materiales para la fabricación de elementos automotrices.

El conocimiento va de la mano con la tecnología y el desarrollo, actualmente el Ecuador cuenta con una gran variedad de vehículos a la venta, su parque automotor tiene desde vehículos que son ensamblados con parte manufacturadas localmente, con lo cual el uso de aleaciones de baja densidad por su costo y bajo peso sin perder integridad estructural es el pro de los avances en materiales de fabricación dentro del mundo automotriz en general.

Todo desarrollo y avance trae consigue la necesidad de conocimiento y por ende el avance en cuanto a estudio de materiales que ofrezcan una integridad estructural similar o superior en comparación a las aleaciones y materiales típicos que se usan para el chasis de los vehículos.

La temática de la preservación del medio ambiente, más las políticas de seguridad en el automóvil motiva a la industria automotriz a realizar avances lo cual este proyecto motiva a entender y facilitar la importancia de las nuevas tecnologías en cuanto al proceso de selección de materiales para la construcción de elementos en la industria automotriz.

El chasis es la parte más importante del vehículo, soporta desde elementos como el motor, sistemas de dirección, suspensión, entre muchos otros, ya que tiene que resistir cargas, vibraciones, torsiones, en las cuales intervienen mucho las propiedades del material que va a ser usado para la fabricación de este elemento este elemento.

En este caso la simulación de pruebas y procesos de estrés físicos van en un entorno virtual, dentro del motor de simulaciones de SolidWorks, y cabe recalcar que el objetivo no se trata de un análisis enfocado a un diseño de chasis el cual fue modelado en AutoCAD a partir de planos en 2D, en específico, sino más bien de demostrar la factibilidad del uso de un acero de alta resistencia en cuanto a factores de pruebas de estrés y como se compartan ante estas en un chasis automotriz dentro de un entorno virtual.

El chasis es la parte más importante del vehículo, soporta desde elementos como el motor, sistemas de dirección, suspensión, entre muchos otros, ya que tiene que resistir cargas, vibraciones, torsiones, en las cuales intervienen mucho las propiedades del material que va a ser usado para la fabricación de este elemento este elemento

La inclusión de las normativas que se pretenden abarcar en conjunto con los siguientes objetivos que van acorde a las líneas de investigación de la Universidad Internacional del Ecuador son:

Innovación tecnológica, modelación y simulación de procesos.

Incluido a esto, también se busca tener en cuenta a los siguientes objetivos del Plan Nacional de desarrollo 2017 – 2021 Toda una vida.

Objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones.

• Dar a conocer las ventajas y el bajo impacto al medio ambiente a través de su uso.

Objetivo 5: Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria.

Como meta del objetivo 5 podemos establecer:

• Mejorar el Índice de Productividad Nacional a 2021.

## 1.2. Objetivos de la investigación

## 1.2.1. Objetivo General

Análisis de estrés a un acero de alta dureza para la industria automotriz en la integridad estructural de un chasis, a través de SolidWorks.

## 1.2.2. Objetivos específicos

- Analizar el acero como elemento principal de composición de un chasis automotriz.
- Identificar la composición y las propiedades mecánicas que posee el acero HHS.
- Realizar las pruebas de estrés del chasis en SolidWorks y Abaqus.

## 1.3. Justificación y delimitación de la investigación

## 1.3.1. Justificación teórica

En la investigación y posterior análisis se basa en la necesidad de buscar materiales que puedan sustituir a los que convencionalmente se usan para la manufactura de elementos en la industria automotriz.

## 1.3.2. Justificación metodológica

En este tipo de proyecto la metodología será de índole cuantitativa debido a que la recopilación de información y conocimiento será a través de manuales y datos posteriores de las pruebas de estrés.

## 1.3.3. Justificación práctica

La simulación a través de elementos finitos permite realizar pruebas en un chasis compuesto de acero AHHS con lo cual se podrá identificar la integridad estructural y viabilidad como posible material de manufacturación en la industria automotriz.

### 1.3.4. Delimitación de contenido

Se usará libros, manuales, artículos científicos cuyo contenido será de propiedades, composición del acero, en conjunto con información necesaria para el análisis de esfuerzos realizados en CAD y SolidWorks.

## 1.4. Marco metodológico

## 1.4.1 Método de investigación

Para esta investigación se aplicará un método investigativo de tipo cuantitativo en el cual se recopilar la información de manuales, simulaciones, planos en relación tanto a materiales como los aceros convencionales y la capacidad de personalizar las propiedades de nuevos materiales.

Esta será recolectada de forma cuantitativa a través de los análisis hechos en la estructura, a través de las simulaciones de esfuerzos dinámicos y estáticos.

A lógica y criterio del autor se resumirá la información más importante y el posterior análisis de la integridad estructural del chasis.

# 1.5. Variables de la investigación

# 1.5.1. Variable dependiente

Análisis de estrés de acero de alta dureza para la industria automotriz en la integridad estructural de un chasis, a través de SolidWorks.

# 1.5.1. Variable independiente

Parámetros y resultados de la simulación.

Conocimientos necesarios para el análisis de los resultados de las simulaciones.

# 1.5.2. Operación de variables

Tabla 1. Operación de variables de la investigación

Variable	Tipo de variable
Análisis de estrés de acero de alta dureza para la industria automotriz en la integridad estructural de un chasis, a través de SolidWorks.	Dependiente
Parámetros y resultados de la simulación.	Independiente
Conocimientos necesarios para el análisis de los resultados de las simulaciones.	Independiente

## **CAPÍTULO II**

## MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Aceros



Figura 1. Producción de Acero (American Iron and Steel Institute)

Primero tenemos que definir la conceptualización del acero en su forma más básica, lo podemos definir como " hierro adicionado con carbono en diferentes proporciones, todo comenzó con la producción de fundición en altos hornos, durante finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX el "boom" de la producción acerera ha sido predominante en muchas industrias como, la construcción, aviación, sector alimenticio y el tema que se va a tratar que es el acero en la industria automotriz" (Chang, 2018).

Lo más interesante de este material son sus propiedades tanto físicas como mecánicas que lo vuelven idóneo para la construcción de diversos elementos y partes automotrices, debido a estas prestaciones y su gran gama de variedades es que lo hacen un material predominante en el campo automotriz, el costo por tonelada del acero promedio en láminas es de alrededor de los 700 dólares la tonelada, en mercados internacionales.

#### 2.1.1 Aceros de alta resistencia

La tecnología en materiales avanza a pasos agigantados en ámbitos de ingeniería y diseño en general, en el mundo automotriz la elección de nuevos materiales con el fin de construir piezas, elementos, sistemas es más importante que nunca, cabe resaltar que la búsqueda de materiales más resistentes, menos costosos, y que tengan iguales o superiores propiedades o cualidades físicas que permitan mantener o mejorar la seguridad, ecologismo, fabricación, durabilidad y calidad, con lo cual se debe competir en un mercado de aluminio, magnesio, plásticos entre otros materiales que si bien su costo es igual o menor sus propiedades no son superiores a la de los aceros de alta resistencia.

Afirma "La industria automotriz es altamente competitiva, el acero y materiales de baja densidad han sido puesto bajo un punto de mira, debido a los requerimientos de seguridad y costo también, a medida que la motivación para reducir la masa total de vehículos sin comprometer la seguridad continúa en ascenso" (SHIMIZU Tetsuo, 2013), los grandes fabricantes de automóviles y elementos automotrices buscan maximizar la eficiencia de su selección de materiales teniendo en cuenta la facilidad a la hora de realizar reparaciones de estos elementos.

Antes de la década de 1970, la gran mayoría de vehículos del parque automotor eran hechos de aceros de media dureza y láminas de acero, que permitían una gran capacidad de adoptar formas sin deformarse y una muy fácil separabilidad, después de la crisis de los

combustibles fósiles, nació la necesidad de reducir el consumo de combustible, con esto la reducción del peso de los vehículos, obligaba a los fabricantes usar menos material, es decir laminas y elementos más delgados, pero con la misma resistencia y propiedades que los materiales usados anteriormente.

Fue como nació la época de los diseños ligeros de peso además de agregar componentes sin comprometer la seguridad del usuario y pasajeros, los grandes fabricantes de automóviles están en la constante luchar por reducir el peso y costo de los materiales de elaboración de partes y elementos del automóvil.

Los grupos de desarrollo conformados por ingenieros analizan y estudian las piezas, elementos del vehículo para identificar tanto como oportunidades, maneras e ideas para rediseñar las geometrías dentro de las limitaciones físicas de los materiales. Considerar HSS durante este proceso de optimización puede ser ventajoso, en parte porque la amplia gama de grados permite flexibilidad de diseño. El uso y la implementación de aceros más resistente permite a los fabricantes de automóviles implementar en sus vehículos grosores de aceros cada vez más delgados o de un calibre mucho más reducido que en épocas anteriores, todo esto para fabricar elementos mucho más ligeros sin perder la resistencia o integridad estructural del vehículo y otras propiedades de rendimiento de los materiales.

#### 2.1.2 Aceros en la industria automotriz

Dentro de la industria automotriz el uso de elementos tanto metálicos, no metálicos, plásticos, aleaciones, entre otros, son usados para la elaboración de diferente partes y sistemas del vehículo, el acero es un material de construcción por excelencia , un vehículo promedio,

posee entre 155 y 200 Kilos de acero en diferentes grados, calidades y con diferentes formas y usos, unos en barras, otros en láminas, otros en alambres y la mayor parte de estos intervienen con el corazón de la estructura de un vehículo el chasis el cual dependiendo del fabricante puede estar compuesto por más de un 80 por ciento en acero, hoy en día en la producción y mano facturación de chasis las empresas apuestan por material cada vez más resistentes e igual o menores en costo siempre y cuando no comprometan la seguridad de la estructura.

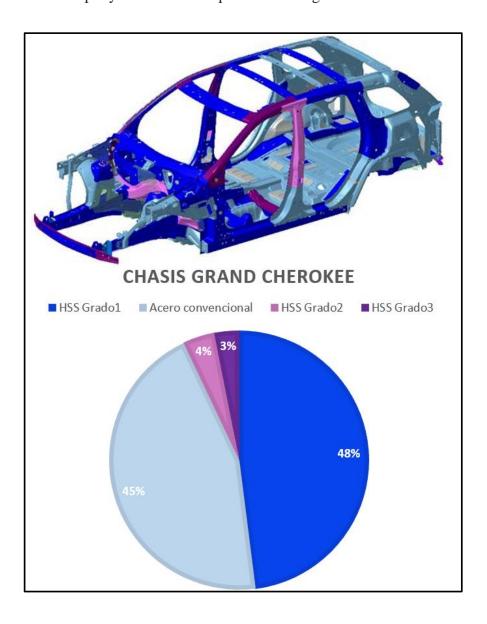


Figura 2. Aceros en el chasis de un Grand Cherokee (2015 Steel Market Development Institute)

Como se puede observar en la figura 2 la composición de un chasis moderno se basa en más de un 55% de aceros de alta resistencia debido a sus propiedades físicas en cuanto a los tipos de esfuerzos que está sometido un chasis, el modelo de chasis pertenece a un Grand Cherokee siendo un vehículo de un sector de gama media alta, en los vehículos de gamas de entrada, aun se observa el uso de un gran porcentaje de materiales convencionales.

## 2.2. Tipos de acero de alta resistencia

#### 2.2.1 Acero de fase doble

Características principales de este grado de aceros es que contienen una composición ferrítica con granos de martensita, los cuales, dependiendo de la proporción de esta, es la dureza final del acero. Para tener este grado la formación de martensita debe estar bajo un estricto monitoreo de enfriamiento de la austenita para su posterior transformación en martensita, el postproceso de mejoramiento de este tipo de aceros es uno de los factores más importantes para obtener la característica de su dureza máxima.

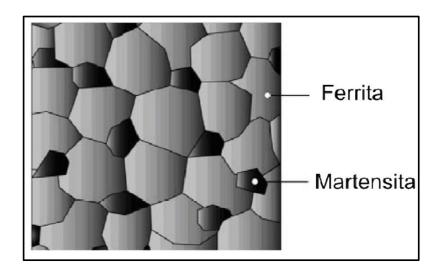


Figura 3. Estructura de un Acero de Fase Doble. (Instituto Internacional de Hierro y Acero)

Esta característica de contener un núcleo y un elemento aislado como la martensita, genera una cualidad muy idónea en este tipo de acero, la ferrita es un elemento que proporciona cualidades de tipos blandas y dúctiles al contrario de la martensita que es la que proporciona la dureza del acero. Como se mencionó anteriormente es muy importante los posts procesos que se lleven a cabo en la producción de este tipo de acero, un ejemplo claro de estos procesos es la cocción ya que va a proporcionar una mayor resistencia a la tracción debido a que se forman otros compuestos que ayudan a mejorar dicha característica

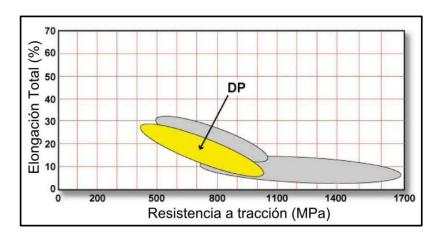


Figura 4. Estructura de un Acero de Fase Doble. (Instituto Internacional de Hierro y Acero)

En la figura numero 4 podemos observar una comparativa entre la resistencia a la tracción con su elongación en porcentaje, con lo cual se aumenta de manera considerable el límite máximo de elasticidad, dentro de elementos que se adicionan a estos tipos de aceros para mejorar su proceso de obtención de martensita esta, el cromo, el molibdeno, vanadio y níquel. El enfoque de los aceros de alta resistencia no está en adicionarse otros metales o elementos, sino que se basa en el control de posproducción, se realizan procesos de mejoramiento de propiedades, como por ejemplo un enfriamiento progresivo, o un enfriamiento abrupto.

## 2.2.2. Aceros de plasticidad inducida por transformación

La configuración de la estructura de los aceros denominados "Trip" es un conjunto donde diferentes etapas de proceso de la ferrita y bainita son las que conforman el núcleo, donde las etapas de la bainita y martensita son las que proveen a este tipo de acero una muy alta resistencia, una comparativa con los aceros de doble fase, es que en las fases o etapas de formación se retiene austenita que también de manera paulatina se transforma en martensita, dando como resultado límites de dureza mucho más altos que el los aceros de doble fase.

Hay que tener muy en cuenta que para que la austenita que esta retenida consecuentemente se convierta en martensita, dependerá principalmente del contenido de carbono.

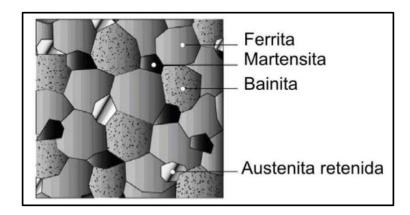


Figura 5. Estructura de un Acero (Instituto Internacional de Hierro y Acero)

## 2.2.3. Aceros de baja aleación y alta resistencia

Anteriormente este tipo de acero tiene más de 50 años de continuo desarrollo y estudio, con lo que sigue siendo de gran importancia dentro de la industria automotriz gracias a su resistencia y soldabilidad, con lo cual le permite a este tipo de acero competir con muchos otros materiales dentro de aplicaciones automovilísticas.

En cuanto a su denominación también se puede referir a ellos como aceros micro aleados y esto se debe a que contienen muy poco de carbono, un nivel medio de magnesio, y una composición relativamente baja de fosforo y sulfuros.

En el proceso de producción de aceros HSLA, lo podemos resumir en cuatro etapas, comenzado por el calentamiento de las barras de acero, llevando a una austenización completa y disolución de contaminantes, después son enrollados a altas temperaturas durante el proceso de desbaste, lo que resulta la recristalización de los granos de austenita grandes, por consiguiente la laminación en caliente seguido por procesos de enfriamiento, los materiales aleados se pueden transformar en nitritos o carburos.

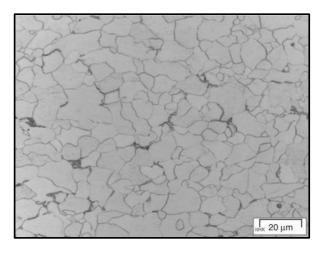


Figura 6. Acero HSLA bajo el microscopio (Materiales estructurales y procesos en transportación)

## 2.3. Propiedades de los aceros de alta resistencia

Las cualidades o propiedades como capacidad de fabricación, durabilidad, calidad, son los principales factores que tienen una gran importancia en la búsqueda de materiales idóneos para la construcción de elementos en la industria automotriz. Para poder enfrentar, resolver estos problemas y desafíos, la industria del acero ha desarrollado una amplia gama de HSS (Aceros

de alta resistencia) con propiedades y cualidades únicas para cumplir con los diversos requisitos de seguridad y resistencia de los diferentes elementos y componentes del vehículo.

A medida que se estudian y analizan materiales alternativos, tales como aluminio, plásticos, aleaciones de magnesio y materiales compuestos para aplicaciones de automoción, que a la final son de baja densidad, es decir, no poseen un a gran medida de peso o volumen, los HSS (High Strength Steel) se están innovando y desarrollando para seguir siendo materiales completamente competitivos.

En mundo dominado por plásticos, y aleaciones de baja densidad, al lograr un equilibrio entre la resistencia, rendimiento y la ductilidad para el proceso de manufacturación, se ha demostrado que los HSS (Aceros de alta resistencia) son efectivos para la mejora simultánea de la resistencia y la reducción de peso sin aumentar el costo, la única gran desventaja es el proceso de fabricación de estos si bien no aumenta el costo, si aumenta los estándares de calidad para la fabricación e implementación de estos aceros.



Figura 7. Carrocería automotriz con láminas de acero (2015 Steel Market Development Institute)

### 2.2.2. Limite elástico

El límite elástico, también conocido como límite de elasticidad, es la fuerza de tensión máxima que un material o elemento puede llegar a resistir sin sufrir deformaciones de manera permanentes. Si el elemento o material llegase a recibir esfuerzos mayores numéricamente a ese límite no recobrara de manera espontánea su contexto y forma estructural original al retirar las cargas o dichos esfuerzos.

El límite elástico es posible analizarlo durante un ensayo de tracción, podemos concluir, que un elemento o pieza sometido a cargas que estén por debajo de su límite de elasticidad es deformado de manera temporal pudiendo recobrar su forma original de acuerdo con lo establecido en la ley de Hooke.



Figura 8. Ensayo de tracción a una lámina de acero (Illinois Tool Works Inc.)

### 2.2.3. Tensión de rotura

Podemos denominar tensión de rotura al esfuerzo máximo que un elemento o pieza puede tolerar bajo este tipo de carga antes de que se contraiga de manera transversal.

Este tipo de relación se logra estudiar realizando una prueba de tracción y anotando la tensión en función de la deformación o su estiramiento propiamente dicho, hay que tener en cuenta que el punto más elevado de la curva tensión-deformación es la tensión de rotura. Es una propiedad que es indiferente del tamaño del elemento a estudiar, este depende de factores, como temperatura, defectos que existan en la estructura o superficie del elemento a estudiar.

### 2.2.4. Coeficiente de Poisson

Esta relación denominada como coeficiente de Poisson representada con esta letra griega Ni (*v*), lo podemos definir como una propiedad única de cada tipo de material isótropo, como lo mencionamos al principio es la relación entre las deformaciones longitudinales que sufre el elemento o pieza en sentido perpendicular a la carga aplicada y las deformaciones longitudinales en dirección de la carga aplicada sobre el mismo.

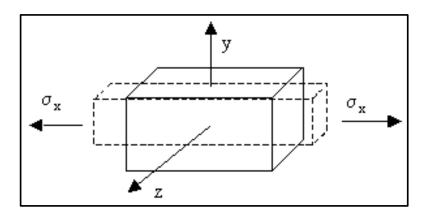


Figura 9. Gráfica del coeficiente de Poisson (Enciclopedia Virtual de Ingeniería Mecánica)

## 2.3. Elección de acero para la simulación

Teniendo en cuenta los conceptos principales de las propiedades mecánicas de un material se procede a seleccionar el acero correspondiente con su grado y denominación en este caso será un acero de grado HSLA 350/450 "High strength low alloy" (Baja aleación de alta resistencia).

Tabla 2. Propiedades Mecánicas del Acero seleccionado (Instituto Internacional de Hierro y Acero)

Denominación	HSLA 350/450
Limite Elástico	350 Mpa
Tensión de Rotura	450 Mpa
Coeficiente de Poisson	0.14
Densidad	7572

## 2.4. Software de ingeniería y diseño automotriz 3D

La tecnología ha revolucionado el mundo de la industria y el de la ingeniería, permitiendo que el diseño y la ingeniería asistida, sean una realidad en los últimos 30 años a nivel general, este tipo de software permite a diseñadores mecánicos la previsualización, estudio y comunicación previo a la manufactura o construcción de un prototipo físico, los ejemplos más claros los encontramos en el diseño de elementos de automóviles, a automóviles en sí mismo, prótesis, mecanismos industriales, etc.

El diseño asistido por ordenador (CAD), básicamente es la implementación y uso de equipos de hardware (equipos físicos como una computadora), con software de diseño ya sea para la representación de objetos, elemento, piezas en planos bidimensionales o tridimensionales (2D o 3D), puede ser usado tanto para efectos especiales en industrias de animación, como el diseño a nivel industrial de ingeniería para el diseño de productos.

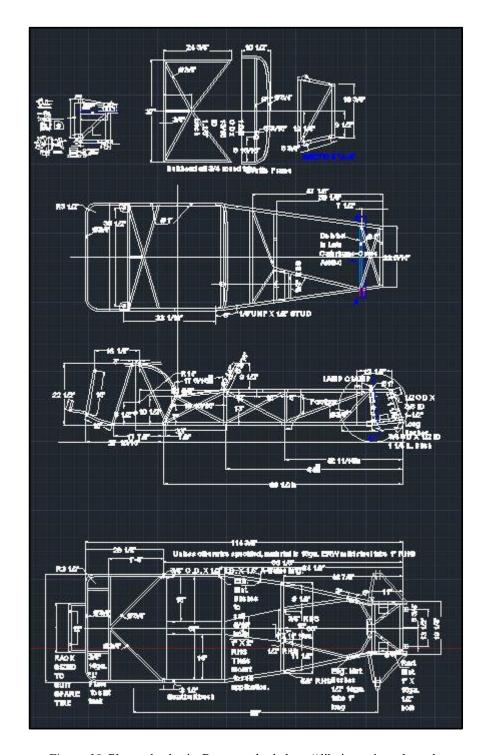


Figura 10. Planos de chasis. Recuperado de http://dibujotecnico.edu.umh.

Posterior al diseño y la construcción del modelado en 3D es necesario el estudio de este diseño ya sea por el análisis de un material, es decir construir el mismo elemento, pero con un

material diferente y ver su comportamiento en cuanto a pruebas de estrés, esfuerzos etc. o focalizarse al diseño y su solidez a la hora de desempeñar la función para la que fue pensado.

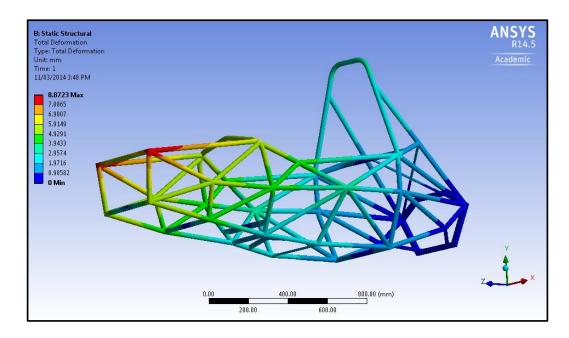


Figura 11. Análisis por estrés en ANSYS (http://arfingenieria.com/ingenieria/simulacion)

### 2.5. Software CAD

Afirma "El Diseño Asistido por Ordenador (DAO), más conocido por sus siglas en ingles CAD (computer aided design), es el uso de un amplio rango de herramientas computacionales que ingenieros, arquitectos y otros profesionales del diseño utilizan en el desarrollo de su trabajo" (Bartolomé López Lucas, 2013), lo que nos quiere decir el autor es básicamente el uso de los programas de diseño tienen una gran importancia en entornos profesionales ya sea para ingenierías, diseñadores gráficos, arquitecturas.

#### 2.5.1 AutoCAD

Para poder comenzar en el mundo de del diseño asistido por computadora es necesario conocer el software que se va a trabajar, es decir las interfases graficas, donde se nos ofrecen las herramientas, area de dibujo, cinta de comandos, accesos directos a diversas funciones como se puede obervar en la siguiente figura, autocad nos ofrece una infinidad de herramientas para el dibujo en 2D e inclusive de diseño asistido por computadora.

En la figura 12 podemos observar el area de trabajo que basicamente ocupa toda la pantalla, la personalización de las herramientas, comandos graficos es util para no saturar la pantalla debido a la cantidad de opciones disponibles.

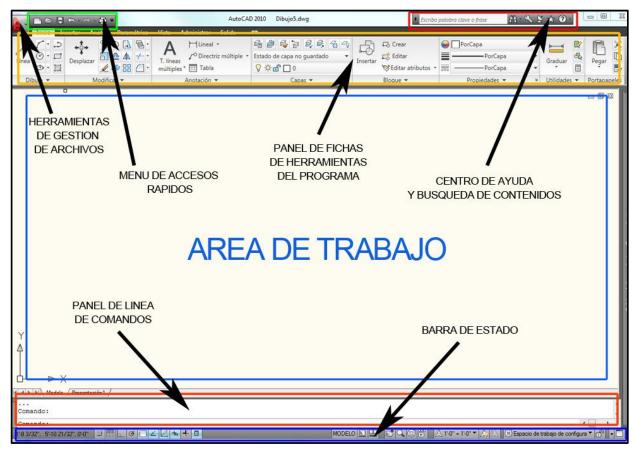


Figura 12. Pantalla con elementos de AUTOCAD. Recuperado de http://www.blogmecanicos.com

#### 2.5.2. Barra de título AutoCAD

Dentro de las interfases graficas a las que se está acostumbrado a trabajar en Windows 10 o la versión de sistema operativo en que se esté operando, se encuentra el nombre de la aplicación junto con el nombre designado por defecto al archivo de dibujo, un ejemplo serio "Dibujo0.Dwg" la terminación "Dwg" hace referencia al formato de extensión que nativamente soporta y genera AutoCAD por defecto.

### 2.5.3. Cinta de opciones

La cinta de opciones se encuentra ubicada a continuación de la barra de título, el fin de esta barra es de proporcionar acceso a una gran cantidad de comandos, con sus respectivas opciones y configuraciones.



Figura 13. Cinta de opciones de AUTOCAD

### 2.5.4. Grupos de herramientas

Dentro de todo programa se usa interfases graficas para facilitar el uso de funciones al usuario sin necesidad de insertar los comandos de manera textual a través del teclado, todas estas opciones se hacen visible al solamente con hacer clic dentro de la función que se escoja, basta con hacer clic y se desplegara un submenú de opciones en caso de que el comando así los disponga, si se coloca el puntero del mouse sobre la función a escoger se desplegar información sobre la función en si dicha, si se presión la tecla de F1 mostrara ayuda más detallada.

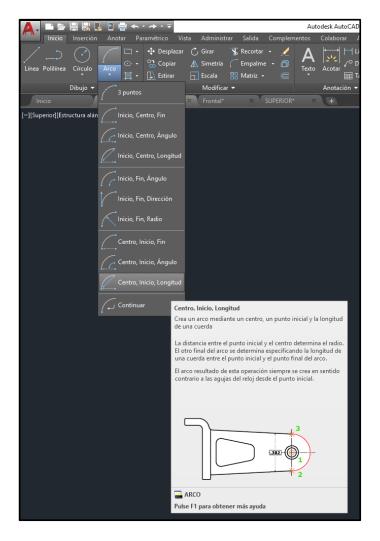


Figura 14. Sub menú de opciones de la función Arco

# 2.5.5. Área de trabajo Gráfica

Es la zona donde se realiza la representación gráfica de un plano de trabajo para los dibujos, trazos, planos o elementos a trabajar en el programa, tiene un fondo por defecto de color oscuro básicamente consta de dos planos de coordenadas X e Y, el cursor tiende a tener una forma de cruz cuando está dentro de esta área, dentro de esta área se encuentra la función de vistas que nos permite cambiar la vista u orientación de donde queramos observar el dibujo u objeto a trabajar, en la parte inferior se encuentra la barra de comandos, la cual está de manera fija, esta nos muestra el comando o función que se está ejecutando o si se requiere de acciones

adicionales, pueden activarse los comandos directamente desde ahí, simplemente escribiendo el nombre completo o su abreviatura, respetando el idioma en que este el programa de AutoCAD.

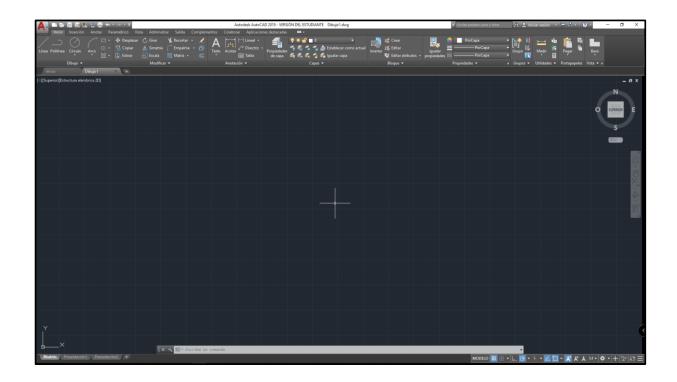


Figura 15. Área de trabajo gráfico en AutoCAD.

### 2.6. SolidWorks

Solid Works es el programa por excelencia en cuando a diseños de ingeniería asistidos por computadora, hay que tener en cuenta la diferencia en modelado y dibujar, esto es porque este programa es uno de los más populares a la hora de virtualizar prototipos en 3D, sus usos dentro de la industria abarcan desde diseños geométricos en entornos casi realistas, de botellas de perfume, hasta partes de una línea de ensamble automotriz, sin necesidad de tenerlo físicamente todo puede ser modelado en este programa, comenzando desde un simple plano en 2D para posteriormente aplicar una serio de procesos y llevarlos a un modelo 3D.

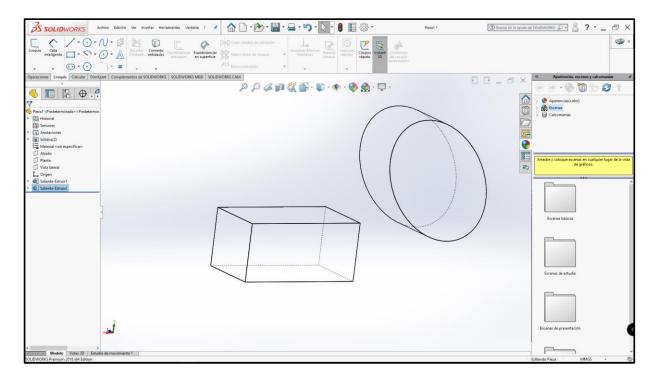


Figura 16. Modelados 3D de figuras básicas en SolidWorks.

## 2.6.1. Interfaz Gráfica de SolidWorks

Es muy importante reconocer los elementos más importantes que nos ofrece SolidWorks en su ventana gráfica, el panel de propiedades, panel de funciones, panel de comandos y las barras de herramientas, donde se acceden a casi todos los comandos en el software.

Una vez claro la ubicación de los elementos de trabajo en SolidWorks, queda a disposición del usuario personalizarlos, ya que, debido a la gran cantidad de ventanas, con herramientas o comandos si disponemos de todas ellas se saturará la pantalla de trabajo.



Figura 17. Barra de funciones y comando en SolidWorks.

### 2.6.2. Panel de tareas de SolidWorks

La interfaz de SolidWorks puede resultar agobiante debido a las múltiples funciones que esta puede incluir, a la vez que puedes acceder a todas estas funciones de manera diferente, ya sea por comando escritos, comando mediante combinaciones de teclas, o accediendo desde el panel de dicha función,

No es necesario tener en cuenta todas las funciones que nos ofrezca SolidWorks, sino que trabajar y aprender de las funciones que vamos a necesitar dependiendo de nuestro tipo de trabajo, si es más estético o es más plano, pero con enfoque de ingeniería en cuanto a funcionalidad del diseño o material requerido.



Figura 18. Panel de tareas en SolidWorks.

## 2.7. Abaqus CAE

Es un software de tipo CAE (Diseño Asistido por Ingeniería) que realiza análisis a través de cálculos por elementos finitos, aplicable a muchas industrias debido a su gran versatilidad, se pueden realizar desde análisis de comportamientos lineales, hasta simulaciones dinámicas de impactos, es decir de conducta no lineal.

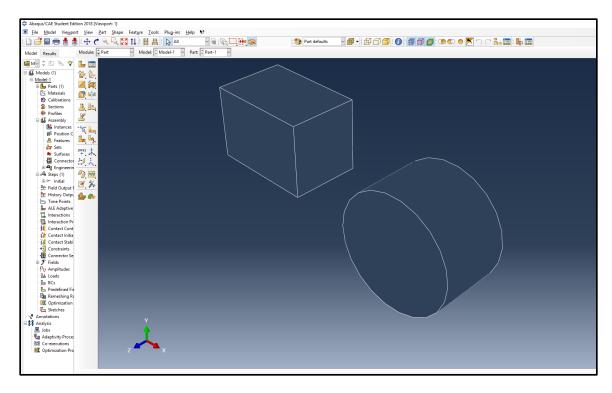


Figura 19. Elementos de geometría básica en Abaqus CAE.

## 2.7.1. Interfaz gráfica Abaqus

Este programa al ser un pre-post procesador tiene una interfaz diferente a las vistas en programas anteriores, incluye similitudes en cuanto a paneles de tareas y herramientas, debido a que integra el modelado, el análisis, la administración y visualización de trabajos en un mismo

ambiente, no es igual a programas que tienen un enfoque de modelado tipo CAD (Diseño asistido por computadora).

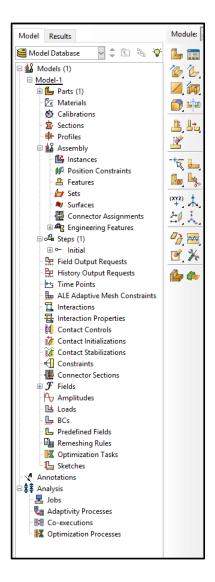


Figura 20. Panel de tareas de Abaqus CAE.

### 2.7.2 Análisis por elementos finitos en Abaqus CAE

Podemos definirlo como un método de cálculo numérico de ecuaciones para la aproximación de los resultados por problemas en la mecánica de sólidos, las aplicaciones más

comunes son a nivel de ingeniería mecánica, civil, aeroespacial y de materiales, la precisión de estas simulaciones es arbitraria debido a la configuración de los parámetros en el entorno de simulación en la mecánica de sólidos.

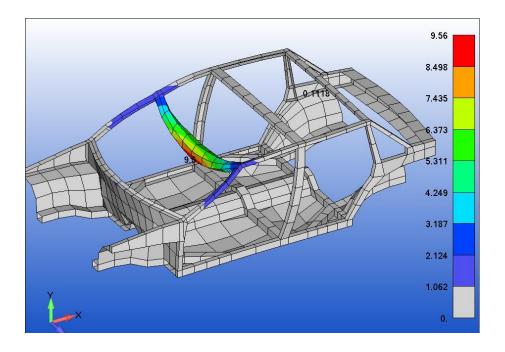


Figura 21. Ejemplos de simulación en Abaqus CAE .Recuperado de http://simula.dimec.etsii.upm..

## 2.7.3. Resolución de problemas mecánicos en Abaqus

La resolución de los problemas mecánicos en Abaqus CAE lo podemos resumir en 3 procesos principales, en pre-proceso en la cual se define la geometría de un elemento único o de un conjunto de elementos denominado como ensamble, la malla de elementos finitos, en este caso la malla es un elemento de análisis sobre la geometría de la pieza, las cargas o esfuerzos a los que va ser sometido el elemento o el ensamble ya sean cargas estáticas, dinámicas, lineales o no lineales, y las condiciones o parámetros del entorno de simulación.

En la etapa de solución se determina el tipo de problema a resolver, dinámico o estático, lineal o no lineal, seguido por la metodología de resolución de ecuaciones, además de determinar el número de procesadores que se puedan usar y se aplican los cálculos.

En la última etapa se visualizan de forma didáctica, lo que se determinó en campos anteriores pueden ser tensiones, deformaciones u otros parámetros, se observa la deformación del elemento.

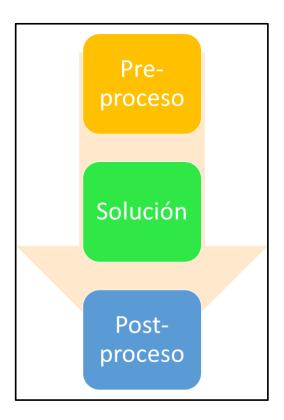


Figura 22. Representación gráfica de los procesos en Abaqus CAE.

### 2.8. Chasis Grand Cherokee

Para la elección del chasis, se escogió el modelo de vehículo Todoterreno Grand Cherokee, debido a que es un vehículo icónico de la marca, el modelo en específico tuvo una vigencia

desde el año 2001 al 2013, era un vehículo que estaba enfocado al mercado de las 4x4 dentro de la gama media.



Figura 23. Todoterreno Grand Cherokee 2001-2013. Recuperado de https://www.rac.co.uk/drive.

## **CAPITULO III**

### MODELADO DEL CHASIS POR CAD

### 3.1. Planos del chasis

Para poder diseñar y construir un objeto solido con geometría capaz de ser analizada por SolidWorks y Abaqus es necesario contar con las medidas del chasis a modelar, en vista de que se cuentan con medidas muy básicas del chasis se procede a vectorizar las vistas del vehículo seleccionado, en este caso el Grand Cherokee teniendo en cuenta estos "Blueprints" de las vistas laterales, frontal y posterior y la última vista es la superior el programa a usar es AutoCAD.

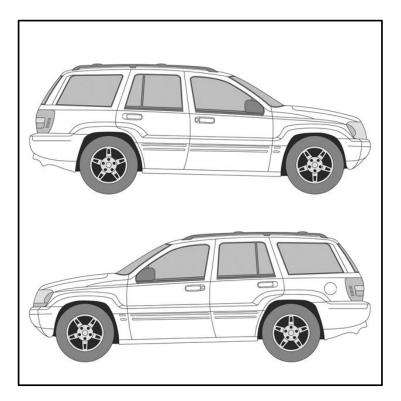


Figura 24. Vistas laterales Grand Cherokee 2001-2013. Recuperado de https://www.the-blueprints.com/

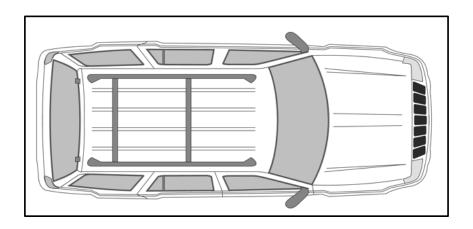


Figura 25. Vistas Superior del Grand Cherokee 2001-2013. Recuperado de https://www.the-blueprints.com/.

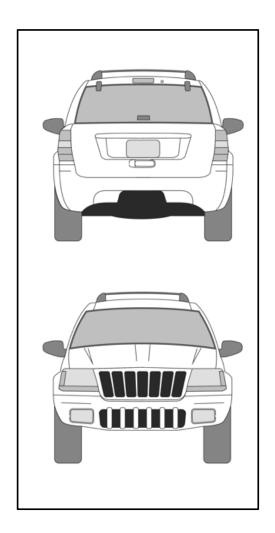


Figura 26. Vistas Frontal del Grand Cherokee 2001-2013. Recuperado de https://www.the-blueprints.com/.

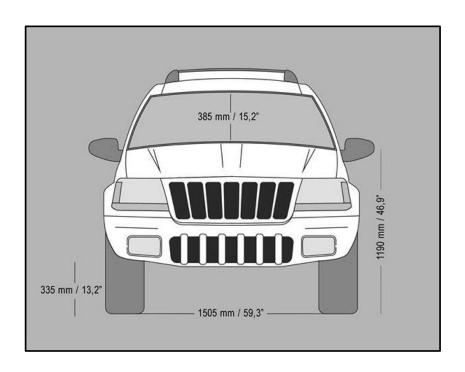


Figura 27. Vistas Superior del Grand Cherokee 2001-2013 . Recuperado de https://www.the-blueprints.com/.

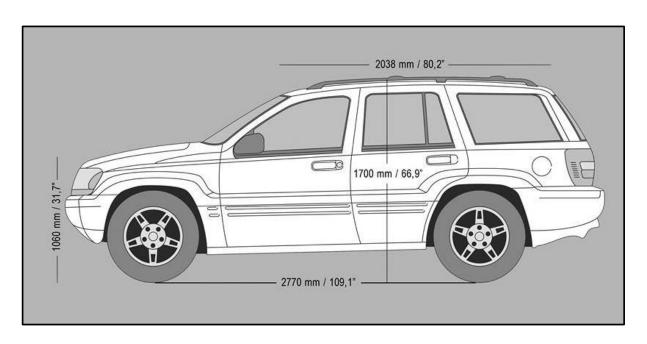


Figura 28. Vistas Superior del Grand Cherokee 2001-2013. Recuperado de https://www.the-blueprints.com/.

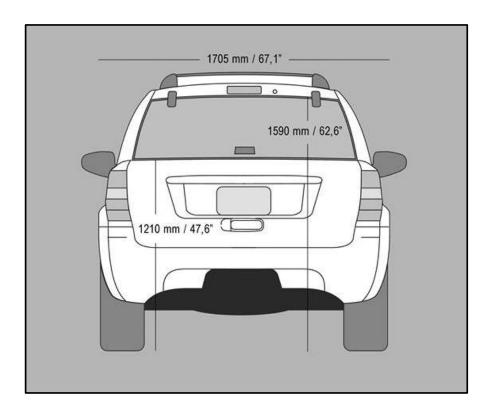


Figura 29. Vistas Superior del Todoterreno Grand Cherokee 2001-2013(https://www.the-blueprints.com/).

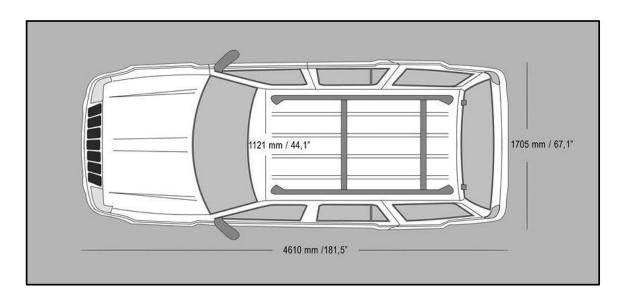


Figura 30. Vistas Superior del Todoterreno Grand Cherokee 2001-2013(https://www.the-blueprints.com/).

## 3.2. Importar planos a AutoCAD

Para poder trabajar en AutoCAD con archivos que no son de la extensión nativa se debe transformarlos a formato ". Dxf" una vez realizado esto se pueden importar los planos en formato ". Dxf" como se observa en la siguiente figura.

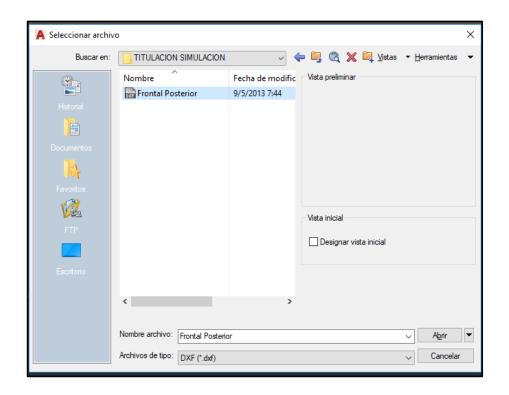


Figura 31. Importación de archivos para planos de trabajo en AutoCAD

.

Una vez que se haya importado los archivos de las diferentes vistas en formato. Dxf se procede a trabajar en el área grafica de AutoCAD, teniendo como base los planos y medidas se bosquejan las diferentes vistas del vehículo en 2D, guardando cada dibujo en 2D como piezas o elementos únicos.

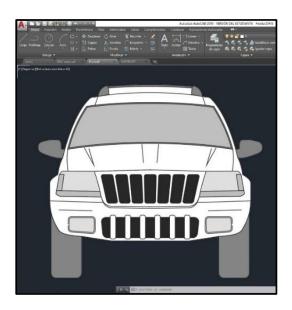


Figura 32. Vista frontal del "Blueprint" en AutoCAD.

Haciendo uso de las herramientas de dibujo de AutoCAD se modela en 2D las diferentes vistas del vehículo respetando las medidas del plano, para determinar la longitud se usa el formato del sistema internacional de medidas, el cual será usado durante todos los procesos posteriores a este.

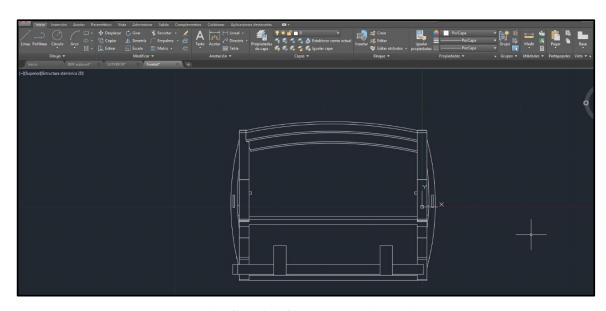


Figura 33. Vista frontal en formato DWG de trabajo en AutoCAD.

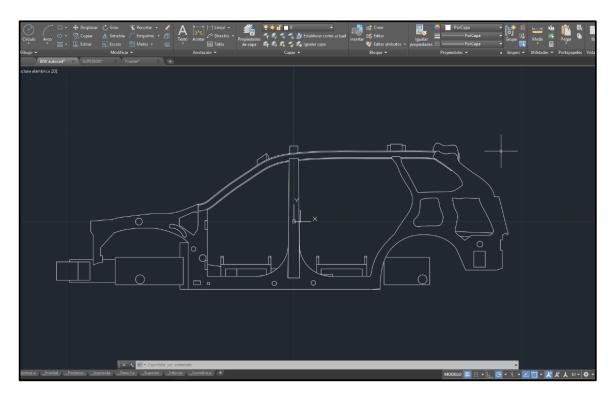


Figura 34. Vista lateral en formato DWG de trabajo en AutoCAD.

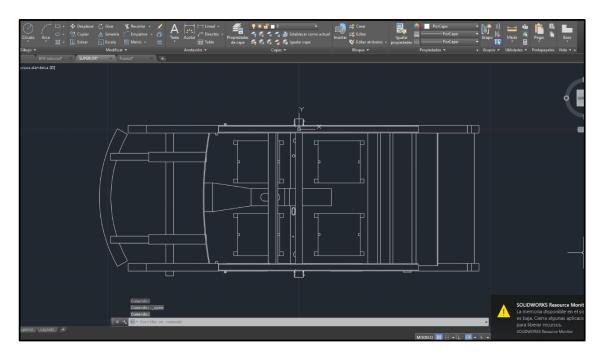


Figura 35. Vista superior en formato DWG de trabajo en AUTOCAD.

# 3.3. Función transparencia AutoCAD

Para controlar la transparencia de los planos de las vistas del vehículo en el menú de modificar, objeto, imagen, transparencia, se selecciona el plano del vehículo y se escribe el comando "ACT.", una vez activada la transparencia se superponen el plano de la vista del vehículo encima del chasis modelado en 2D.

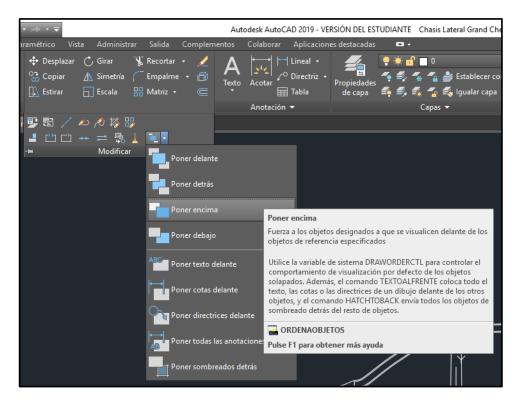


Figura 36. Opción de menú para modificar la transparencia del plano del vehículo en AutoCAD



Figura 37. Activación de comando de transparencia en AutoCAD.

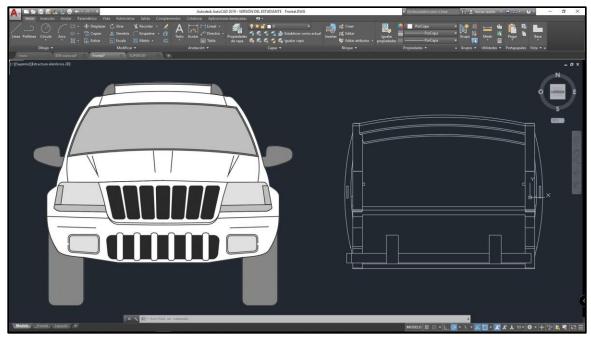


Figura 38. Vista frontal del plano de AutoCAD.

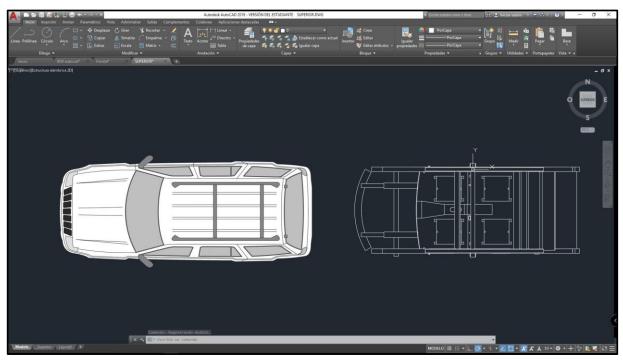


Figura 39. Vista superior del plano de AutoCAD.

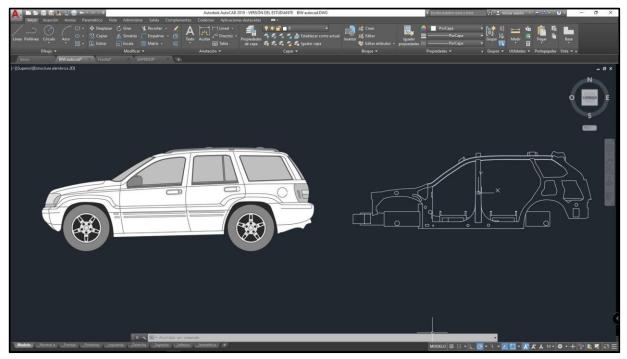


Figura 40. Vista lateral del plano de AutoCAD

Authority States and Authority

Figura 41. Fusión de vistas del plano lateral en AutoCAD.

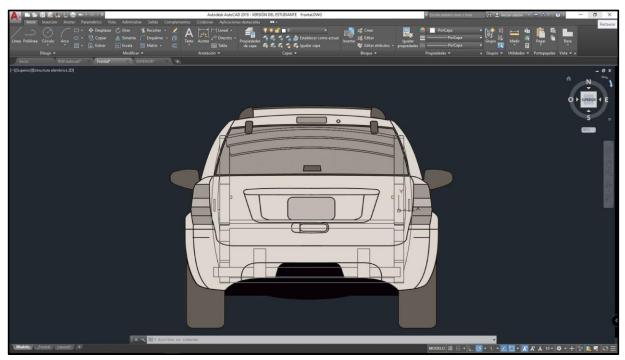


Figura 42. Fusión de vistas del plano posterior en AutoCAD.

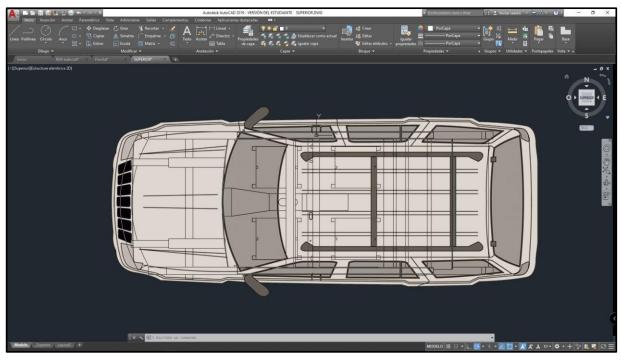


Figura 43. Fusión de vistas del plano superior en AutoCAD.

### 3.4. Importación de planos a SolidWorks

Se puede proceder de dos maneras una es creando un archivo de dibujo totalmente nuevo, o importando el archivo en el menú de abrir, como un croquis de una nueva pieza de trabajo en 2D, SolidWorks soporta una gran cantidad de archivos, por eso es el programa de modelado por excelencia, esta vez los archivos están en formato "Dwg", que es normalmente el formato nativo de AutoCAD.

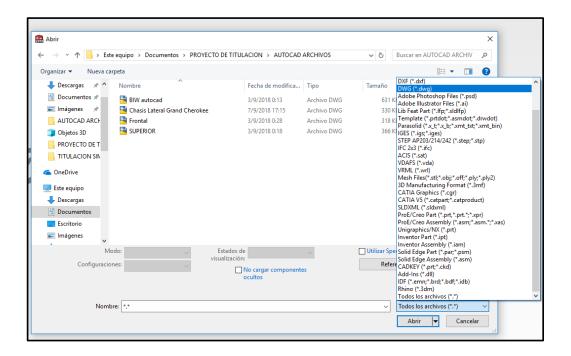


Figura 44. Importación de planos de AutoCAD a SolidWorks.

Es muy importante tener en cuenta que, a la hora de importar piezas o elementos, se debe tener en cuenta las propiedades de medición, el sistema de medidas que hayamos usado en programas anteriores, en este caso se usa el sistema de medidas internacional, las longitudes están dadas en milímetros.

# 3.5. Extrusión de los planos laterales en SolidWorks

Con el croquis de la pieza lateral procedemos a seleccionar un plano de trabajo, una vez seleccionado, se procede a la función extruir en el cual automáticamente se reconoce la figura geométrica en un plano 2D, posterior a esto se puede seleccionar lo que se quiera extruir, es decir podemos evitar que se extruyan piezas o componentes no deseados, como se está usando el sistema de medida de longitud internacional son 100 milímetros para extruir la pieza.

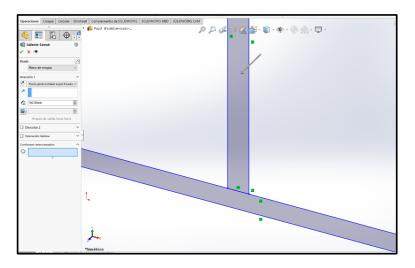


Figura 45. Función de extruir en AutoCAD.

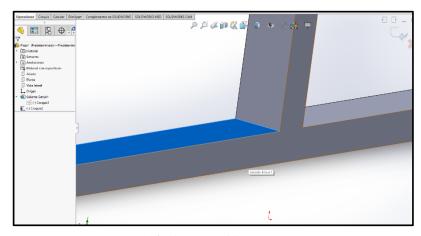


Figura 46. Plano extruido en AutoCAD.

## 3.6. Extruir cortes en SolidWorks

Con la función extruir cortes se selecciona y se delimita el plano de trabajo sobre la misma geometría de la pieza, una vez hecho esto se procede a indicar la cantidad de material a retirar en este caso 100 milímetros, lo que significa que se retirara el material completamente y dejara una geometría vacía e intersecciones en la parte extruida.

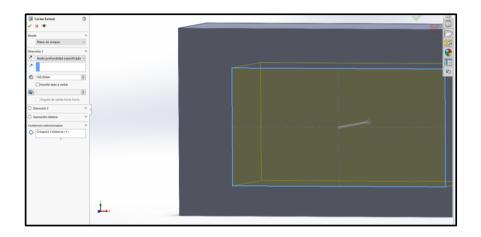


Figura 47. Selección de plano para cortar material.

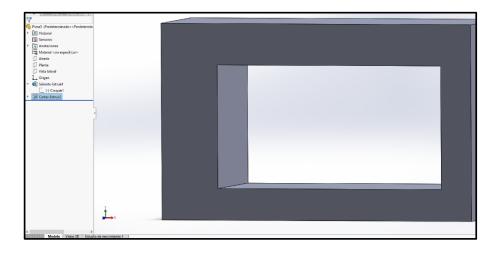


Figura 48. Material cortado en AutoCAD.

### 3.7. Vistas finales del chasis generado por CAD

Una vez ensamblada las diferentes piezas del modelado 3D del chasis se puede tener un elemento de geometría variable, con el cual se puedan realizar simulaciones de estrés, o post diseños que mejoren u optimicen el diseño ya sea desde un punto de vista estructural, de ingeniería o de un punto de vista totalmente estético.

Lo recomendable es verificar la geométrica y los planos trabajados en dicho ensamble para no generar errores en la simulación o no poder realizarla, SolidWorks ofrece una amplia gama de herramientas que permiten verificar si las superficies que se generaron ya sean por solidos o ensambles tienen áreas que no pueden ser mallada y eso evite el análisis por elementos finitos

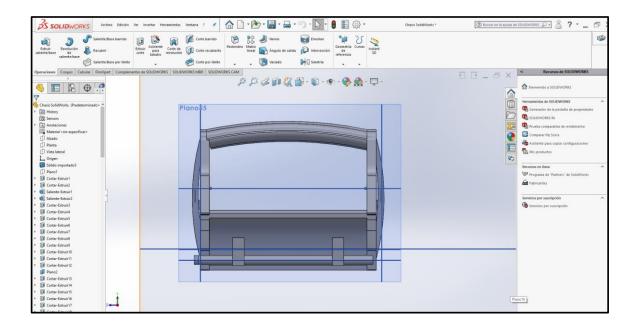


Figura 49. Vista Frontal en SolidWorks.

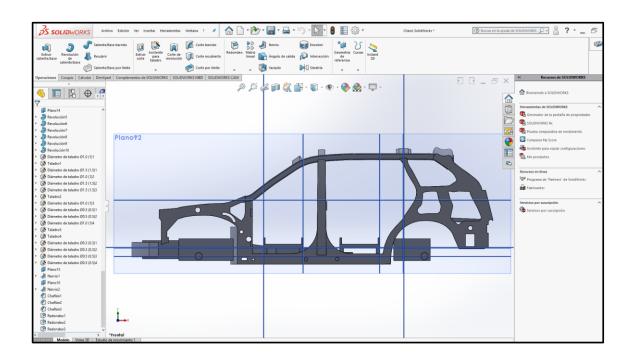


Figura 50. Vista lateral en AutoCAD.

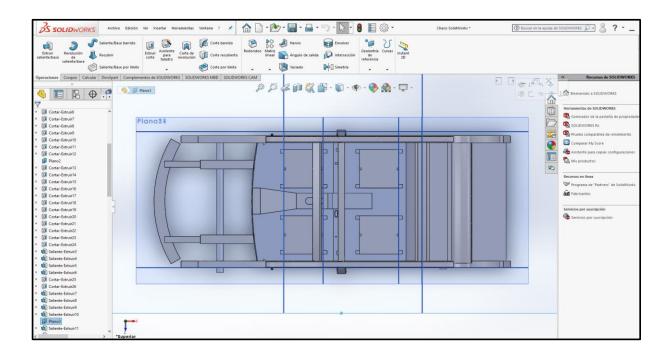


Figura 51. Vista superior en AutoCAD.

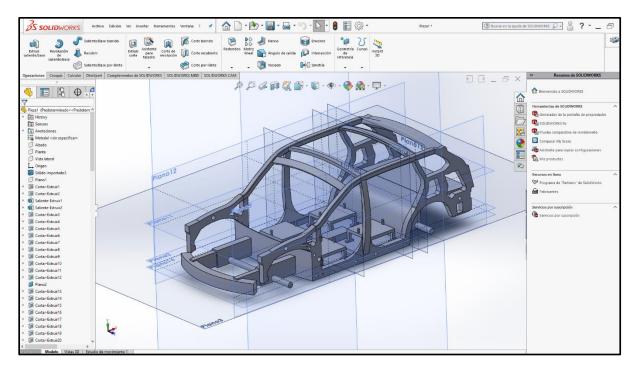


Figura 52. Vista Isométrica en AutoCAD.

### **CAPITULO IV**

# ANÁLISIS DE ESTRÉS ESTÁTICO

### 4.1 Identificación de cargas a las que está sometido el chasis

Componentes que ejercen cargas los podemos identificar principalmente como el motor, la transmisión, sistema de escape, suspensión, tanque de combustible, la carrocería dividida en tres puntos, se tabulo la información de las cargas que ejercen dichos elementos conjunto con una gráfica de donde estarían dispuestas según su posición, denominación y que carga ejercen en el chasis,

La unión de los elementos que conforman el chasis es de un solo solido es decir están fundidas, este tipo de unión genera cierta incertidumbre en cuanto a análisis de cargas, pero permite el estudio del acero de alta resistencia seleccionado respetando la geometría básica del chasis modelado en CAD.

Tabla 3. Elementos del automóvil que ejercen cargas sobre el chasis con su peso y ubicación .

Elemento del automóvil	Peso Kg	Posición mm	Carga	Carga/N
Parachoques delantero	15	0	N1	147
Radiador	6	318	N2	58
Motor	100	668	N3	981
Transmisión	90	1118	N4	882
Asiento de pasajero delantero	200	1268	N5	1962
Escape	15	2903	N6	147
Asiento posterior	300	3000	N7	2943
Tanque de combustible	70	3118	N8	686
Portaequipaje	70	3868	N9	686
Parachoques trasero	15	4218	N10	147
Carrocería Frontal	-	0 - 1268	P1	1450
Carrocería Central	-	1250-3318	P2	1650
Carrocería posterior	-	3300 - 4218	P3	850

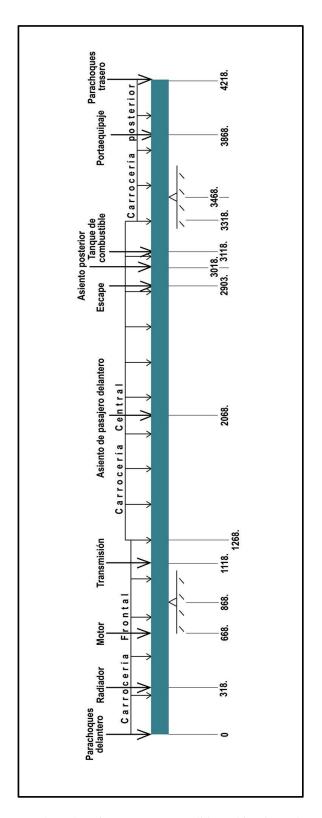


Figura 53. Plano de esfuerzos con su medida y ubicación sobre el chasis.

### 4.2. Propiedades mecánicas Acero HSLA 350/450

Las propiedades del acero seleccionado para la simulación se tienen que tener en cuenta ya que se va a personalizar el material dentro de la interfaz de SolidWorks y Abaqus CAE, ya que esta no se encuentra dentro de la base de datos de materiales.

Tabla 4. Acero de alta Resistencia HSLA 350/450 (Instituto Internacional de Hierro Y Acero)

Denominación	HSLA 350/450
Limite Elástico	350 Mpa
Tensión de Rotura	450 Mpa
Coeficiente de Poisson	0.14
Densidad	7572

## 4.3. Ecuación de factor de seguridad

Dentro de la teoría de fallos de seguridad, Abaqus CAE es la que se encarga de calcular la solución a estos problemas, y debe quedar clara la teoría matemática, donde la integridad estructural en el chasis va a ser evaluado de la siguiente forma:

$$n_{.VM} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{\rm eq.VM}}$$

Ecuación 1. Factor de seguridad

#### Dónde:

• *n* es el coeficiente de seguridad de Von mises

- $\sigma_y$  es el limite elástico
- $\sigma_{eq.VM}$  coeficiente equivalente de Von mises

## 4.4. Ecuación Von mises

Esta fórmula se basa en la desviación máxima permitida en el chasis.

$$\sigma_{\text{eq.VM}} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$$

Ecuación 2. Ecuación de factor de seguridad

Dónde:

- $\bullet \quad \sigma_{eq.VM}$  coeficiente equivalente de Von misses
- $\sigma_1$  fuerza numero 1
- $\sigma_2$  fuerza numero 2
- $\sigma_3$  fuerza numero 3

#### 4.5. Simulación SolidWorks

Haciendo uso de la herramienta "SolidWorks Simulation Express" se facilita la preparación de un entorno se simulación, resumido en 4 pasos, los cuales son selección del material del cual va a estar compuesto del ensamble a simular, selección de los puntos de geometría fija, es decir donde el material no se va a deformar por ninguna razón, elección del tipo de esfuerzo y la ubicación dentro de la geometría del ensamble, computarización del mallado del ensamble en conjunto con la simulación.

### 1) Procedimiento de Simulation Xpress

- a) Sujeciones de geometría fija
- b) Cargas o esfuerzos en el elemento o ensamble
- c) Elección o creación del material
- d) Mallado y Ejecución
- e) Resultados



Figura 54. Asistente para análisis "Simulation Express".

El tipo de análisis determinado para esta simulación es un análisis de estrés estático conocido como Von mises, de pues se procede con la elección de puntos de geometría fija, cuyo objetivo es para generar puntos de anclaje inamovibles, es decir que estos puntos no van a ver

ningún efecto de las cargas en la cara del elemento escogido del ensamble, se escogieron las caras del eje tanto delantero como posterior, para poder visualizar las cargas sobre el chasis.

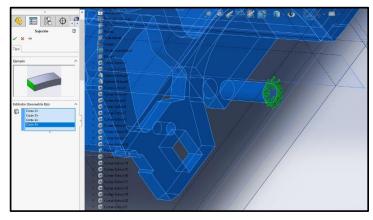


Figura 55. Sujeción de geometría fija en la cara de un eje del chasis.

El siguiente paso colocar los puntos donde se van a realizar las cargas y se determina que el esfuerzo de 7388 N que va a ser sometido el chasis será repartido en 14 puntos, dentro de la estructura en este paso se va a hacer uso del diagrama de esfuerzos y solo se van a usar los esfuerzos de la sección carrocería central.

Tabla 5 Cargas para el análisis de estrés estático en SolidWorks.

Elemento del automóvil	Peso Kg	Posición mm	Carga	Carga/N
Asiento de pasajero delantero	200	1268	N5	1962
Escape	15	2903	N6	147
Asiento posterior	300	3000	N7	2943
Tanque de combustible	70	3118	N8	686
Carrocería Central	-	1250-3318	P2	1650
Esfuerzo Total	-	-	-	7388

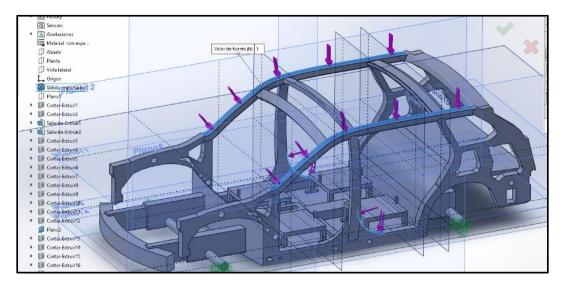


Figura 56 Colocación de los esfuerzos basados en la Carrocería central.

Para finalizar se realiza el mallado de la estructura del ensamble y se procede con la ejecución del análisis de estrés estático, el cual es un proceso que demora pues el chasis al estar en tamaño real y debido a las geometrías variables es un proceso de gran carga computacional.

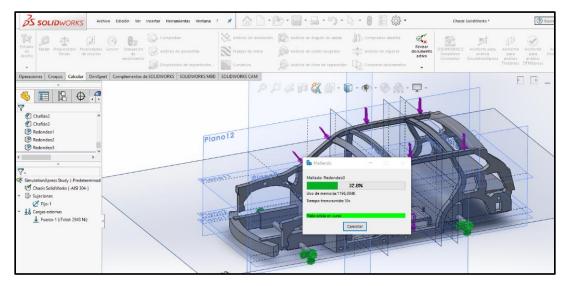


Figura 57 Ejecución del mallado para la posterior ejecución del análisis.

# 4.5.1 Resultados de estrés estático en SolidWorks

Los resultados serán tabulados y discutidos en el capítulo V.

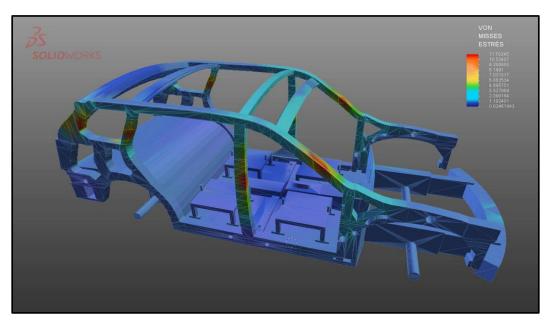


Figura 58. Vista Isométrica de Análisis de estrés estático.

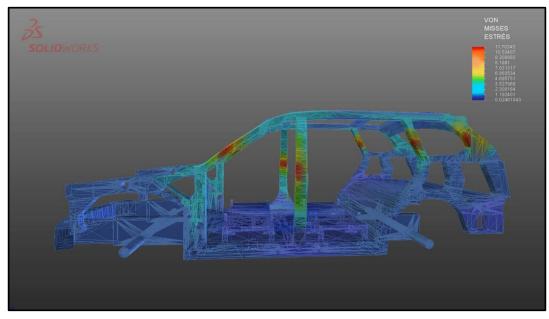


Figura 59. Vista Lateral de Análisis de estrés estático.

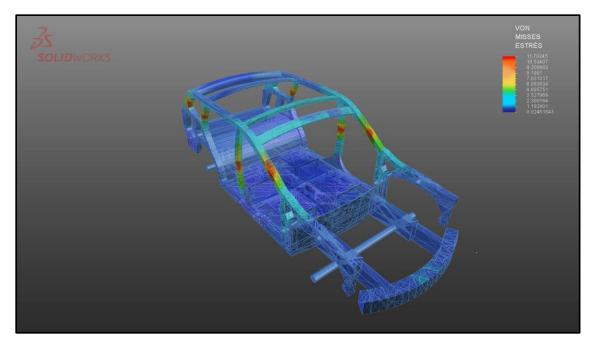


Figura 60. Tercera Vista Isométrica de Análisis de estrés estático

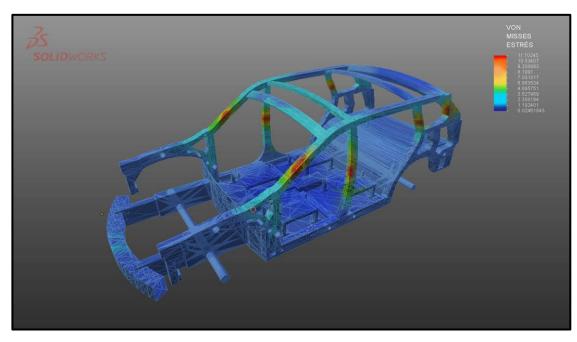


Figura 61. Cuarta vista isométrica de Análisis de estrés estático.

## 4.6. Simulación Abaqus

No existen paso determinados para simular en Abaqus, todo depende de la cantidad de preparación que necesite el entorno de simulación es decir las condiciones y parámetros en los que se vaya a simular, en este caso son 2 pruebas una de estrés estático y una dinámica en donde se podrá apreciar la deformación del chasis bajo cargas estructurales muy altas.

## 4.5.1. Creación del material

En la interfaz de Abaqus CAE se selecciona la pestaña material y se configuran las propiedades mecánicas del material, refiriéndose a la tabla número cuatro donde se especifica el comportamiento elástico del acero HSLA 350/450.

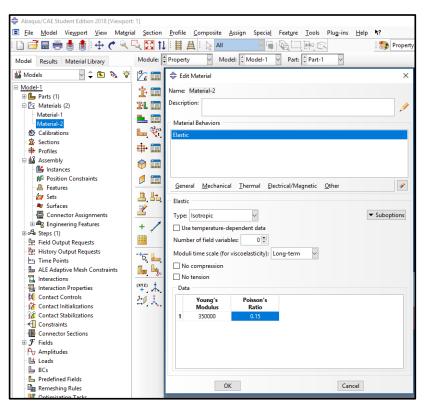


Figura 62. Menú de propiedades Abaqus CAE.

## 4.5.2. Propiedades del Solido

En la pestaña de propiedades, en el icono de crear sección, se selecciona el comportamiento del solido en general, la opción de una sección totalmente homogénea facilita el cálculo de los esfuerzos ya que el material y la unión de solidos que conforman al chasis será como si fuera un solo elemento, es decir se ignoraría geometrías complejas y se comportaría más como un sólido entero.

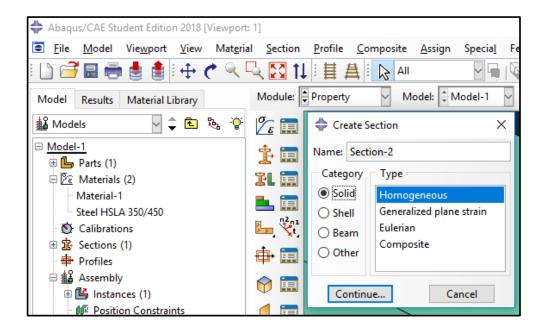


Figura 63. Propiedad homogénea en Abaqus CAE.

#### 4.5.3. Propiedades del análisis

Dentro del módulo "Step" se selecciona el tipo de procedimiento, en este caso general, posterior a esto se escoge el tipo de análisis a realizarse, un análisis estático, debido a que el entorno de simulación se va a basar en puntos de carga sobre el chasis.

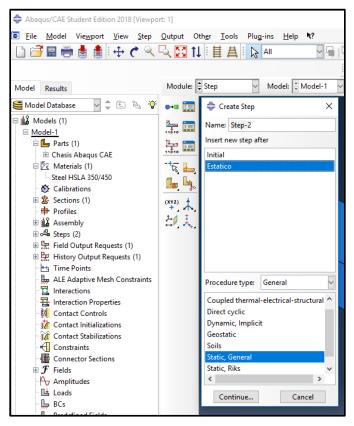


Figura 64. Modulo Step en Abaqus CAE.

## 4.5.4. Selección de cargas sobre el chasis

Se selecciona el módulo de Carga (Load), la categoría mecánica, el tipo de carga será de "momentun" y se da clic a continuar, las cargas están especificadas dentro de la tabla número 3, estas en conjunto con el mallado se pueden observar en la figura número 61, todos los esfuerzos están dispuestos de manera paralela, la distribución será individual debido a la configuración que nos permite realizar Abaqus, en el cual todo debe ser seleccionado de manera manual, es decir las cargas deben ser configuradas y colocadas una por una.

El proceso llega a ser repetitivo debido a que Abaqus permite colocar diferentes configuraciones dentro s un mismo elemento de trabajo para la simulación.

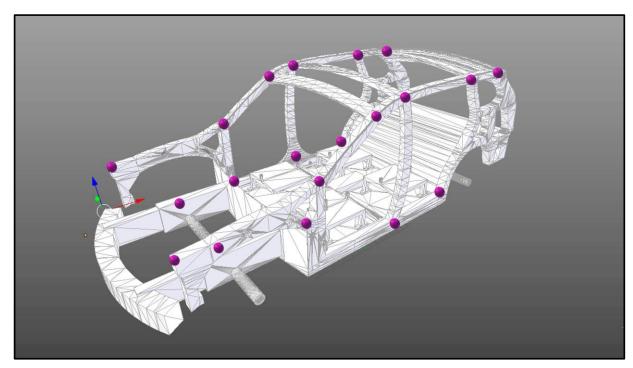


Figura 65. Nodos y mallado de las cargas para la simulación de estrés estático en Abaqus CAE.

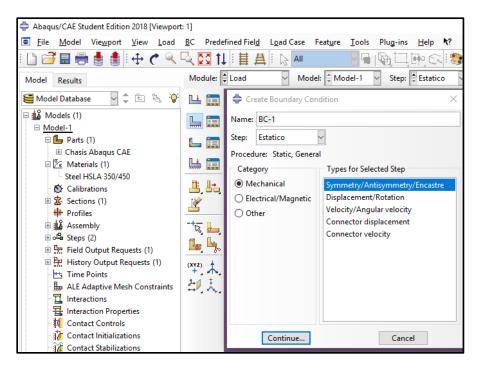


Figura 66. Delimitación y selección de cargas sobre el chasis.

# 4.5.5. Selección de mallado en Abaqus

Este procedimiento es uno de los más importantes ya que define el grado de aproximación del modelo a la realidad, pero escoger una malla muy densa, en este caso, determinadas por semillas o nodos va a generar un proceso computacional que llevara mucho tiempo y recursos del ordenador para poder llevar a cabo.

Por ende, para escoger una relación de nodos se debe basar en el tipo de geometría a trabajar en este caso se realiza de manera manual en cada superficie o geometría de los sólidos a simular, en este caso para las piezas que solo tengan una geometría plana se escogerá una relación de nodos baja, para las piezas que tengan curvas, se escogerá una relación de nodos alta.

Para superficies planas será de 4, y para superficies con curvas será de 9.6 una relación muy alta debido a que se busca que en las superficies curvas se necesita un mallado triangular dispuesto solamente en relaciones de nodos muy altas

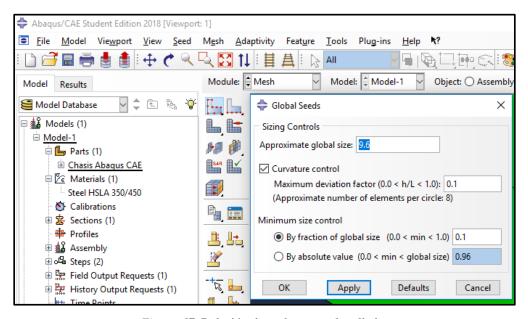


Figura 67. Relación de nodos para el mallado.

#### 4.5.6. Selección de límites condicionales

Se selecciona la opción encastre, posterior a esto se determinan las caras geométricas donde se va a realizar una sujeción para punto de apoyo, y que las cargas ejercidas se comporten de la manera prevista, estos puntos de sujeción son inamovibles, en Abaqus se denomina como Limites condicionales.

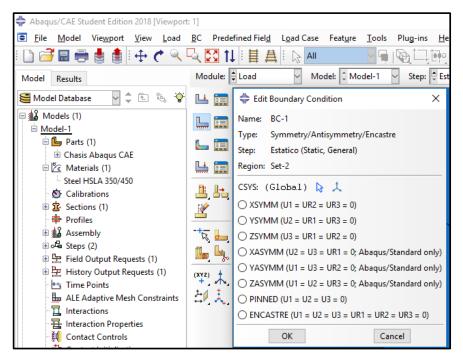


Figura 68. Recuadro del tipo de limite condicional a seleccionar.

## 4.5.7. Ejecución de la simulación

Se selecciona el módulo "Job" (Trabajo), en este recuadro se pueden verificar los parámetros con los cuales se va a realizar la simulación, monitorearlos en tiempo real (Se necesita un ordenador potente), se selecciona "Summit" y se procede con la simulación.

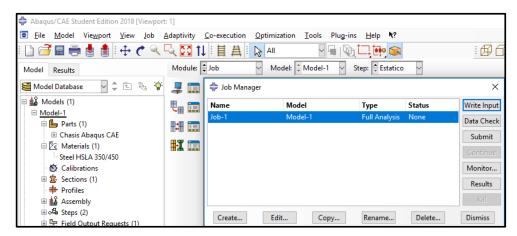


Figura 69. Módulo de trabajo previo a la simulación.

## 4.5.8. Resultados

Los resultados serán analizados en el capítulo V, las imágenes siguientes son la representación de los puntos críticos en donde las cargas tuvieron mayor efecto.

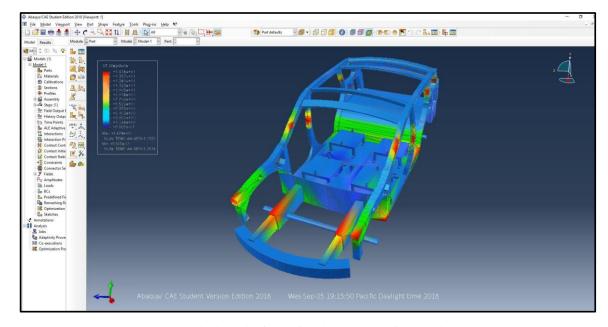


Figura 70. Resultado de la simulación de estrés estático en Abaqus CAE.

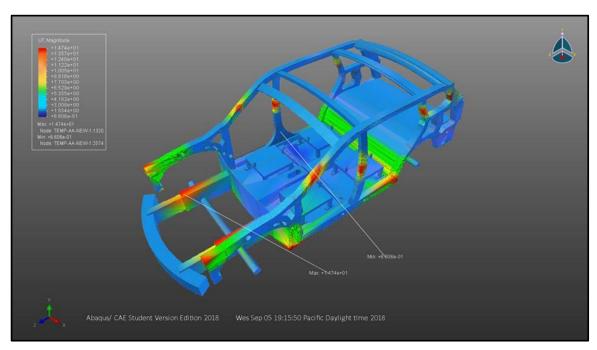


Figura 71. Vista isométrica de la representación gráfica de la simulación de estrés estático.

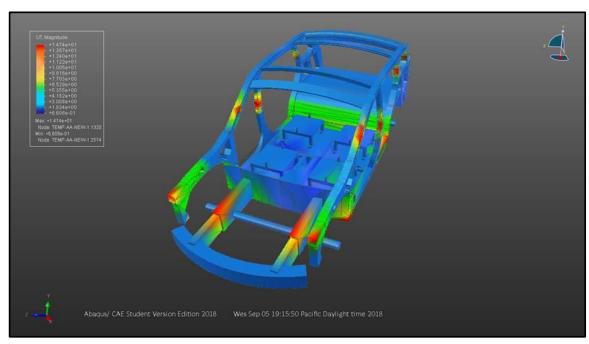


Figura 72. Segunda vista isométrica de la representación gráfica de la simulación de estrés estático.

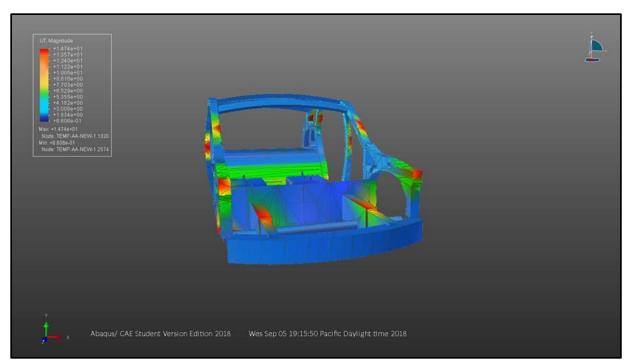


Figura 73. Vista frontal de la representación gráfica de la simulación de estrés estático.

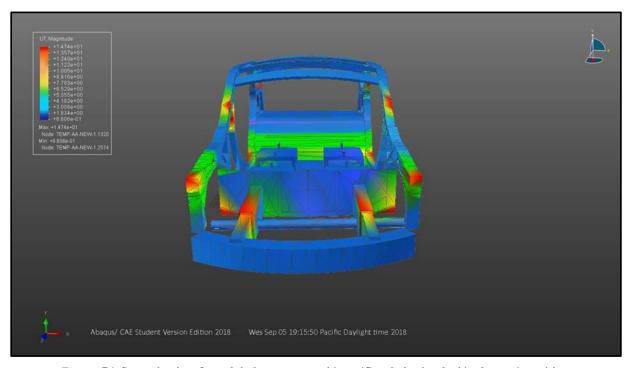


Figura 74. Segunda vista frontal de la representación gráfica de la simulación de estrés estático.

#### **CAPITULO V**

# ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1. Tabulación de resultados SolidWorks y Abaqus

La tabulación de datos permitirá analizar los resultados obtenidos durante la prueba de estrés mecánico, realizada tanto en SolidWorks y Abaqus CAE, los parámetros de prueba son básicos y permiten una vista de las diferencias que hubo al realizar las pruebas, ya que en SolidWorks la prueba de estrés mecánico se realizó de manera mucho más automática y rápida a comparación de Abaqus Cae donde se tuvo que realizar de manera manual muchos parámetros y el más importante de este el mallado a través de nodos ya que la cantidad de recursos computacionales era limitada.

Se tenía que personalizar el mallado en las geometrías planas donde la malla era muy fina, a diferencia de las zonas curvas que era necesario disponer de nodos tanto de manera triangular como rectangular para poder tener un entorno de simulación fiable, por ende el mallado era mucho más denso y con más cantidad de nodos, cabe recalcar que Abaqus posee una interfaz de dibujo mucho más básica que SolidWorks, pero permite una configuración de entorno de simulación mucho más complejo, por eso el consumo de tiempo se lo lleva en la configuración de parámetros de mallado y la elección de las fuerzas ya que estas son configuradas de manera individual.

Otro problema fue la importación del modelo de CAD de SolidWorks a Abaqus CAE la versión estudiantil no cuenta con la capacidad de importar directamente los ensambles en formato nativo de SolidWorks algo que solo está disponible en el modo de Paga, al tener que

exportar los archivos de SolidWorks a otro formato se perdieron ciertas geometrías que tuvieron que ser arregladas dentro de Abaqus.

Tabla 6. Comparativa de parámetros de simulación en SolidWorks Y Abaqus

Programa	SolidWorks	Abaqus
Tensión Von mises	7388 N	12589 N
Tiempo de Análisis	5 horas	8 horas
Dimensiones del elemento	4218 mm x 1700mm	4219 mm x 1700mm
Nodos de Malla	10691964	30418613200
Tipo de malla	Curva / Cuadrada	Curva/ Cuadrada (Personalizada)
Peso del archivo de simulación	4 GB	8GB

Hay que resaltar que la prueba de estrés realizada en SolidWorks fue solamente de la sección central por ende hay menor momento de tensión, debido a que la distribución de estrés sobre el chasis fue mayor, pero es una comparativa valida dentro de los parámetros de seguridad.

Tabla 7. Comparativa de Tensión máxima.

Tensión Von Mises	Max	Min
SolidWorks	11.7024 N /(mm2)	0.024618 N/(mm2)
Abaqus	23.4949 N/(mm2)	0,034337 N/(mm2)

El límite de tensión permite calcular el factor de seguridad de un elemento o pieza el programa lo realiza de manera automática, aunque este factor se puede ver afectado debido a los parámetros de simulación.

Tabla 8. Factor de Seguridad en cada sección.

	Factor de seguridad (FDS) = slimit / n
Sección Frontal	2,59
Sección Central	3,18
Sección Posterior	1,94

El factor de seguridad no es más que una comparativa entre dos límites de tensiones uno determinado por las condiciones de esfuerzo y parámetros mientras el otro es determinado por el límite de tensión del material, al haber una relación de estos, mientras más cercano sea de cero significa una falla estructural inminente, al superar el uno significa que la relación de seguridad es lo necesario para esfuerzos estáticos a los que se determinó en las pruebas de estrés, pero cabe resaltar que en la sección A y B son los lugares de mayor tensión debido a su proximidad hacia el valor de cero es decir son lugares críticos.

Dentro de la categoría de materiales y aceros convencionales los factores de seguridad siempre superan el 1 y la sección más crítica dependiendo del modelo es la parte delantera por motivos de que ahí se encuentra los componentes con mayor carga, el motor la transmisión y sus diferentes sistemas, pero, este tipo de acero de alta resistencia demostró que su factor de seguridad supero el valor de 2 en todas sus secciones, no hay que descartar la el modelo de CAD ya que el enfoque no era al chasis sino al material de este, debido a que lo ideal sería el análisis por láminas de acero, y en la delimitación de parámetros se trabajó con sólido, dando una estructura de mayor fiabilidad.

Siempre se respetó la geometría básica de la estructura de la cual se basó el chasis, debido a las dificultades de trabajar con diferentes geometrías y programas puede haber una gran incertidumbre en los resultados de las pruebas de estrés, pero la asertividad global de la simulación determinada por el propio programa Abaqus CAE supero el 70% por lo cual es una

simulación valida, el resalte de las propiedades del acero al ver que casi no hubo deformaciones visibles permite ver la gran dureza de este acero a los esfuerzos estáticos.

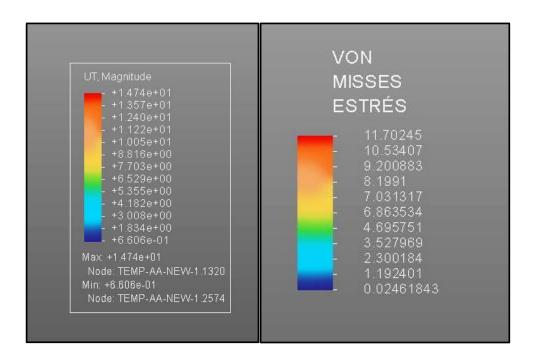


Figura 75. Resultados de análisis de estrés

# CAPÍTULO VI

#### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1.** Conclusiones

- Se pudo reconocer las propiedades mecánicas del acero de alta resistencia, HSLA 350/450 el cual dentro los contextos actuales, es un material de construcción idóneo para la industria automotriz muy competitivo y viable, a pesar de estar en una época donde el predominio de materiales plásticos, aleaciones de magnesio, aluminio, se ve en la industria automotriz, los aceros en general todavía compiten sin perder la batalla en cuanto a costos, esto se debe a que sus componentes básicos casi no varían, lo que varía son los post procesos para mejorar las propiedades mecánicas ya existentes en ellos, como el recocido, el temple por presión, el enfriamiento gradual, entre otros, lo cual dentro de la industria no es costoso, el único pero resulta los controles de calidad a la producción de estos aceros, ya que fallas superficiales comprometen la integridad estructural del material en donde valla ser usado.
- La composición del acero HSLA 350/450 es muy básica, ya que el proceso de composición inicial es el mismo que ha tenido por décadas, lo que varía son los métodos para aumentar las propiedades mecánicas, en composición es un acero aleado en bajas proporciones de carbono, magnesio, fosforo y sulfuros, todos estos componentes en

menor proporción al ser expuestos a tratamientos térmicos y de enfriamiento, cambian su estructura dando a lugar a elementos que dan propiedades de resistencia mecánica superiores a los convencionales.

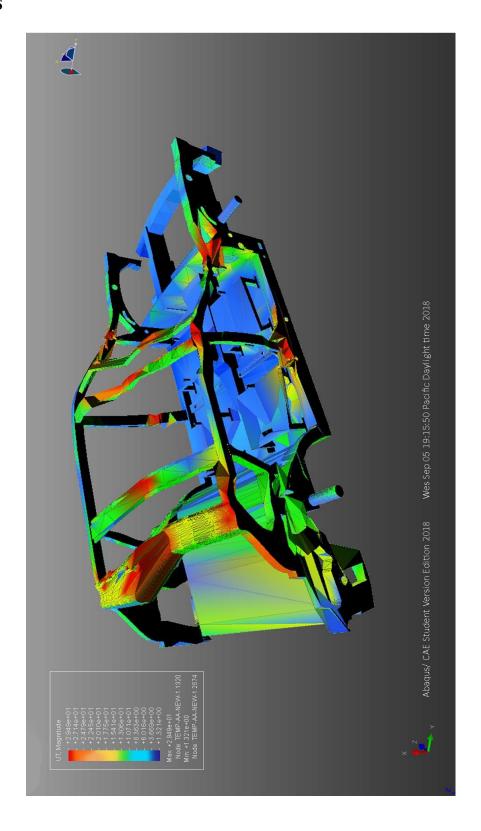
Tras los análisis de estrés en 2 programas diferentes, se comprobó la poca afectación que tuvo el chasis a esfuerzos de carga estáticas, la diferencia de pruebas se basa en que los 2 programas tienen funciones de simulación con interfases diferentes, es decir SolidWorks Implementa un motor más enfocado al ámbito de modelado por computadora, y Abaqus tiene un enfoque más al mundo abierto de la simulación, esto indica que la configuración de parámetros es mucho más amplia y se debe de realzar de manera manual, la preparación de un entorno de simulación es Abaqus consume mucho más tiempo y recursos, pero los datos, la resolución de fórmulas es mucho más completa debido a los datos que el programa puede dar, SolidWorks es muy viable en cuanto a pruebas de estrés lineales debido a su optimización de recursos y tiempo en comparación a Abaqus que con el mismo modelo se necesitó más tiempo de computo.

#### **6.2. Recomendaciones**

- Las propiedades de alta resistencia y dureza son ideales en los conceptos de integridad estructural, pero la recomendación de materiales que sean capaces de absorber energía de impactos tiene otras propiedades, por lo cual, en una estructura completa de un chasis, se tiene que analizar en factores de choques, lo cual resulta un proceso más meticuloso y complejo.
- La composición de baja aleación de un acero lo puede categorizar en diferentes grados de clasificación, por lo cual esta composición puede variar dependiendo de los procesos de mejoramiento de propiedades después de su producción inicial, con lo cual es recomendable tener claro los conceptos y propiedades de los métodos de post producción de este hacer HSLA 350/450 para comprender mejor sus propiedades mecánicas dependiendo de sus composiciones.
- Es necesario tener en cuenta todas las posibilidades de simulación que ofrece Abaqus, es decir no hay procesos automáticos en cuando a propiedades de simulación, con lo cual se requiere de una curva de aprendizaje mayor para poder tener un acierto global y de datos los fiables posibles, a diferencias SolidWorks que es un programa de modelado y diseño por excelencia, es un programa fiable en situaciones de simulaciones sencillas, esto no significa que deje de ser un programa muy completo con un interfaz gráfica

mucho más amigable pero el diseño y modelo es lo mejor que se puede tener en SolidWorks, y para simulaciones Abaqus es un programa complejo pero mucho más eficaz a la hora de solucionar simulaciones.

# ANEXOS



# **BIBLIOGRAFÍA**

- B ProMéxico. (s.f.). *Industria terminal automotriz*. Mexico: B ProMéxico.
- Bartolomé López Lucas, V. B. (2013). *AutoCAD 2013*. España: Ministerio de Educación de España.
- Bible, S. 2. (2013). *Matt Lombard*. John Wiley & Sons, Incorporated.
- Chang, K.-H. (2018). *Motion Simulation and Mechanism Design with SOLIDWORKS Motion* 2018. SDC Publications.
- Diepa, J. L. (2014). *Física*. España: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica.
- Melchor, J. C. (2012). Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Otto (MF0133\_2). IC Editorial.
- Padilla, B. J. (2012). Técnicas básicas de mecánica de vehículos. IC Editorial.
- Pedro Company Calleja, C. G. (2013). *CAD 3D con SolidWorks*®. Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions.
- Rovira de Antonio, A., & Muñoz Dominguez, M. (2015). *Motores de Combustion Interna*.

  UNED Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- SHIMIZU Tetsuo, F. Y. (2013). High Strength Steel Sheets for Automobile Suspension and Chassis Use . *JFE TECHNICAL REPORT*, 31.
- WEIMIN GUO, C. L. (2017). EFFECTS OF MO, V AND TI ON MICROSTRUCTURE,

  MECHANICAL PROPERTY AND PRECIPITATION CHARACTERISTIC OF

  HSLA STEEL SHEETS. *ENGINEERING*, 30.