

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención Fabricación de Autopartes de Vehículos

Rediseño de la estructura del chasis de una motocicleta de competencia mediante optimización topológica. Caso de estudio "HONDA CRF 230"

Álvaro Miguel Remache Chimbo

Nota del autor

Ing. Álvaro Miguel Remache Chimbo, Facultad de Ingeniería Arquitectura e Ingeniería,
Universidad Internacional SEK.

Director Ing. Julio Leguisamo, M.Sc.

Codirector Ing. Santiago Celi, M.Sc.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:
aremache.mdm@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, Álvaro Miguel Remache Chimbo con cédula de ciudadanía 020157722-8 declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

ÁLVARO MIGUEL REMACHE CHIMBO
C.I.: 020157722-8

INDICE

Introducción	15
Justificación.....	18
Objetivos.	20
General.	20
Específicos.	20
Estados del Arte.	21
Motocicleta.....	21
Tipos de Motocicletas.	21
Componentes principales	25
Motor.....	26
Definición del chasis	27
Geometría el chasis.	29
Materiales	31
<i>Resistencia la Tensión (Su.....</i>	31
Soldabilidad del acero SAE 8620.....	35
Análisis por el Método de elementos finitos (FEM)	37
Topología de optimización.....	37
Método	39
Condiciones de frontera análisis estático	39
Criterios para el rediseño de un chasis	40
Hipótesis para el cálculo de fuerzas en el bastidor.....	42
Fuerzas que actúan en el chasis.....	43
Análisis para el cálculo de cargas estáticas.	43
Cálculos de cargas en el Oscilante.	49
Análisis de Materiales	51
Caracterización del material.....	51
Material empleado, (Chasis Original).	51
Método de elementos finitos (FEM)	54
Proceso de Optimización Topológica	54
Análisis de factor de seguridad a fatiga	56
Factor de seguridad.	57
Teoría de Goodman Modificado	57

Resultados	59
Simulaciones Mediante el Método de Elementos Finitos	59
Resumen de cálculo de fuerzas	60
Resultados del proceso de caracterización del material.	64
Resultados de la Soldabilidad del acero SAE 8620	67
Aplicación de materiales cargas y soportes al chasis con el material original.....	67
Selección del mallado.....	68
Resultado de análisis de esfuerzos por FEM.....	70
Proceso de optimización Topológica del chasis.....	74
Material empleado Número dos (aleación de aluminio)	79
Aluminio Prodax	79
Elaboración de simulaciones y resultados.....	81
Proceso de optimización.....	85
Material empleado Número tres (Material comercial local)	87
ASTM A 500 Grado A	87
Elaboración de simulaciones y resultados.....	89
Proceso de optimización.....	93
Análisis de factor de seguridad a fatiga	95
Factor de seguridad.	95
Teoría de Goodman Modificado	96
Discusión de resultados.....	97
Conclusiones	104
Recomendaciones.....	106
Referencias Bibliográficas	107
Anexo 1	110
Motocicleta marca modelo Honda CRF “230” año 2009	110
Anexo 2	111
Validación de peso del chasis mediante una balanza.	111
Anexo 3	112
PEDIDO FEM (Federación Ecuatoriana de Motociclismo)	112
Anexo 4	113
Tabla de resultados mediante el espectrómetro.....	113
Anexo 5	114
Norma Técnica Ecuatoriana 1323-2009.....	114
Anexo 6	115

Catálogo de acero inoxidable aporte de DIPAC	115
Anexo 7.	116
Catálogo de acero ASTM A 500 aporte de DIPAC	116
Anexo 8.	117
Planos del chasis completo (HONDA CRF 230)	117
Anexo 9.	118
Planos de la sección que será modificado (HONDA CRF 230).	118
Anexo 10.	119
Planos del chasis resultado del proceso de optimización (HONDA CRF 230)	119

Lista de Figuras

<i>Figura 1.</i> Motocicleta "HONDA CRF 230" -----	21
<i>Figura 2.</i> Partes principales de Motocicleta -----	26
<i>Figura 3.</i> Partes del Motor de 4 tiempos Honda CRF 230 -----	27
<i>Figura 4.</i> Partes principales del chasis -----	28
<i>Figura 5.</i> Bastidor Cuna Semi Doble Honda CRF 230 -----	29
<i>Figura 6.</i> Geometría básica de una motocicleta-----	30
<i>Figura 7.</i> Diagrama esfuerzo - Deformación -----	32
<i>Figura 8.</i> Diagrama de esfuerzo deformación Materiales no ferrosos -----	32
<i>Figura 9.</i> Diagrama de Graville, efecto del carbono en la soldabilidad del acero -----	35
<i>Figura 10.</i> Modelado CAD de un conjunto de los elementos de una motocicleta. -----	42
<i>Figura 11.</i> Esquema de la ubicación de dimensiones de la motocicleta -----	45
<i>Figura 12.</i> Esquema de la ubicación de fuerzas de la horquilla -----	47
<i>Figura 13.</i> Diagrama de cuerpo libre perteneciente a la Horquilla "Honda CRF 230" -----	47
<i>Figura 14.</i> Diagrama de esfuerzos y momentos Horquilla -----	49
<i>Figura 15.</i> Diagrama de esfuerzos y momentos Horquilla -----	50
<i>Figura 16.</i> Espectrómetro de Marca BRUKER modelo Q4TASMAN -----	52
<i>Figura 17.</i> Modelo de chasis HONDA "CRF230" SolidWorks. -----	59
<i>Figura 18.</i> Diagrama de esfuerzos cortantes y momento flector de la Horquilla -----	62
<i>Figura 19.</i> Diagrama de esfuerzos cortantes y momento flector del Oscilante. -----	64
<i>Figura 20.</i> Se muestra el sistema de coordenadas, y la aplicación de fuerzas verticales y transversales, así como los puntos fijos , en puntos específicos del bastidor donde se efectuará el análisis. -----	68
<i>Figura 21.</i> Configuración general del mallado para el bastidor -----	70
<i>Figura 22.</i> Resultado de los valores de la simulación a través del módulo de Von mises ----	71
<i>Figura 23.</i> Valores resultantes de desplazamiento mediante el método de elementos finitos. 72	
<i>Figura 24.</i> Valores resultantes de deformación unitaria mediante el método de elementos finitos. -----	73
<i>Figura 25.</i> Resultado del factor de seguridad del chasis. -----	74
<i>Figura 26.</i> Componente mecánico distribución de cargas en puntos estratégicos del chasis, donde las flechas moradas representan las fuerzas aplicadas sobre el chasis y los puntos verdes son la representación de los puntos fijos del bastidor, para la aplicación de la OT. ---	75
<i>Figura 27.</i> Estructura generada por optimización topológica-----	76
<i>Figura 28.</i> Esfuerzo equivalente de Von mises del chasis, a) Original, b) rediseño aplicado optimización topológica. -----	77
<i>Figura 29.</i> Resultado de valores óptimos aplicado en puntos estratégicos del chasis. -----	79
<i>Figura 30.</i> Valores de masa, densidad y volumen del elemento a analizar. -----	81
<i>Figura 31.</i> Valores correspondientes al análisis de Von mises -----	83
<i>Figura 32.</i> Valores correspondientes al desplazamiento después de la aplicación de cargas -	84
<i>Figura 33.</i> Valores correspondientes al factor de seguridad empleado en el análisis -----	85
<i>Figura 34.</i> Resultado del estudio topológico con el material Aluminio Produx. -----	86
<i>Figura 35.</i> Tabla de aceros comerciales (DIPAC). -----	87
<i>Figura 36.</i> Valores de masa, densidad y volumen del elemento a analizar. -----	89

<i>Figura 37.</i> Valores correspondientes al análisis de Von mises -----	91
<i>Figura 38.</i> Valores correspondientes al desplazamiento después de la aplicación de cargas -	92
<i>Figura 39.</i> Valores correspondientes al factor de seguridad empleado en el análisis.-----	92
<i>Figura 40.</i> Resultado del estudio topológico con el material Aluminio Prodax-----	94
<i>Figura 41.</i> Tabla de aceros comerciales (DIPAC). -----	94

Lista de Figuras

Tabla 1. Clasificación general de motocicletas y utilización.	22
Tabla 2. Equivalencias de soldabilidad de un acero de bajo carbono.	36
Tabla 3. Datos técnicos del espectrómetro modelo Q4TASMAN.	53
Tabla 4. Fórmulas y valores de consideraciones generales del análisis estático.....	60
Tabla 5. Fórmulas y valores del resultado del análisis estático aplicado en la Horquilla.	61
Tabla 6. Fórmulas y valores del resultado del análisis estático aplicado Al oscilante.....	63
Tabla 7. Elementos químicos que componen el material.....	65
Tabla 8. Composición química del acero SAE 8620	66
Tabla 9. SAE 8620 Propiedades Mecánicas del Acero	66
Tabla 10. Propiedades físicas y mecánicas del material Produx	80
Tabla 11. Aplicación de cargas a los elementos seleccionados	82
Tabla 12. Detalle de normalización de pruebas sobre el acero ASTM A – 500	88
Tabla 13. Propiedades mecánicas del acero ASTM A – 500, Grado A	88
Tabla 14. Aplicación de cargas a los elementos seleccionados.	90
Tabla 15. Comparación de valores del material inicial y luego del proceso de optimización	97
Tabla 16. Comparación de resultados experimentales basados en estudios realizados por otros autores.	100
Tabla 17. Valores de referencia del factor de seguridad estático	101
Tabla 18. Comparación de valores del peso inicial y luego de la optimización.	101

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Lista de Ecuaciones

#	NOMBRE	ECUACIÓN	UNIDADES
1	Equilibrio de fuerzas horizontales	$T - F_D = 0$	N
2	Equilibrio de fuerzas verticales	$mg - N_r - N_f = 0$	N
3	Equilibrio de momentos con respecto al CoG	$Th - N_r(p - b) + N_fb = 0$	N
4	Carga dinámica en el eje delantero	$Nr = mg - N_f$	%
5	Normal entre el suelo y la motocicleta	$N_f = mg * \% \text{ de peso en el eje delantero}$	N
6	Normal entre el suelo y la motocicleta en el eje posterior	$N_r = mg * \% \text{ de peso en el eje posterior}$	N
7	Porcentaje de carga estática en el eje delantero.	$ced = \left(\frac{p - b}{p} \right) \cdot 100$	%
8	Porcentaje de carga en el eje posterior	$cep = 100 - ced$	%
9	Normal entre el suelo y la moto al eje delantero y posterior	$Nf = wmt.cedp$ $Nr = wmt.cepp$	N
10	Momento de Inercia	$Di = \left[(D^4 - d^4) \frac{\pi}{64} \right]$	kg/m^2
11	Momento máximo de deformación	$E_{max} = \frac{M_{max}.r}{I}$	MPa
12	Teoría de Goodman Modificado	$\frac{\sigma a}{Se} + \frac{\sigma m}{Sut} = \frac{1}{n}$	Sin Unidad
13	Porcentaje de carbono equivalente	$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$	%

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Lista de Símbolos y Nomenclatura

SIGNO	NOMENCLATURA	UNIDAD
ρ	<i>Densidad</i>	kg/m^3
m	<i>Masa</i>	(kg)
v	<i>Volumen</i>	m^3
N_f	<i>Normal con respecto al suelo y los ejes delantero y posterior.</i>	N
E_{max}	<i>Esfuerzo máximo de deformación</i>	MPa

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado para mi padre y mi madre, que han sido las personas que siempre me han apoyado al ciento por ciento, me han otorgado la mejor educación con los mejores valores y me han enseñado a no bajar la cabeza jamás.

ÁLVARO MIGUEL REMACHE CHIMBO
C.I.: 020157722-8

Agradecimiento

Agradezco a todo el personal de docencia de la Universidad Internacional SEK, por potenciar día a día mis habilidades, destrezas y todo el conocimiento para poder terminar este trabajo, pero de manera especial al Ingeniero Julio Leguisamo por su gran amistad y todo el aporte de ideas para sacar adelante este trabajo, con un tema que siempre me ha llamado la atención de esta manera algún momento poder obtener una motocicleta de competencia de con excelentes prestaciones mecánicas.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Resumen

En este trabajo se presenta la implementación de una técnica de optimización topológica, aplicada a través del estudio del comportamiento del bastidor de una motocicleta de competencia de marca y modelo Honda CRF 230, con el objetivo de la reducción del peso del componente original, sin alterar sus propiedades mecánicas, tras obtener el resultado de este análisis se conseguirá un alto porcentaje de rendimiento en el motor, mejor manejo, mayor maniobrabilidad para el piloto y reducción de los costos de fabricación. Para llevar a cabo este estudio se efectuó la caracterización del material del chasis a través de un análisis químico de materiales procedimiento llamado Espectrometría de Chispa, del cual se obtuvieron los porcentajes de los elementos químicos que componen este elemento para posteriormente adquirir las propiedades mecánicas del material. Mediante la muestra de los resultados realizados a través de un estudio estático encontrado en diferentes puntos de concentración de esfuerzos del bastidor, se fijaron las condiciones de frontera para establecer la simulación al modelo CAD, y la aplicación de la optimización de la estructura utilizando un criterio de distribución de esfuerzos, a través de la utilización del método de elementos finitos. Finalmente la aplicación de la OT permitió la reducción del peso del 67.6%, manteniendo un factor de seguridad comparable, en comparación a los resultados de las simulaciones de los diferentes materiales analizados asegurando la viabilidad del proyecto ya que se encuentran dentro de los criterios de diseño. La reducción de peso en las estructuras mecánicas es importante por su impacto en el ahorro de energía, al reducir la inercia en máquinas y vehículos, también de la posible reducción de costos en la fabricación.

Palabras clave: Simulación; Optimización Topológica; elementos finitos; Materiales; Propiedades mecánicas.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Abstract

This paper presents the implementation of a topological optimization technique, applied through the study of the behavior of the frame of a motorcycle brand competition and Honda CRF 230 model, with the aim of reducing the weight of the original component, without altering its mechanical properties, after obtaining the result of this analysis will achieve a high percentage of performance in the engine, better handling, greater maneuverability for the pilot and reduction of manufacturing costs. To carry out this study, the characterization of the material of the chassis was carried out through a chemical analysis of materials called Spark Spectrometry, from which the percentages of the chemical elements that compose this element were obtained to later acquire the mechanical properties of the material. By means of the sample of the results realized through a static study found in different points of concentration of forces of the frame, the border conditions were established to establish the simulation to the CAD model, and the application of the optimization of the structure using a criterion of distribution of efforts, through the use of the finite element method. Finally the application of the OT allowed the weight reduction of 67.6%, maintaining a comparable safety factor, compared to the results of the simulations of the different materials analyzed, ensuring the viability of the project since they are within the design criteria. The reduction of weight in the mechanical structures is important for its impact on energy savings, reducing inertia in machines and vehicles, also the possible reduction of manufacturing costs

Key words: Simulation; Topological Optimization; finite elements; Materials; Mechanical properties.

Introducción

El parque de motocicletas en el mundo ha venido creciendo de manera acelerada.

Actualmente se estima que hay más de 300 millones de motocicletas en el mundo. Este crecimiento vertiginoso es también una realidad en américa latina (Rodríguez, Santana, & Pardo, 2015). La motocicleta provee un amplio rango de movilidad para sus usuarios; especialmente para la población de menores recursos, la motocicleta representa una oportunidad económica, pese a sus beneficios las principales consecuencias negativas del uso de la motocicleta incluyen contaminación del aire y auditiva y una alta tasa de siniestros, en el 2010 aproximadamente 1.4 millones de personas en el mundo murieron en accidentes de tránsito, de los cuales 23% eran motociclistas (OMS, 2015).

Según las últimas cifras del ADEADE (2017), (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador) de enero a noviembre del año 2016 el mercado nacional cubre el 38% aproximado de comercialización en marcas de motocicletas de competencia dentro del país. En el Ecuador el número de personas que cuentan con motocicletas de competencia se han ido extendiendo en los últimos años, según datos estadísticos de matriculación del Servicio de Rentas Internas (SRI, 2017). Para las carreras de enduro en las motos es de suma importancia el peso que tiene el chasis ya que el exceso de este indica menor porcentaje de rigidez torsional, menor estabilidad, la dificultad en la maniobrabilidad del piloto, consumo de combustible y afecta directamente a su rendimiento (MotoVerde, 2018).

El objetivo principal del chasis es servir de apoyo y sujeción al resto de los elementos que forman la motocicleta. Por otra parte el bastidor sirve para sujetar el motor, las ruedas, suspensiones y ocupantes según Arias Paz (2003). En el documento de Tamayo (2013) argumenta que el elemento estructural esta está previsto a soportar fuerzas longitudinales y

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

laterales, en situaciones de aceleración y frenado, bajo las peores condiciones, como sería en curvas e irregularidades.

La optimización de la topología es una práctica de ingeniería bien establecida para optimizar el diseño de las piezas con la finalidad de crear estructuras livianas y de bajo costo; que históricamente han sido difíciles o imposibles de realizar Neches (2013). En el estudio de Meza (2015), indica que la optimización topológica permite la síntesis de estructuras con valores óptimos de varios de sus parámetros físicos. En relación a las partes mecánicas de bajo peso, implican menores costos por material y menor consumo de combustible en el caso de vehículos de transporte (Silvestre & Robles, 2017). En general, la reducción de la inercia en partes de movimiento, sea maquinaria o vehículos, disminuye la cantidad de energía necesaria para su operación.

En la actualidad el análisis topológico es usado en las industrias aeroespacial, automotriz, de obras civiles, entre otras. Además tiene un papel muy importante en el campo del micro y el nanotecnologías, principalmente en el diseño de mecanismos flexibles (Silvestre & Robles, 2017)

Se han elaborado diversos trabajos utilizando diferentes metodologías para diversos tipos de piezas mecánicas, que son empleadas tanto en el área automotriz como industrial por ejemplo en el estudio de Meza (2015), mediante la utilización de un algoritmo que se usó para rediseñar una pieza mecánica existente, donde la optimización topológica permitió reducción del peso de un 24%, o el caso de estudio de Francisco, Guerrero, & César (2013), que utiliza una metodología donde el área de estudio es un soporte de balancín utilizado en suspensiones automotrices, para minimizar el uso del material, donde se realiza la modificación geométrica de la estructura, utilizando el criterio de distribución de esfuerzos homogéneos permitió minimizar el volumen al 35% de la estructura inicial, en el caso de

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

investigación de José & Andrés (2013), utiliza la caracterización a través de un estudio de cargas estáticas y dinámicas a partir de resultados y simulaciones computacionales de una pieza automotriz donde se logra reducir el peso del material a un 17.3%.

El diseño de piezas de máquinas, además de cumplir el requisito de estabilidad, el peso mínimo es un factor determinante. Los resultados del análisis estructural se utilizan convencionalmente por los diseñadores con el propósito de mejorar el desempeño de las estructuras. Así mismo se tiene la ventaja de acortar los tiempos de desarrollo de productos. En la construcción ligera de máquinas y mecanismos la mejora del diseño representa una alternativa económica para la sustitución de materiales (Ramírez et al., 2013).

El vehículo motorizado que participe en algún tipo de competencia debe tener un rendimiento alto en términos de aceleración, frenado y manejo. Además debe ser lo suficientemente resistente para completar con éxito las etapas descritas de una competencia, los factores de diseño que deben ser considerados son: estática, costo, ergonomía, facilidad de mantenimiento, fabricación y fiabilidad (Reyes, 2017).

El diseño de una autoparte o en este caso un chasis, se deriva de diferentes enfoques, se puede empezar analizando el material disponible, cargas a las que está sometido, la usabilidad y su geometría; entonces es determinante seleccionar los materiales que pueden ocuparse en la construcción de elementos, considerando especialmente los de fácil adquisición en el mercado local o de exportación.

En la actualidad existen varias herramientas computacionales en la ingeniería que de alguna manera pueden ser utilizadas para diseñar el prototipo mejorado de un chasis de una motocicleta, al combinar técnicas de diseño con optimización estructural considerando el proceso de mano factura Mejía & Andrés (2016), para reducir su masa, partiendo de análisis

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

de los resultados de las simulaciones computacionales, para definir las zonas en las cuales es viable eliminar material; y lograr un buen porcentaje de reducción (Calle & Cumbe, 2017).

Justificación

En el diseño del chasis se tiene en cuenta el uso que se le vaya a dar a la motocicleta, es decir si va hacer de campo, carretera o ciudad y el motor que vaya a incorporar dependiendo del número de cilindros, disposición y si va a realizar funciones portantes. Para ello además la geometría, se tienen en cuenta criterios como son rigidez y la ligereza del chasis (Casajús, 2017).

Dentro de los intereses de la investigación de una optimización del chasis, es estudiado con miras a realizar un aporte a la Federación Ecuatoriana de Motociclismo del Ecuador (FEM), entidad que se dedica a este tipo de competencias impulsando al deporte del motociclismo, el objetivo del trabajo al realizarse, permitirá rediseñar un chasis de menor peso, compararlo con diferente material y que este cuente con las mismos requerimientos mecánicos que el actual, empezando por el análisis geométrico del modelo inicial de una motocicleta de enduro "Honda CRF 230", utilizando un *software CAD* como herramienta de optimización y análisis.

La optimización de un componente permite reducir su peso, sin alterar su topología, (Mejía & Andrés, 2016). En esta investigación el caso de estudio es el bastidor de una moto, esto significa mejorar su relación peso - potencia, adoptando un método que se ha aplicado para el análisis de optimización topológica para motocicletas de pista Ochoa & Salameda, (2013), se realizará la revisión bibliográfica y se utilizará la mejor metodología para aplicar en el desarrollo del rediseño de un chasis enfocado para competencias de enduro, tomando en consideración nuevas variables. Para el desarrollo del trabajo se deberá caracterizar el material mediante una probeta extraída del bastidor de la motocicleta del caso de estudio,

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

luego mediante un análisis estático se va a obtener las cargas y fuerzas que actúan sobre el elemento estructural para establecer las condiciones de frontera y elaborar la verificación de los valores de tensiones y deformaciones en los puntos específicos del chasis, la modelación de la geometría del proyecto se va a efectuar en el programa comercial gratuito de diseño *SolidWorks* y posteriormente se simulará los análisis antes mencionados con el programa comercial gratuito *SolidWorks Simulation*, con el análisis topológico del chasis mediante el método de elementos finitos.

Para la validación de resultados se realizará matemáticamente utilizado en una metodología basado en el análisis a fatiga del valor del factor de seguridad que nos entrega el programa *CAM* a través del método de elementos finitos (FEM), considerando la relación del material empleado y las condiciones máximas de tensión que ejerce sobre el elemento estructural, se elaborará una comparación de resultados de las simulaciones con dos distintos materiales, realizando la optimización del chasis original vs la optimización del chasis de con el material alternativo, con la finalidad de disminuir el peso y encontrar el bastidor óptimo, a través de las formulación de las simulaciones se obtendrá los valores de desplazamiento, deformación, esfuerzo y coeficientes de seguridad en zonas más críticas de chasis, manteniendo los requerimientos mecánicos y asegurando la viabilidad del proyecto.

Con el resultado de la investigación se permitirá optimizar el diseño, reduciendo su peso con respecto al actual, en el estudio se utilizará distintos materiales que aportarán con datos y resultados a través de las simulaciones con el fin de desarrollar una empresa dedicada exclusivamente a ofrecer este servicio a nivel nacional en campo de las competencias de motociclismo, para disminuir la dependencia de importación de tecnología y rediseños de chasis debido a que es un deporte que está tomando mucho impulso a nivel nacional.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Objetivos.

General.

- Optimizar el chasis de la motocicleta “HONDA CRF 230”, a través de la caracterización de materiales y simulación mediante elementos finitos, y para la disminuir el peso del componente original.

Específicos.

- Definir una metodología específica que determine las fuerzas que actúan en un chasis de motocicleta para la elaboración del análisis estructural y el proceso de simulaciones.
- Plantear una investigación para identificar el material del que está fabricado el chasis de “Honda CRF 230”, por medio del análisis químico de materiales de espectrometría de chispa.
- Modelar el chasis de la motocicleta con la ayuda del programa gratuito *SolidWorks* para elaborar el mallado del prototipo y obtener los niveles de tensión, deformación, desplazamiento y factor de seguridad mediante el método de elementos finitos.
- Modificar el chasis original con el análisis de cargas y esfuerzo, a través de la optimización topológica del material original para determinar el porcentaje de reducción de peso.
- Validar matemáticamente el factor de seguridad mediante fatiga para la confirmación de resultados.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Estados del Arte.

Motocicleta.

La evolución de la motocicleta a lo largo de la historia, es algo que siempre ha dependido de la utilización que de ella ha demandado la sociedad. Por supuesto, la evolución tecnológica ha sido vital en dicho proceso evolutivo, pero casi siempre ha dependido de las necesidades que este tipo de vehículo tan particular ha cubierto en la sociedad (Arias, 2003).



Figura 1. Motocicleta "HONDA CRF 230"

Fuente: Autor

Tipos de Motocicletas.

Hay tantos tipos de motocicletas, y las clasificaciones se encuentran asignadas mediante el tipo de uso que se las quiera dar. Con el tiempo el modelo ha evolucionado y seguirá evolucionando hacia conceptos más específicos como se los va a ver a continuación. Para este proyecto se va a tomar en cuenta una motocicleta denominada de Cross o enduro como se puede observar en la tabla 1, donde detalla los modelos y utilidades una máquina con

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

especificaciones técnicas acorde a la participación de carreras, nuestro caso de estudio será concretamente de la marca HONDA, un chasis de una moto de cilindraje de 230 CC.

Tabla 1.

Clasificación general de motocicletas y utilización.

TIPOS DE MOTOCICLETAS				
DESCRIPCIÓN	UTILIDAD	ESQUEMA	DEFINICIÓN	EJEMPLOS
Motos deportivas	Pensadas para pista de carrera, adaptadas para usar en la calle.		Este tipo de máquinas están equipadas de una carrocería que mejora su dinámica, con el fin de alcanzar altas velocidades por encima de los 250km/h. La posición de conducción de una moto obliga al cuerpo a estar muy adelantado, para facilitar la aerodinámica, tienen mejor relación de peso potencia.	Hayabusa, R1, R6, CBR, FZR, ZX, ZZR, GPZ, GSXR
Motos Naked	Motos para usar en la ciudad		Obtiene este calificativo por la ausencia de carenado, dando la impresión de llevar descubierto gran parte de la mecánica de la misma, son motos de alto cilindraje (300cc o más) con mucha potencia.	NightHawk, B-King, Fazer (sin carenado), Bandit, V-Max, GSR, GS-500
Motos de Calle	Motos para utilizar en la ciudad y trabajar		Estas motos tienen el diseño de carrocería exclusiva para la ciudad, son todas aquellas de bajo cilindraje (100cc a 250cc) ya sea para transporte o trabajo, son muy económicas en precio y consumo.	Pulsar, Boxer, YBR, GS-125, GN-125

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Motos tipo Turismo, Sport - Turismo y Trails

Diseñadas
para viajar



Este tipo de moto es ideal para los viajes largos, suelen ser de media o gran cilindrada, máquinas muy grandes y espaciosas, conformadas por dos maletas de ambos lados de la parte trasera.

Goldwing, Varadero, TDM, V-STROM, FJR, SuperTenere, Transalp, Africa Twin, Dominator, Pacific Coast.

Motos Custom y Chopper

Pensadas
para paseos
(cruiser) por
la ciudad o
ruta.



Es una moto que destaca por su estética, y su particular estilo, son motos de no mucha potencia donde lo importante es el par motor y pocas revoluciones, se caracteriza por el sonido característico de su motor.

Harley Davidson aunque también hay variedad de modelos y cilindradas en el mercado, como la Honda Shadow, Virago, Intruder, Vulcan.

Motos Scooters, maxiScoot ers y Ciclomoto res

Para usar en
la calle



Es un tipo de motocicleta con un cuadro abierto en la que el conductor se sienta sin necesidad de montar sobre el motor, se caracterizan por tener ruedas más pequeñas entre 8 y 14 pulgadas de diámetro. El motor se encuentra debajo del asiento con una transmisión variable, con tracción a la rueda trasera. El cilindraje del motor oscila entre los 30cc y 250cc de un sólo cilindro que llegan hasta los 50cc

BWS, Elite, Helix, Sigma, Axis, Econo, Dax, Vespa, Piaggio, Burgman, Yamaha TMax, Honda Silver Wing, etc.

Motos Cross y Enduro

Motos para
usar off-road
y en
circuitos



Este tipo de motos se caracterizan por circular por terrenos irregulares, tienen las suspensiones con más recorrido que otro tipo de motos y se aplica toda la potencia para sacarle la mayor aceleración posible ya que no hace falta que tenga mucha velocidad. Se

Cross de 2 tiempos: CR, RM, YZ, KX. Cross y enduro 4 tiempos: CRF, YZF, DRZ, XR, KLX, DR, KXF

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Motos Supermoto

Motos para competencia en pista y todoterreno



trata de un vehículo apto para ir por los caminos, subir montañas, transitar rutas y cruzar ríos. el cilindraje de esta moto está entre los 125cc de 4 tiempos y dos tiempos con caja de 5ta que alcanza hasta los 90km/h. los de mayor cilindrada son de 350cc, 400cc y 600cc, alcanzando hasta los 145km/h.

Supermotard es una fusión entre el motociclismo de carretera y el motocross. usualmente son utilizadas para pista y terreno con algunos saltos, el énfasis predomina en carreras lentas (velocidades máximas inferiores a 100mph/160km/h)

Supermoto
KTM 690,
Yamaha
XT660X,
Kawasaki KX
250, Honda
CRF 450, etc.

Cuadrimotos y Triciclos

Motos para usar en off-road y en circuitos



Son motos que internacionalmente pertenecen a lo que se llama ATV o all-terrain vehicle (vehículo todo terreno) refiriéndose a los vehículos abiertos de 3 o más ruedas, cuyo asiento se monta, con manubrios diseñados para off-road.

FourTrax,
Blaster, TRX,
Can-Am,
Raptor,
KingQuad,
QuadSport,
etc.

Motos de nieve

Uso en nieve y hielo, de forma deportiva o transporte



Este tipo de moto es semejante a un trineo pero motorizado, su medio de propulsión es a través de una oruga de goma y su dirección es maniobrada con esquís. Están diseñados para nieve o hielo no requieren un camino, son de alta cilindrada y potencia pueden

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Motos Trial

Motos para terrenos abruptos



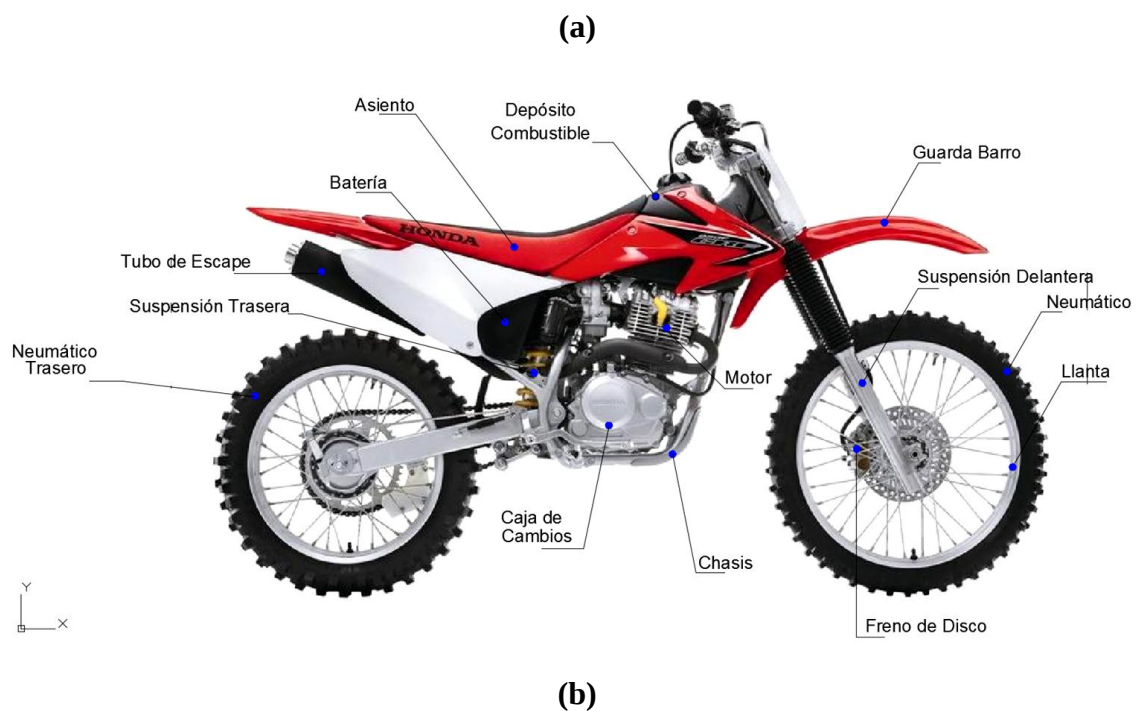
alcanzar los 100km/h en 4 segundos.

Caracterizadas por un cambio de velocidades muy corto y un par motor muy elevado. Se utilizan para circular por terrenos muy abruptos y para salvar grandes obstáculos.

Nota: Se ha tomado la información de (Arias, 2003) y (Wilkinson, 2010), para elaborar una tabla de clasificación de las motocicletas de distintos usos.

Componentes principales

En la figura 2 se detalla los componentes de la motocicleta del caso de estudio de forma frontal y lateral considerado de mayor importancia para la mayoría de las motocicletas son las siguientes:



REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA



Figura 2. Partes principales de Motocicleta, vistas a) lateral, b) posterior

Fuente: Autor

Motor.

El motor es el encargado de generar el par necesario para acelerar la motocicleta. Para este tipo de vehículos suelen utilizarse motores de combustión interna de dos y cuatro tiempos. El motor de cuatro tiempos compite en las pequeñas cilindradas con el motor de dos tiempos que le aventaja en simplicidad y ligereza. La cilindrada depende del modelo de motocicleta en cuestión (Gutiérrez & Torres, 2005). Dejando a un lado consideraciones sobre la suavidad y regularidad de marcha o arranque, se puede afirmar que, salvo excepciones, siempre que se ha aumentado el número de cilindros ha sido en busca de mayor potencia. La motocicleta HONDA CR 230 conforma un motor mono cilíndrico de 4 tiempos y 223 cm³, refrigerado por aire, desarrolla una elevada potencia de fácil de utilización y un gran par a lograrlo de un

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

amplio rango de rpm, consta de un carburador de 26 mm para una respuesta instantánea al acelerar, versátil cambio de 6 velocidades de suave engranaje (Honda, 2013).

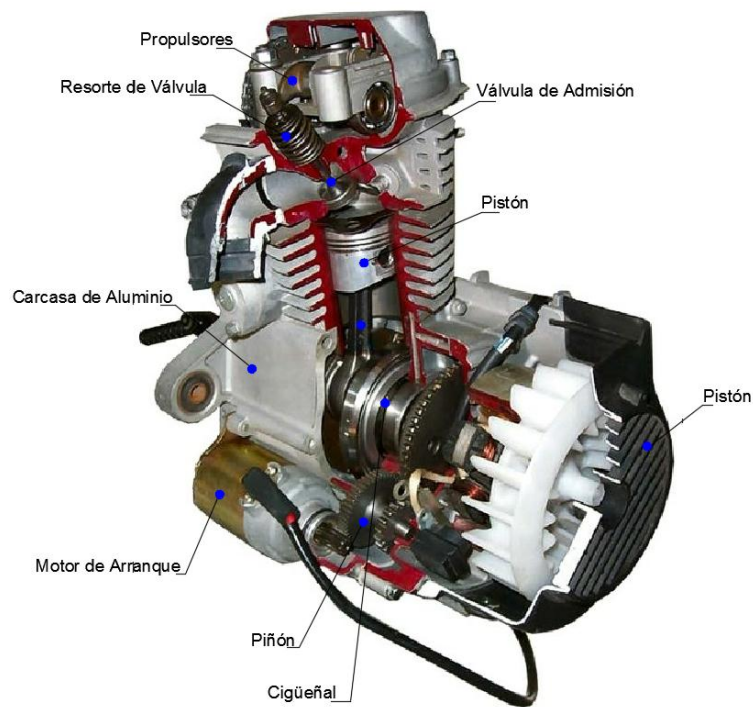


Figura 3. Partes del Motor de 4 tiempos Honda CRF 230.
Fuente: Autor

Definición del chasis

El chasis o bastidor es una estructura interna encargada de aportar sostén, rigidez, y forma al vehículo en cuestión. Se trata de un armazón generalmente fabricado de hierro, aleaciones con acero o algún metal similar que ofrezca buenas prestaciones en términos de dureza, que integra y da soporte a todos y cada uno de los componentes mecánicos que forman parte de la motocicleta (Autoscut, 2018).

La estructura general del chasis, independientemente de su tipo, varía en todas las motocicletas, dependiendo de su utilización, el diseño geométrico tiene diferentes formas, en el campo del motociclismo existen diferentes formas de bastidores, para este proyecto el chasis del modelo CRF 230 es un chasis de la forma que se observa en la figura 4, donde se muestra un chasis de simple cuna desdoblada.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

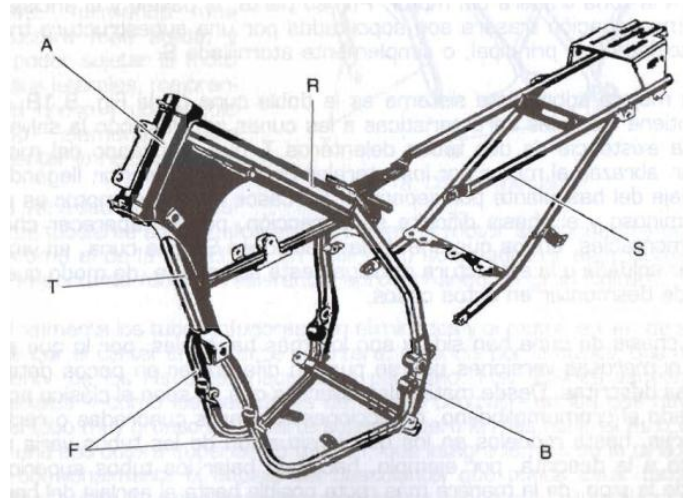


Figura 4. Partes principales del chasis

Fuente: (Arias, 2003).

En el caso de la figura 4, se dispone de una sección normalmente reforzada en la pipa de dirección “A” y un tubo descendente “T” hacia la parte anterior del motor. Por otra parte, la zona inferior del motor y el anclaje del basculante “B” se sujetan mediante tubos “R” que partiendo desde la pipa, sortean el motor por su parte superior, y bajan hacia ellas, desdoblándose, o bien en la propia pipa, o bien al llegar a la zona trasera del motor. Por su parte, el pasaje y el anclaje de la amortiguación trasera son soportados por una subestructura trasera soldada a la principal, o simplemente atornillada “S”, además de las barras de los anclajes para el motor “F” (Arias, 2003).

El chasis, que puede ser simple, de doble cuna, multitubular, de chapa estampada, doble viga, monocasco, etc. Suele construirse preferentemente de acero o aluminio, en casos más raros en magnesio, carbono o titanio (Gutiérrez & Torres, 2005). El chasis que conforma el modelo a estudiar es un chasis ligero de cuna semi doble, fabricado en acero de alta resistencia a la tensión Honda (2008), se observa de forma detallada y en despiece en la figura 5.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

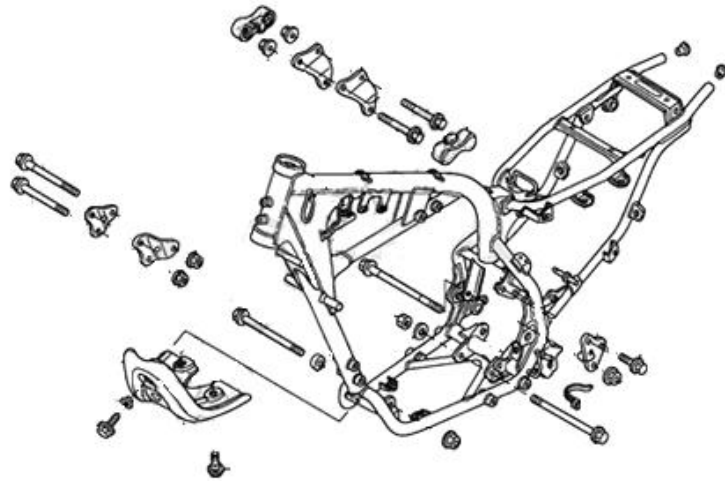


Figura 5. Bastidor Cuna Semi Doble Honda CRF 230.
Fuente: (BikeParts, 2018)

Geometría el chasis.

Para hablar sobre la estabilidad de una motocicleta se debe relacionar la rigidez y la geometría ya que son muy vitales en este tema. Normalmente la rigidez necesaria va en función de la potencia del motor y las características dinámicas. Para hablar de la geometría debemos definir primero unos cuantos conceptos, como se observa en la figura 6, se detallan diferentes parámetros de actúan sobre la motocicleta para definir la estabilidad.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

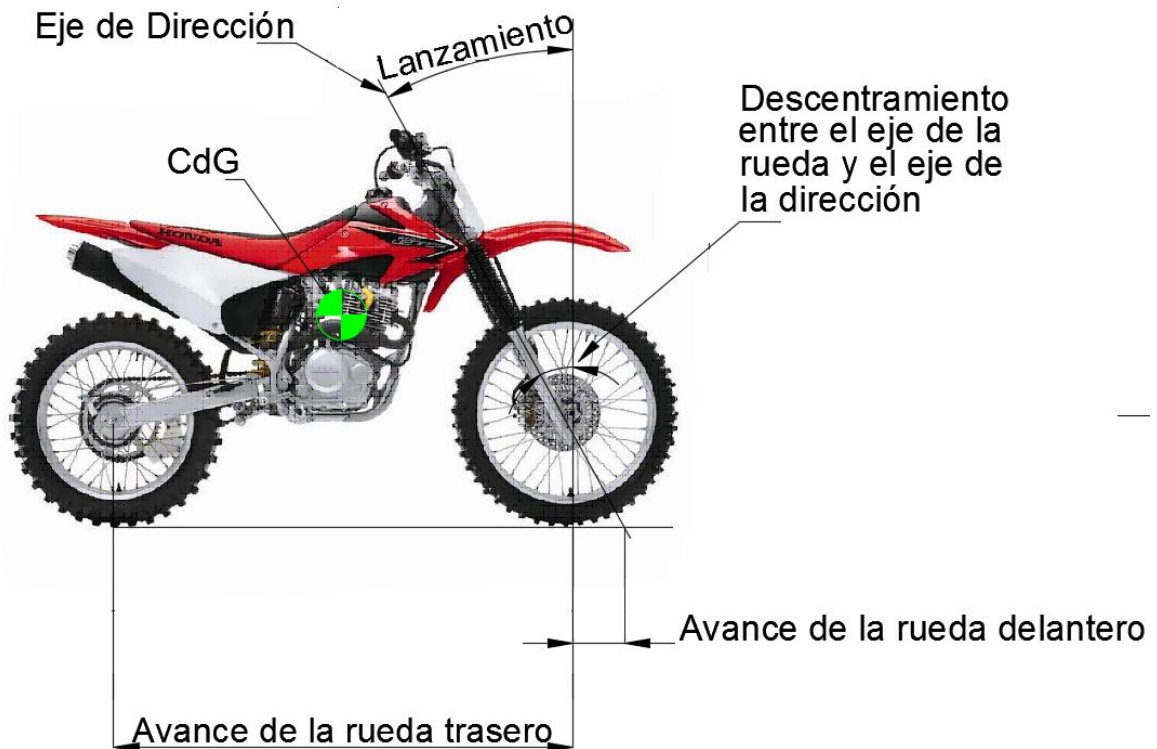


Figura 6. Geometría básica de una motocicleta

Fuente: (García & Foale, 2012).

Donde el eje de la dirección es la recta que pasa por la pipa de dirección del chasis y sobre la cual gira el sistema de dirección, entonces:

El avance: Se conoce a la distancia que existe a nivel de suelo entre el centro de la huella de contacto y el punto en el cual el eje de dirección intersecta con el suelo. La rueda delantera y la trasera tienen su propio avance.

Lanzamiento: Es la inclinación hacia atrás que tiene el eje de la dirección.

CdG: El centro de gravedad de la motocicleta.

Adelanto de la horquilla: La horquilla de la suspensión va unida al mecanismo de la dirección a través de dos piezas puente, también llamadas tijas, que le proporcionan una posición adelantada a la horquilla con respecto a la dirección, se mide en ángulo recto con respecto al eje de la dirección (García & Foale, 2012).

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Materiales

Para decidir con que material se va a modelar el chasis se debe tener en cuenta una serie de características, puesto que no todas las marcas de vehículos motorizados tienen los mismos materiales varían por su peso, tamaño y diseños que se adaptan los motores de cada uno de ellos, pero para la selección del material y tomar en cuenta la simulación y los resultados de las mismas, se debe tomar en cuenta de diferentes propiedades como la rigidez, densidad, ductilidad, resistencia, fatiga, costes de material y del proceso y de los métodos de unión disponibles o requeridos. Los valores de estas características dependerán del tipo de uso del mismo y del grado de exigencia que queramos obtener del chasis a proyectarse (Navarrina, Colominas, Casteleiro, & Muiños, 2012).

A continuación se plantea las diferentes conceptos donde se detalla las propiedades mecánicas de los materiales, valores que son esenciales para el desarrollo de diseños de diferentes piezas ya sean automotrices o industriales.

Resistencia la Tensión (Su)

Es el punto máximo de la curva esfuerzo - deformación, es la resistencia última a la tensión. En esta prueba se mide el máximo esfuerzo aparente en la barra de prueba como se muestra en las figuras. El esfuerzo aparente se calcula al dividir la carga entre el área de la sección inicial de la probeta (Tobergte & Curtis, 2013)

Una vez alcanzada la carga máxima, existe una disminución del diámetro de la barra y posteriormente existe el esfuerzo a la ruptura.

Los ensayos de compresión - deformación se realizan de forma similar a los de tracción, con la diferencia que en lugar de estirar la probeta, ahora se comprime. La fuerza de compresión se considera negativa, produciendo un esfuerzo negativo. En la figura 15, el

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

diagrama de endurecimiento por deformación para el acero se observa donde se encuentran el límite de proporcionalidad y elástico; esfuerzo de fluencia y resistencia a la tensión.

DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN

materiales dúctiles en tensión

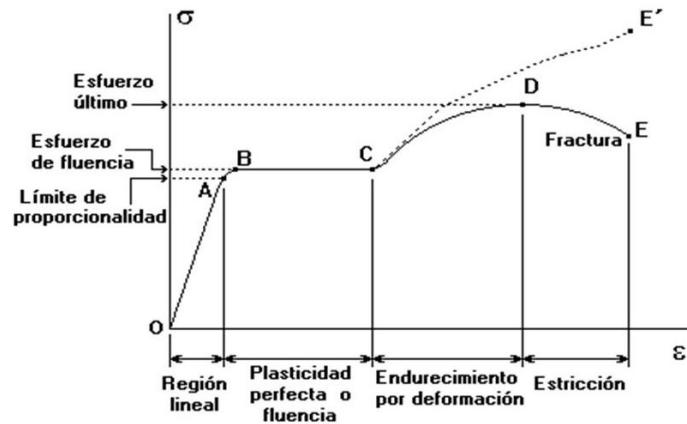


Figura 7. Diagrama esfuerzo – Deformación
Fuente: (Pino, 2002)

En la figura 8 se observa el diagrama de esfuerzo - deformación unitaria para el aluminio o metales que no tienen punto de fluencia.

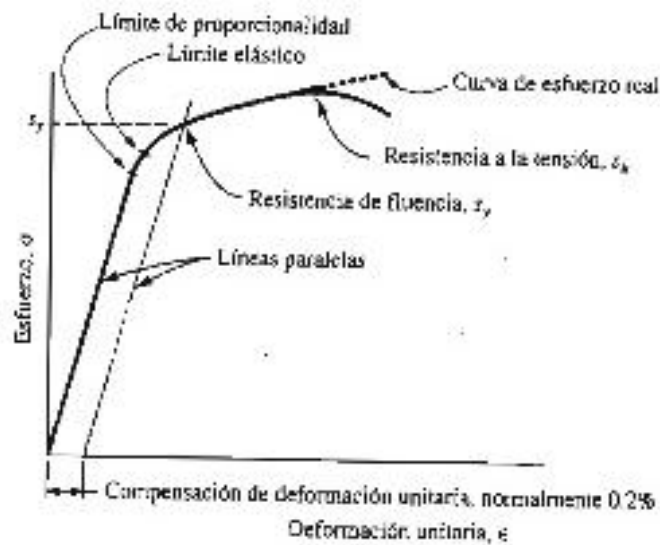


Figura 8. Diagrama de esfuerzo deformación Materiales no ferrosos
Fuente: (Mott, 2006)

Resistencia a la fluencia (S_y)

Donde existe un gran incremento de la deformación con poco o ningún aumento del esfuerzo en el diagrama anterior, se denomina resistencia de fluencia. Esto ocurre cuando la barra se

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

deforma permanentemente. Si el punto de fluencia es notable, la propiedad se denomina punto de fluencia, caso contrario se llama resistencia de fluencia (Tobergte & Curtis, 2013)

En el gráfico de la figura 16 se observa un diagrama esfuerzo deformación unitaria de metales no ferrosos o de ciertos aceros de alta resistencia, donde no existe un marcado punto de fluencia, pero el material ha cedido cerca del valor del esfuerzo señalado como (S_y). El punto de intersección entre una paralela recta a la curva trazada a la derecha y compensándose en un 0.20% define como la resistencia de fluencia del material (Reyes, 2017).

Límite elástico

Cuando la barra de retorna a su forma original después de aplicar una fuerza, decimos que se encuentran en la zona elástica y si se mantiene deformada significa que llegó a la zona plástica. El límite elástico se encuentra cerca de la resistencia de fluencia.

Módulo de elasticidad

En el diagrama esfuerzo - deformación de materiales dúctiles Figura 16 dúctiles, se visualiza en la primera parte una recta, esto indica que el esfuerzo es proporcional a la deformación unitaria y el valor del módulo de elasticidad es la constante de proporcionalidad definida y la pendiente de la recta del diagrama. El módulo de elasticidad indica la rigidez o la resistencia a la deformación del material.

Ductilidad y porcentaje de elongación

Los componentes contruidos en materiales dúctiles, se detecta con facilidad una eminente falla, es decir no es común una falla repentina; entonces lo contrario de ductilidad es la fragilidad. La ductilidad es la deformación de un material antes de su fractura final. Los componentes fabricados en materiales dúctiles resisten mejor que los contruidos en materiales frágiles a cargas repetitivas.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

La ductilidad es el porcentaje de elongación, este a su vez es la diferencia entre la longitud final y original, dividida para la longitud original, para convertirlo en porcentaje se multiplica por cien. Cuando el porcentaje es mayor al 5% el material es dúctil, caso contrario es frágil. Materiales con elongaciones mayores al 12% son recomendados para componentes que deben soportar cargas repetitivas.

Relación de Poisson

La relación de la deformación unitaria de contracción y tensión se denomina relación de Poisson. Los valores típicos para el acero son de 0.27 a 0.30 y para el aluminio de 0.30 a 0.33 (Ingemecánica, 2018).

Dureza

La dureza de un material, es la resistencia a ser penetrado. Los equipos más utilizados para medir dureza son Brinell y Rockwell. El primero ocupa penetrador una bola de acero endurecido, de 10 mm de diámetro, la carga es de 3000 kg fuerza o 500 kg dependiendo del metal. El durómetro Rockwell utiliza una bola de 1/16 pulgada de diámetro de acero endurecido, con una carga de 100 kg para metales blandos. En aceros con tratamiento térmico, se utiliza la escala Rockwell C, la carga es de 150kg, el penetrador es de diamante y tiene una forma cónica esférica (Tobergte & Curtis, 2013).

Tenacidad

Es la capacidad para absorber energía aplicada que tiene un material, sin que sufra fractura, los compontes sometidos a cargas aplicadas repentinamente deben tener un alto nivel de tenacidad.

Densidad

La densidad es una propiedad física del material y se define como la masa por unidad de volumen.

Soldabilidad del acero SAE 8620

La soldabilidad es la capacidad que tienen los materiales, de la misma o diferente naturaleza, para ser unidos de manera permanente mediante procesos de soldadura, sin presentar transformaciones estructurales perjudiciales, tensiones o deformaciones que puedan ocasionar alabeos. La soldabilidad de un material constituye una propiedad muy compleja y en muchas ocasiones queda condicionada a variaciones metalúrgicas y sus propiedades (Ramirez, 2016).

En la figura 9, se presenta la soldabilidad del acero en función de su porcentaje de carbono

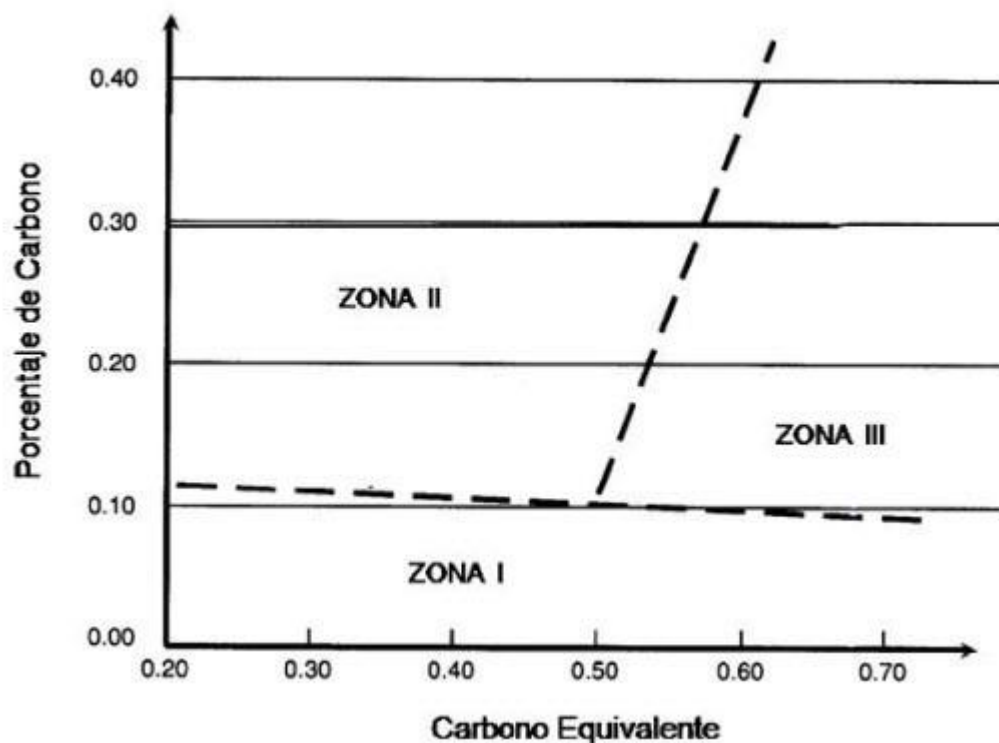


Figura 9. Diagrama de Graville, efecto del carbono en la soldabilidad del acero
Fuente: (Metfusion, 2018)

Un parámetro útil para evaluar la soldabilidad de los aceros es el concepto de Carbono Equivalente (CEV), que equipara las soldabilidades relativas de diferentes aleaciones de acero y las compara con las propiedades de un acero al carbono simple. El código API 1104 AB presenta la ecuación desarrollada por el Instituto Internacional de Soldadura, y cuya

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

expresión es la siguiente, donde los contenidos de los elementos químicos se expresan en tanto por ciento (%).

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (1)$$

Donde:

- *CE:* *Carbono Equivalente*
- *C:* *Carbono*
- *Mn:* *Manganeso*
- *Cr:* *Cromo*
- *Mo:* *Molibdeno*
- *V:* *Vanadio*
- *Ni:* *Níquel*
- *Cu:* *Cobre*

A medida que se eleve el contenido equivalente de carbono, la soldabilidad de la aleación de acero que se trate decrece. Como se puede observar en la tabla 2, como regla general, un acero se considera soldable si el carbono equivalente, obtenido según la fórmula anterior, es menor a 0.4%.

Tabla 2.
Equivalencias de soldabilidad de un acero de bajo carbono.

Carbono Equivalente CE	Soldabilidad
CE < 0.40	Excelente
0.41 < CE < 0.45	Buena
0.46 < CE < 0.52	Regular
CE > 0.52	Pobre

Nota: En la tabla se encuentran los valores resultados del carbono equivalente para la clasificación de su soldabilidad aporte de (Metfusion, 2018)

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Análisis por el Método de elementos finitos (FEM)

El diseño de nuevos productos es de crucial importancia para la supervivencia de la mayoría de empresas, esos ayudan a mejorar el producto final y minimizar costos, implementando variación de tecnologías para el análisis de los mismos y consiguiendo un resultado más eficiente y económicos (Vega, 2012).

El análisis por Elementos Finitos se define como un método para la solución de problemas de ingeniería, donde la resolución involucra un alto grado de dificultad, porque se trabajan en estudios donde se tienen geometrías complejas, cargas no distribuidas, están en función de las propiedades de los materiales y porque las soluciones analíticas generalmente requieren la solución de ecuaciones diferenciales parciales u ordinarias que tienen un grado alto de dificultad para resolverlo matemáticamente (Alvarez Cabal, 2014).

Topología de optimización

La optimización de la topología es una práctica de ingeniería bien establecida para optimizar el diseño de las piezas y crear estructuras livianas y de bajo costo; que históricamente han sido difíciles o imposibles de realizar García & Foale (2012), durante la topología la estructura cambia pero la topología es constante Navarrina (2012), para la actualidad existen potentes *software CAE* con capacidad de realizar procesos de optimización topológica para integrar evolución de desarrollo de cualquier producto.

Trabajos realizados sobre optimización de chasis.

Existen diversos trabajos donde se han aplicado el método de optimización topológica ya sea en piezas mecánicas o en diversos prototipos con la finalidad de reducir su masa sin afectar sus requerimientos mecánicos, que son empleadas tanto en el área automotriz como industrial por ejemplo en el estudio de Meza (2015), mediante la utilización de un algoritmo que se usó para rediseñar una pieza mecánica existente, donde la optimización topológica permitió

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

reducción del peso de un 24%, o el caso de estudio de Francisco, Guerrero, & César (2013), que utiliza una metodología donde el área de estudio es un soporte de balancín utilizado en suspensiones automotrices, para minimizar el uso del material, donde se realiza la modificación geométrica de la estructura, utilizando el criterio de distribución de esfuerzos homogéneos permitió minimizar el volumen al 35% de la estructura inicial, en el caso de investigación de José & Andrés (2013), utiliza la caracterización a través de un estudio de cargas estáticas y dinámicas a partir de resultados y simulaciones computacionales de una pieza automotriz donde se logra reducir el peso del material a un 17.3%.

El estudio de optimización de chasis para un vehículo motorizado es de suma importancia, ya que se tienen consideraciones con diversos parámetros donde se comprueba la factibilidad del proyecto, en el siguiente estudio se comprueba la reducción del peso de un chasis al 17.3 %, de esta manera se ha tomado esta metodología de Ochoa & Salameda (2013), con diversos parámetros que utiliza para la modificación, con la diferencia que se aplican a la estructura de una motocicleta de enduro, donde mediante este estudio se caracterizan las cargas estáticas que soporta el bastidor, y con el resultado de las simulaciones computacionales se definen las zonas en las cuales es viable la eliminación del material.

Sobre el prototipo se realizarán los estudios de validación de la propuesta de diseño del mismo estudio mediante el análisis matemático del factor de seguridad de Tobergte & Curtis (2013), donde se considerando las propiedades físicas, geométricas y ambientales del material además de la relación del esfuerzo máximo de frenado con el eje delantero y el mínimo de aceleración.

Método

La investigación que se presenta en este estudio se enfoca en desarrollo de un análisis topológico para la estructura de un chasis de una motocicleta de competencia mediante el método de investigación de exploratoria, con la referencia de estudios previos que se han realizado y la investigación descriptiva, estableciendo distintas puntos de análisis como son la caracterización de la probeta del material original del bastidor, una metodología para elaborar un análisis estático y definir las condiciones de frontera para las simulaciones mediante el programa de diseño *CAM*, de esta manera analizar los resultados de tensiones y esfuerzos para practicar el análisis topológico del elemento estructural, y finalmente elaborar la comparación de resultados.

En la investigación se aplicará la metodología del análisis orientado al uso y optimización de los elementos más idóneos en el diseño del chasis de motocicletas de competencia, como la primera etapa consiste en buscar información bibliográfica sobre la aplicación del componente "Chasis HONDA CRF 230", se desarrollará la identificación de diversas técnicas de optimización de esta manera se ha seleccionado la más idónea que se ajuste al análisis estructural del caso de estudio, donde se va a emplear para elaborar el rediseño del bastidor de una motocicleta, enfocado en la disminución del peso.

Condiciones de frontera análisis estático

En la segunda instancia es importante establecer las condiciones de frontera con las que se va a trabajar en las simulaciones, cada elemento que compone la estructura del chasis está relacionada con un esfuerzo al que está sometido, se deberá encontrar una metodología específica con base de distintos estudios bibliográficos que relacionen análisis de fuerzas y cargas que se poseionan sobre estructuras del bastidor con la finalidad de encontrar una guía para localizar las fuerzas principales que actúan en el chasis, a través de un análisis estático, establecer las condiciones de frontera que servirán en las simulaciones.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Criterios para el rediseño de un chasis

El diseño óptimo del chasis depende del tamaño, la forma del motor y la finalidad que va a tener la máquina. Mientras que la estructura se compone de una pequeña columna vertebral tubular de acero prensado, esta se debe adaptar a una motocicleta, teniendo en cuenta los criterios estructurales y económicos, las máquinas de grandes prestaciones pueden ser mejor diseñadas con el motor como el principal elemento estructural. A pesar de posibles beneficios estructurales y económicos, esta configuración no ha encontrado mucha aceptación entre los principales fabricantes, donde podría desarrollarse fluidamente, ya que el motor debe ser especialmente diseñado con requerimientos estructurales (Vergara, 2011).

En la última década la técnica que se utiliza es la que dictamina la ingeniería de la informática, puesto que en la actualidad se utilizan potentes *software* de Diseño Mecánico y es posible incluso ensamblar el chasis y cualquier tipo de máquina o mecanismo con el resto de componentes sin tocar ni un solo tornillo DimensionCad (2018), como se observa en la figura 7, donde muestra una motocicleta totalmente ensamblada en un programa de diseño. Por otro lado el avance tecnológico referente al diseño mecánico relacionado con la informática han dado pasos agigantados para el incremento de un sinnúmero de programas que permiten desarrollar cálculos y simulaciones, con la finalidad de prever con bastante exactitud el comportamiento de la estructura bajo cargas similares a las que actúan los elementos que se va a analizar en este caso sobre la moto en la vida real. Esto representa un importante avance en la tecnología y la reducción de costos y sobre todo los tiempos de desarrollo ya que permite someter nuestro chasis a ensayos virtuales, de diversas naturalezas, sin tener que fabricar prototipos para ensayarlos en la realidad, solo hace falta modificar la configuración de nuestro modelo virtual a través de *software* apropiado y el ordenador hará el resto, el *software* de simulación CAD (Dibujo Asistido por Computador) y CAE (Ingeniería Asistido por Computador), que permite determinar previamente si un mecanismo o

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

componente soportará cargas y restricciones y garantizar que las estructuras formadas se encuentran dentro de los criterios de diseño (Mena, 2016).

Para establecer la forma, dimensión y material, se debe conocer las funciones que tiene el chasis en las cuales se detallan de la siguiente manera:

- Cargas estáticas
- Resistir las fuerzas alrededor de del chasis en el eje delantero y posterior causados por la aceleración y el frenado.
- Soportar los momentos de torsión en el chasis cuando este se encuentre en curvas o pase por superficies irregulares.
- Resistir las fuerzas que transmite y recibe de la suspensión.

Con el soporte y ayuda de la tecnología en la actualidad los programas de diseño, simulación y análisis de elementos finitos ayudan a comprobar la factibilidad de la construcción del componente, evitando gastos de prueba y error que se realizaban cuando se carecía de estas aplicaciones, en la figura 10 se aprecia el diseño geométrico de una motocicleta con cada uno de los detalles, materiales donde se puede elaborar las simulaciones de cualquier componente que se necesite analizar esto es realizado mediante el *software*.



Figura 10. Modelado CAD de un conjunto de los elementos de una motocicleta
Fuente: (DimensionCad, 2018)

Hipótesis para el cálculo de fuerzas en el bastidor

- Las fuerzas que actúan sobre el elemento a analizar y reacciones resultantes de los neumáticos, están aplicadas directamente en el chasis. Se asegura que el diseño es un elemento seguro de acuerdo a las condiciones y los esfuerzos que van a ser mucho mayores que en realidad ya que la suspensión es determinada como un elemento poco rígido.
- No se ha considerado cargas dinámicas accidentales, como por ejemplo: el viendo.
- Para el caso del ocupante se considera la masa de 80kg (Hombre), y la masa de la motocicleta de 107 kg
- El peso de la motocicleta ha sido considerado todos los accesorios limitados para su utilización.
- La transmisión de fuerzas durante la aceleración y el frenado son consideradas constantes.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Fuerzas que actúan en el chasis.

Análisis para el cálculo de cargas estáticas.

En el análisis estático, para encontrar las fuerzas y cargas que se encuentran ubicadas en los puntos estratégicos del chasis se determinará a través de la elaboración de un cálculo que se realiza mediante la creación de un diagrama de cuerpo libre del cual facilitará determinar la magnitud y ubicación de las fuerzas en el bastidor, mediante algunos valores iniciales que se detallan a través de una lista de las características técnicas de la moto encontrados en la página oficial de Honda (2013), con los resultados del análisis estático se establecerá las condiciones de frontera para elaborar las simulaciones y de esta manera obtener los valores máximo de tensiones en los elementos del chasis y también se pueda proceder a escoger los materiales alternativos con los que se va a trabajar para la comparación de resultados.

Datos de las especificaciones técnicas de la Motocicleta

- Masa de la motocicleta 107 kg (Honda, 2008)
- Masa del piloto 80 kg
- Masa total 187 kg
- Gravedad 9.81 m/s^2
- Ángulo de ataque 27° (Honda, 2008)
- Distancia entre ejes 1375mm
- Distancia horizontal del centro de gravedad al eje de rueda delantera 687.5 mm
- Altura al centro de gravedad 865.5 mm
- N_f = Normal en rueda delantera
- N_r = Normal en rueda posterior
- F_x = Fuerza de arrastre
- T = Fuerza motriz

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Fórmulas:

Equilibrio de fuerzas horizontales

$$T - F_D = 0 \quad (2)$$

Equilibrio de fuerzas verticales

$$mg - N_r - N_f = 0 \quad (3)$$

Equilibrio de momentos con respecto al CoG

$$Th - N_r(p - b) + N_fb = 0 \quad (4)$$

Carga dinámica en el eje delantero

$$Nr = mg - N_f \quad (5)$$

% de carga Estática en el eje delantero:

$$\frac{p-b}{p} = \frac{\text{Distancia entre ejes} - \text{Distancia horizontal del centro de G}}{\text{Distancia entre ejes}} \quad (6)$$

% de peso en el eje posterior

$$100\% - \% \text{ de carga en el eje delantero} \quad (7)$$

Normal entre el suelo y la motocicleta

$$N_f = mg * \% \text{ de peso en el eje delantero} \quad (8)$$

Normal entre el suelo y la motocicleta en el eje posterior

$$N_r = mg * \% \text{ de peso en el eje posterior} \quad (9)$$

Cálculo de cargas estáticas

A continuación se expresa los datos, las fórmulas, gráficos y procedimientos que se utilizará paso a paso para obtener los valores de las cargas que se encuentran dentro del elemento

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

estructural del chasis, estableciendo las condiciones de frontera para la elaboración de las simulaciones, parámetros que se han hallado mediante revisión bibliográfica. Como primera instancia en la figura 11, se elaboró la ubicación de las fuerzas normales en el eje delantero y posterior, así como la ubicación de las distancias respectivas, variables que han ayudado a encontrar los valores de la normal entre el suelo y la moto al eje delantero y posterior de la motocicleta. Para determinar los siguientes parámetros se determinara partir de lo referido por (Ochoa & Salameda, 2013).

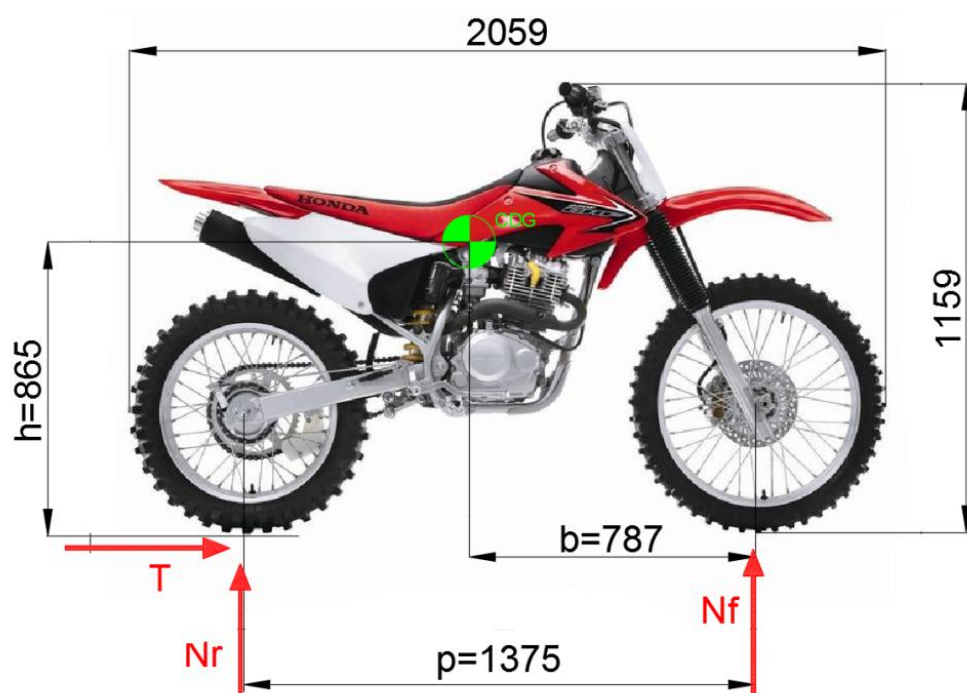


Figura 11. Esquema de la ubicación de dimensiones de la motocicleta
Fuente: (Honda, 2013).

$p = 1375mm$	<i>Distancia entre ejes</i>
$b = 787mm$	<i>Distancia del centro de gravedad y eje delantero</i>
$w_p = 80kg$	<i>Masa del ocupante (hombre)</i>
$w_m = 107kg$	<i>Masa de la moto</i>
$cedp = 0.42\%$	<i>% de carga eje delantero</i>

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

$$cepp = 0.57\% \quad \% \text{ de carga eje posterior}$$

Porcentaje de carga estática en el eje delantero.

$$ced = \left(\frac{p - b}{p} \right) \cdot 100 \quad (10)$$

Porcentaje de carga en el eje posterior

$$cep = 100 - ced \quad (11)$$

Peso de la moto y ocupante (hombre)

$$wmt = (wp + wm) \cdot g \quad (12)$$

Normal entre el suelo y la moto al eje delantero y posterior

$$Nf = wmt \cdot cedp \quad (13)$$

$$Nr = wmt \cdot cepp \quad (14)$$

Cálculos de cargas en la Horquilla.

El siguiente procedimiento de cálculo se va a ubicar las fuerzas que ejercen sobre la horquilla del chasis, el grafico de la figura 12 se observa el esquema donde se encuentran ubicadas las fuerzas y las distancias respectivas a los datos anteriormente mencionados.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

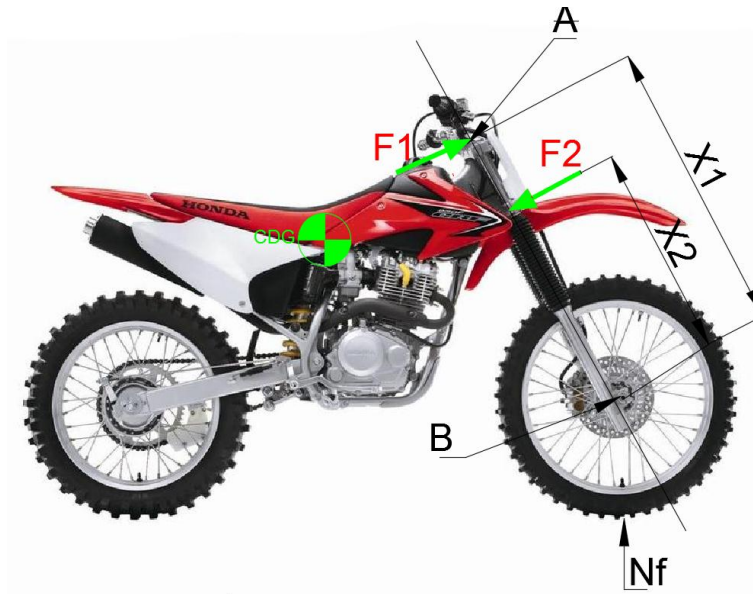


Figura 12. Esquema de la ubicación de fuerzas de la horquilla
Fuente: Autor

Para mejor comprensión y detalle se elaboró un diagrama de cuerpo libre de cada uno de los puntos donde se encuentran las fuerzas con sus respectivas distancias como se observa en la figura 13, donde tras un proceso matemático utilizando sumatorias de fuerzas y momentos se obtiene los valores que se van a utilizar en las simulaciones.

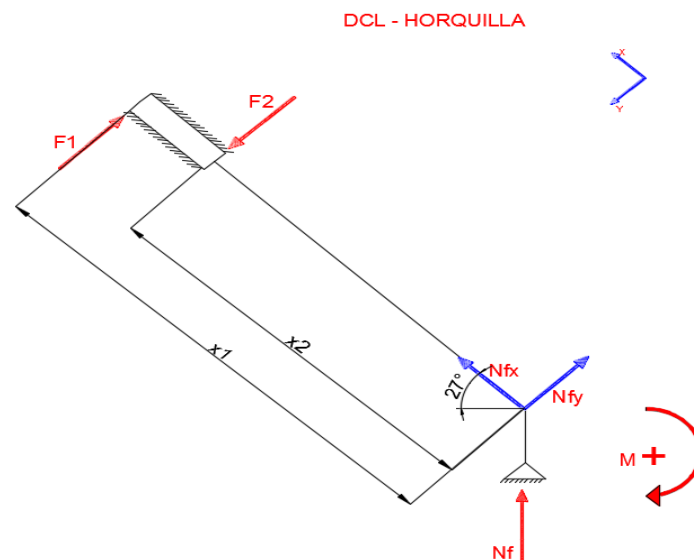


Figura 13. Diagrama de cuerpo libre perteneciente a la Horquilla "Honda CRF"
Fuente: Autor

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

A continuación se encuentran representadas cada una de las fórmulas que se utilizarán en el desarrollo del cálculo matemático para encontrar los valores de las fuerzas que actúan sobre la horquilla que servirán de ayuda para establecer las condiciones de frontera y la elaboración de las simulaciones.

$$X1 = 0.85m$$

$$X2 = 0.67m$$

$$\sum MB = 0$$

$$F1.X1 - F2.x2 = 0 \quad (15)$$

$$F1 = \frac{(Nfy.X2)}{(X1 - X2)} \quad (16)$$

$$\sum fy = 0$$

$$-F1 + F2 - Nfy = 0 \quad (17)$$

$$F2 = Nfy + F1 \quad (18)$$

Momento máximo

$$M_{\text{máx}} = F1.(0.18m) \quad (19)$$

Momento de inercia

$$D = 0.054m \quad \text{Diámetro externo}$$

$$d = 0.050m \quad \text{Diámetro Interno}$$

$$r = 0.027m \quad \text{Radio externo}$$

$$Di = \left[(D^4 - d^4) \frac{\pi}{64} \right] \quad (20)$$

$$Emax = \frac{Mmax.r}{I} \quad (21)$$

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Cálculos de cargas en el Oscilante.

Para el siguiente análisis se detalla el gráfico donde se encontrará las fuerzas aplicadas al oscilante como se observa en la figura 14, la distribución de una fuerza vertical a 78° que va ubicada en la base donde iría el amortiguador posterior.

$$X3 = 0.56m \quad \text{Distancia del eje post al centro del oscilante}$$

$$X5 = 0.41m \quad \text{Distancia del eje post al centro a la base del amortiguador}$$

$$X4 = (X3 - X5) = 0.156m$$

$$Nr = 1048.959N$$

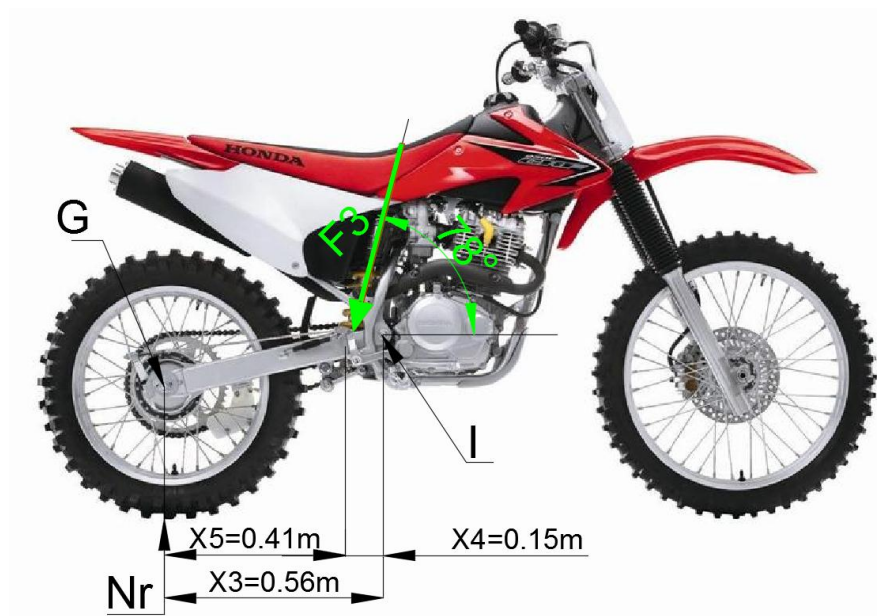


Figura 14. Diagrama de esfuerzos y momentos Horquilla

Fuente: Autor

En el siguiente figura 15, se observa el diagrama de cuerpo libre de la parte posterior del chasis, el oscilante, grafico que facilita la ubicación de las cargas que ejercen sobre este punto, con la utilización de sumatorias de fuerzas y momentos se ha encontrado los valores respectivos a los módulos de las cargas.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

DCL - OCILANTE

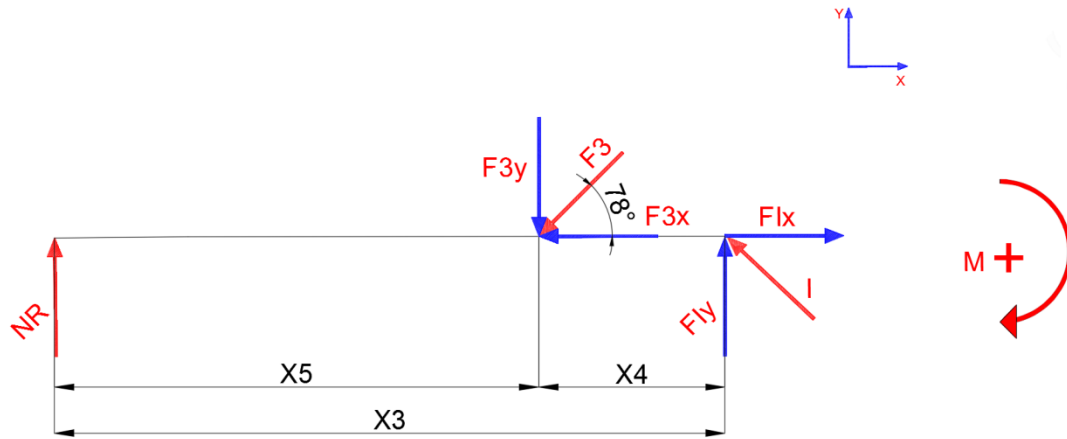


Figura 15. Diagrama de esfuerzos y momentos Horquilla
Fuente: Autor

A continuación se encuentran representadas cada una de las fórmulas que se utilizarán en el desarrollo del cálculo matemático para encontrar los valores de las fuerzas que actúan sobre el oscilante que servirán de ayuda para establecer las condiciones de frontera y la elaboración de las simulaciones.

$$\sum M I = 0$$

$$F_{3y} = \frac{Nr \cdot X3}{X4} \quad (22)$$

$$F3 = \frac{F_{3y}}{0.7814} \quad (23)$$

$$\sum Fx = 0$$

$$F_{1x} = F_{3x} \quad (24)$$

$$\sum Fy = 0$$

$$F_{1y} = F_{3y} - Nr \quad (25)$$

$$F1 = \sqrt{F_{1x}^2 + F_{1y}^2} \quad (26)$$

Momento Máximo

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

$$M_{\text{más}}(2) = N r . X5 \quad (27)$$

Momento de Inercia.

$$D = 0.032m \quad \text{Diámetro externo}$$

$$d = 0.028m \quad \text{Diámetro Interno}$$

$$r = 0.016m \quad \text{Radio externo}$$

$$Di = \left[(D^4 - d^4) \frac{\pi}{64} \right] \quad (28)$$

$$E_{\text{max}} = \frac{M_{\text{max}} . r}{I} \quad (29)$$

Análisis de Materiales

Una vez que se ha planteado los pasos para realizar los cálculos del análisis estático se deberá revisar los materiales con los que se va utilizar en el proyecto inicialmente encontrar el material con el que está construido el chasis original de la moto, este se lo realizará a través de un proceso llamado espectrometría, para conocer los valores de su composición química y finalmente todos los requerimientos de las propiedades mecánicas del mismo, también se utilizará la mejor metodología de caracterización y la revisión bibliográfica de los materiales alternativos para la elaboración de las simulaciones y comparación de resultados por medio del análisis por el método de elementos finitos.

Caracterización del material.

Material empleado, (Chasis Original).

El elemento que se ha empleado en la elaboración del estudio, es un material compuesto. Para la caracterización del material se elaboró una probeta de una parte de una chasis extraído de una motocicleta “CRF 230” posteriormente se ha elaborado un estudio en los laboratorios del Departamento de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador,

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

empleado una metodología que trata de un análisis por Espectrometría de Chispa, específicamente se ha utilizado el equipo de denominación Espectrómetro de Marca Bruker modelo Q4TASMAN, como se muestra en la figura 16, y en la tabla 3 se detalla las especificaciones técnicas del equipo.



Figura 16. Espectrómetro de Marca BRUKER modelo Q4TASMAN
Fuente: (ESPN, 2018)

Datos Técnicos del equipo

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Tabla 3.

Datos técnicos del espectrómetro modelo Q4TASMAN.

Q4 TASMAN - Espectrómetro de emisión óptica basado en CCD avanzado para análisis de metales	
Sistema Óptico	
– Sensores CCD con alta resolución – Multi - Detector Óptico – Montaje Paschen-Runge – Tecnología Clear - Spectrum – La más alta sensibilidad espectral	Generador de fuente – Generador PWM de dos fases sin mantenimiento – Frecuencia de 50 a 1000 Hz – Descargas de chispa y de arco de 10 μs a 2 ms
Software	
– Software intuitivo basado en Windows para una operación de rutina simple – Varios niveles de usuario para operaciones seguras y específicas de la tarea – Funciones para el análisis cualitativo y cuantitativo – Paquete de software completo que incluye una base de datos de análisis e interfaces para el software Microsoft Office	Paquetes de soluciones analíticas (ASP) – Disponible para varias matrices – Todos los elementos de aleación relevantes – Calibraciones para todos los grupos de aleaciones – Bibliotecas de calidad con control de versiones
Datos Eléctricos	
– 100 a 240 V (50/60 Hz) – 600 W durante la medición, 50 W en espera – 16 A (240 V) fusible lento o 25 A (100 V) fusible lento	Pesos y Dimensiones – Ancho 550 mm / 22 pulgadas – Altura 700 mm / 28 pulgadas – Profundidad 820 mm / 32 pulgadas – Peso ~ 75 kg / ~ 165 lb

Nota: La ficha técnica del equipo se lo ha obtenido de la página oficial de la marca (Bruker, 2018).

Con la información de diferentes referencias bibliográficas como son libros de materiales, catálogos comerciales y de manera especial de AstmSteel (2018), proporciona la información del listado de aceros de bajo carbono, donde a través de una comparación de los porcentajes químicos, se ha realizado la selección el material que cumpla con los requerimientos químicos aproximados, el material que se va a trabajar resultado de la comparación es un SAE 8620, (Aceros al Cromo, Níquel y Molibdeno).

El material mencionado se utiliza en diferentes áreas tanto el área industrial como en el campo automotriz, por ejemplo para la construcción de engranajes de velocidad que son de altas revoluciones, en bulones especiales de alta resistencia a esfuerzo estáticos y dinámicos, pasadores de guía, anillos de engranajes, columnas, cruces, torniquetes, fundas, coronas, ejes,

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

cigüeñales, pasadores, guías, ruedas dentadas, elementos de alta importancia o especialmente a la fatiga como por ejemplo en estructuras de puentes grúas

Las propiedades mecánicas del material son las que se encuentran relacionadas cuando el material se somete a esfuerzo. Una vez que se ha seleccionado el material con el que se va a trabajar se deberá conocer las propiedades mecánicas del mismo de esta manera se pueda establecer cada una de ellas para poder ser insertado en el programa y realizar las simulaciones.

Método de elementos finitos (FEM)

En el proyecto de investigación se elaborará las simulaciones mediante el método de elementos finitos, por que consiste en la división del cuerpo en otros de menor tamaño, interconectados por medio de puntos comunes llamados nodos, como la geometría del chasis es muy compleja, facilita el análisis nodo por nodo mediante un sinnúmero de ecuaciones diferenciales parciales, con la selección del mallado correcto, con los resultados obtenidos mediante este método se podrá elaborar el estudio mediante el módulo de von mises para identificar los valores máximos de tensiones con la finalidad poder eliminar el material a través del análisis topológico, asegurando la resistencia del material y la viabilidad del proyecto.

Proceso de Optimización Topológica

Todas las cargas encontradas mediante el cálculo de un análisis estático que serán sometidas al chasis de la moto determinan los puntos más vulnerables donde existan posibles fallos del material en el elemento estructural Salazar & Guzmán (2012), con esto se debe tener en cuenta la factibilidad al momento de la manufactura o en este caso la modificación del elemento. Para la optimización y el modelado del elemento se ha empleado el proceso de optimización por *software*, este trabaja mediante la aplicación de modelos matemáticos, en

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

este caso de estudio de este trabajo se realizará mediante un criterio de distribución de esfuerzos con el objetivo de reducir la masa del componente mediante el resultado del análisis de tensiones que nos entrega el método de elementos finitos por medio de las simulaciones, luego de eso será verificado a través de un estudio a fatiga de los valores del factor de seguridad para que se encuentre dentro de los criterios de diseño.

Para la siguiente etapa es importante llevar a cabo los análisis deseados necesitamos los cálculos previos que permitan conocer el comportamiento aplicado en el chasis que se trabajará bajo las situaciones antes mencionados, de cargas estáticas.

En la etapa del diseño se considerará la modelación de las formas y dimensiones geométricas del componente inicial "Chasis HONDA CRF 230", para la comparación de pesos y eficiencia. Utilizando el *software* comercial Gratuito *SolidWorks*, para posteriormente realizar las simulaciones aplicando las diferentes cargas y esfuerzos investigados a través de la revisión bibliográfica en distintas situaciones:

- Simulación aplicando cargas y esfuerzos al chasis original "Honda CRF 230"
- Simulación mediante la optimización estructural topológica del material original del "chasis Honda CRF 230"
- Simulación aplicando cargas y esfuerzos al chasis de material alternativo del modelo geométrico "Honda CRF 230".
- Simulación mediante la optimización estructural topológica del material alternativo del modelo geométrico del "chasis Honda CRF 230".
- Simulación aplicando cargas y esfuerzos al chasis de material alternativo que se encuentre en el mercado local del modelo geométrico "Honda CRF 230".

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

- Simulación mediante la optimización estructural topológica del material alternativo que se encuentre en el mercado local del modelo geométrico del "chasis Honda CRF 230".

Para la validación de resultados se realizará matemáticamente utilizando en una metodología basado en el análisis a fatiga del valor del factor de seguridad que nos entrega el programa *CAM* a través del método de elementos finitos (FEM), considerando la relación del material empleado y las condiciones máximas de tensión que ejerce sobre el elemento estructural, se elaborará una comparación de resultados de las simulaciones con dos distintos materiales, realizando la optimización del chasis original vs la optimización del chasis de con el material alternativo, con la finalidad de disminuir el peso y encontrar el bastidor óptimo, a través de las formulación de las simulaciones se obtendrá los valores de desplazamiento, deformación, esfuerzo y coeficientes de seguridad en zonas más críticas de chasis, manteniendo los requerimientos mecánicos y asegurando la viabilidad del proyecto.

Análisis de factor de seguridad a fatiga

Para la fase de los resultados se va realizar la validación del factor de seguridad, ya que se ha trabajado con tres distintos materiales obteniendo valores del módulo de von mises y límites de materiales casi parecidos, por ende los valores del factor de seguridad para los tres materiales oscilan entre 2 a 2.5. Se utilizará el método analítico de “Goldman Modificado” en el que se consideran de manera especial las propiedades geométricas físicas y ambientales del material; además de aplicar la hipótesis de esfuerzos medio y amplitud tomando como esfuerzo máximo de tensión el valor del módulo de von mises y el mínimo obtenido del módulo de von mises el valor menor de tensión, con ayuda del soporte bibliográfico de (Ochoa & Salameda, 2013).

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Factor de seguridad.

$$S_{ut} = 530 \text{ Mpa} \quad \text{Resistencia a la tracción}$$

$$S_y = 385 \text{ Mpa} \quad \text{Resistencia a la fluencia}$$

$$r = 9 \text{ mm} \quad \text{radio del tubo con mayor valor de tensión}$$

$$d = 18 \text{ mm} \quad \text{radio del tubo con mayor valor de tensión}$$

$$S'e = 0.5 (S_{ut}) \quad (30)$$

$$K_a = 4.51(530 \text{ Mpa})^{-0.265} \quad (31)$$

$$K_c = 1 \rightarrow \text{Combinación de esfuerzos} \quad (32)$$

$$K_d = 1 \rightarrow \text{Temperatura ambiente} \quad (33)$$

$$K_e = 0.868 \rightarrow 95\% \text{ de confianza} \quad (34)$$

$$K_f = 1 \rightarrow \text{Efectos varios} \quad (35)$$

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot S'e' \quad (36)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (37)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (38)$$

Teoría de Goodman Modificado

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (39)$$

Con el valor máximo del factor de seguridad hallado en las simulaciones de los materiales antes aplicados el valor máximo es de 2.49 y con la validación del resultado hemos obtenido

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

un valor de 2.31 lo que demuestra un porcentaje del 7 % de error a nuestro cálculo, se encuentra dentro de la tolerancia de error de diseño.

Resultados.

Simulaciones Mediante el Método de Elementos Finitos

En este capítulo se detalla los procesos para la elaboración de las simulaciones mediante el método de elementos finitos, los resultados obtenidos que serán analizados para elaborar una metodología donde se integre el análisis topológico con la utilización de un criterio de distribución de esfuerzos para el elemento estructural con cada uno de los materiales elegidos, finalmente para realizar la comparación de resultados mediante el análisis de tensiones y factor de seguridad de diseño.

A continuación se presenta la geometría del componente con el que se va a trabajar mediante el programa comercial gratuito *SolidWorks*, como se muestra en la figura 17, se debe tener en cuenta las consideraciones de las partes específicas que se va analizar, para este caso de estudio para la aplicación de fuerzas se va a utilizar únicamente la cuna donde va ubicada el motor por el motivo que el resto de piezas que no tienen relación con los cálculos de cargas elaborados anteriormente no vayan a interferir en discretizado del modelo al momento de la elaboración de la malla.

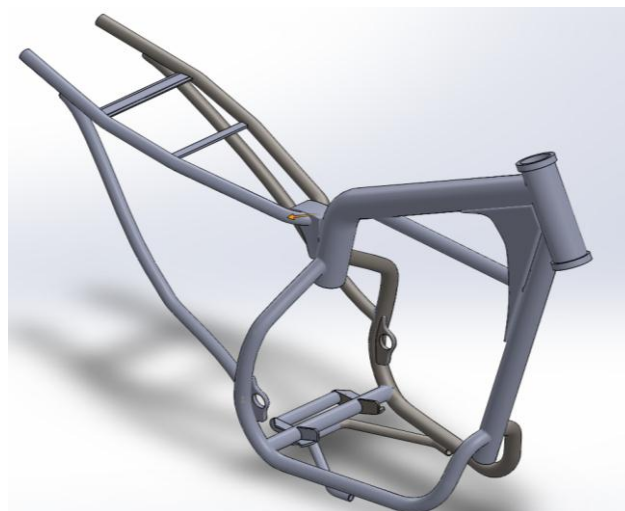


Figura 17. Modelo de chasis HONDA "CRF230" *SolidWorks*.

Fuente: Autor

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Resumen de cálculo de fuerzas

Con el estudio realizado mediante el análisis estático se encontró los valores por separado tanto de la horquilla como del oscilante, para mayor comprensión se ha elaborado unas tablas de resúmenes de valores, si se observa en la tabla 4, se encuentran los resultados de las consideraciones generales del análisis estático, como son los pesos, los porcentajes de cargas y las fuerzas normales en el eje delantero y posterior respectivamente.

Tabla 4.

Fórmulas y valores de consideraciones generales del análisis estático.

CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL ANÁLISIS ESTÁTICO		
% De carga estática eje delantero	$ced = \left(\frac{p-b}{p}\right) \cdot 100\%$	0.43%
% De carga estática eje Posterior	$cep = 100 - ced$	0.57%
Peso de la moto y ocupante	$wmt = (wp + wm) \cdot g$	1833.844 N
Normal entre el suelo y la moto al eje delantero y posterior	$Nf = wmt \cdot cedp$	783.05 N
	$Nr = wmt \cdot cepp$	1048.959 N

Nota: En la tabla se detallan las consideraciones generales que serán utilizadas para la elaboración del análisis estático del bastidor (Autor)

En tabla 5 se detallada cada una de las fórmulas que han utilizado para hallar las cargas que se encuentran ubicadas en este segmento del chasis denominado Horquilla, también en la figura 18 se observa el resultado de los valores del diagrama de esfuerzo cortante y momento flector.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Tabla 5.*Fórmulas y valores del resultado del análisis estático aplicado en la Horquilla.*

CÁLCULOS HORQUILLA		
VARIABLES		
$X1$	0.85 m	
$X2$	0.67 m	
Nfx	355.427 N	
Nfy	697.699 N	
DETERMINACIÓN Y CÁLCULO DE VALORES		
Fuerza $F1$ que ejerce en la horquilla	$F1 = \frac{(Nfy \cdot X2)}{(X1 - X2)}$	2596.989 N
Fuerza $F2$ que ejerce en la horquilla	$F2 = NFy + F1$	3294.688 N
Momento máximo	$M_{\max} = F1 \cdot (0.18m)$	467.458 Nm
Momento de inercia	$I = [(D^4 - d^4) \frac{\pi}{64}]$	5.589x10 ⁻⁵ kg/m ²
Esfuerzo máximo de Deformación	$E_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot r}{I}$	114.124 MPa

Nota: Fórmulas que se han utilizado para hallar los valores de cargas en la horquilla por medio de diagramas para el análisis estático.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

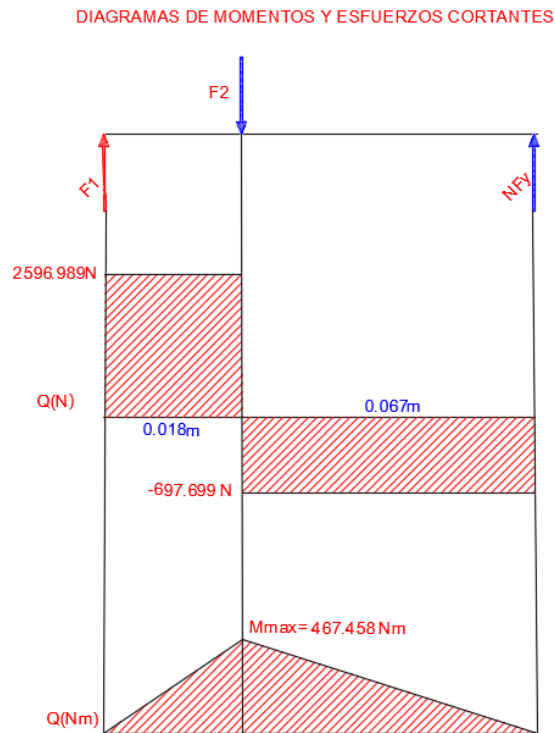


Figura 18. Diagrama de esfuerzos cortantes y momento flector de la Horquilla
Fuente: Autor

En la tabla 6, también se puede apreciar las fórmulas utilizadas y los respectivos valores encontrados después del análisis en este segmento del chasis que se lo ha denominado oscilante, después en la figura 19 se observa el resultado de los valores del diagrama de esfuerzo cortante y momento flector, estos valores encontrados de las dos tablas 5 y 6 se utilizarán como parte del proceso del proyecto para establecer las condiciones de frontera del elemento estructural y poder encontrar los valores para la comparación de los resultados con los distintos materiales que se van analizar así como también el proceso de análisis de la topología.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Tabla 6.*Fórmulas y valores del resultado del análisis estático aplicado Al oscilante.*

CÁLCULOS OSCILANTE		
VARIABLES		
$X3$		0.56 m
$X4$		0.156 m
$X5$		0.41 m
Nr		1048.959 N
DETERMINACIÓN Y CÁLCULO DE VALORES		
Valor de fuerza $F3y$ descompuesta	$F3y = \frac{Nr \cdot X3}{X4}$	3916.112 N
Valor del módulo de fuerza $F3$	$F3 = \frac{F3y}{0.7814}$	4003.631 N
Valor de fuerza $F3x$ descompuesta	$F3x = F3 \cdot 0.02079$	832.355 N
Valor de fuerza FIx descompuesta	$FIx = F3x$	832.355 N
Valor de fuerza FIy descompuesta	$FIy = F3y - Nr$	2867.153 N
Valor del módulo de fuerza FI	$FI = \sqrt{FIx^2 + FIy^2}$	2985.529 N
Momento máximo	$M_{\text{más}(2)} = Nr \cdot X5$	430.073 Nm
Momento de inercia	$I = [(D^4 - d^4) \frac{\pi}{64}]$	2.129x10 ⁻⁸ kg/m ²
Esfuerzo máximo de Deformación	$E_{\text{max}} = \frac{M_{\text{max}} \cdot r}{I}$	323.06 MPa

Nota: Fórmulas que se han utilizado para hallar los valores de cargas en la horquilla por medio de diagramas para el análisis estático.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

DIAGRAMAS DE MOMENTOS Y ESFUERZOS CORTANTES

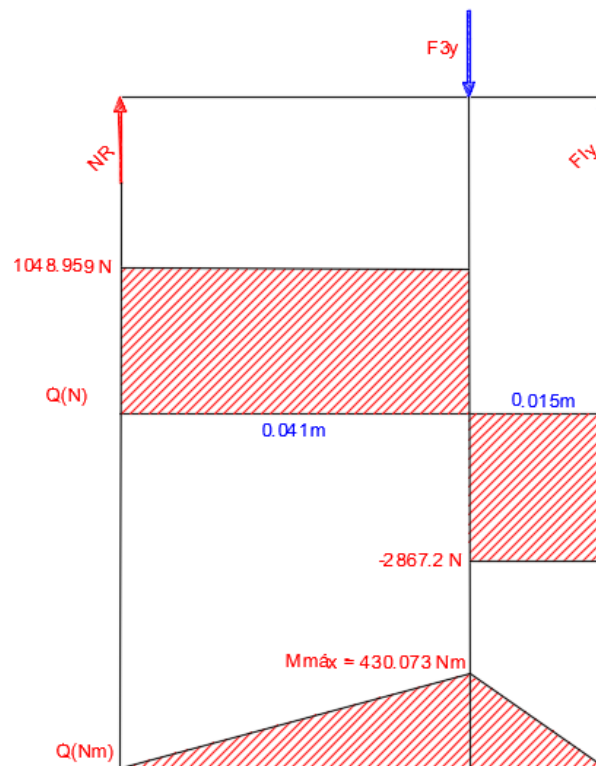


Figura 19. Diagrama de esfuerzos cortantes y momento flector del Oscilante.

Fuente: Autor

Resultados del proceso de caracterización del material.

En el proceso de caracterización del material se elaboró el análisis de una probeta extraída del chasis de a motocicleta, el análisis del material se procesó mediante una metodología llamada espectrometría de chispa en los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional, de la ciudad de Quito – Ecuador, donde se detallan los datos con cifras decimales del porcentaje de cada elemento químico que compone el material como se observa en la tabla 7.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Tabla 7.

Elementos químicos que componen el material

Componentes		
		Chasis de motocicleta de competencia %
Metales		
Carbono	(C)	0.209
Silicio	(Si)	0.163
Manganeso	(Mn)	0.912
Cromo	(Cr)	0.018
Molibdeno	(Mo)	0.005
Níquel	(Ni)	0.009
Cobre	(Cu)	0.010
Aluminio	(Al)	0.027
Cerio	(Ce)	0.160
Plomo	(Pb)	0.018
Wolframio	(W)	0.300
Hierro	(Fe)	98.08

Nota: Se detallan en porcentajes de los componentes químicos que conforman el material obtenido mediante (ESPN, 2018)

El proceso de caracterización del material entrega a la investigación los porcentajes de los elementos químicos que lo componen, mediante una comparación de resultados de los elementos químicos de la probeta como se ve en la tabla 8, a través de catálogos comerciales, libros de materiales y normas se escogido que el material que más relación tiene con los porcentajes resultando ser un SAE 8620, es un acero de baja aleación de níquel, cromo, molibdeno caso del endurecimiento, suministran generalmente en condición enrollada con un máximo de dureza de 255 Max. SAE acero de aleación 8620 es flexible durante los tratamientos de endurecimiento, lo que permite mejorar las propiedades de caja/Núcleo. El acero SAE 8620 es adecuado para aplicaciones que requieren una combinación de dureza y resistencia al desgaste. Este grado se suministra comúnmente en barra redonda.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Tabla 8.

Composición química del acero SAE 8620

ANÁLISIS TÍPICO %						
	C	SI	Mn	Ni	Cr	Mo
Material	0.21	0.163	0.912	0.009	0.018	0.005
SAE 8620	0.17-0.23	0.10 – 0.40	0.60 – 0.95	0.35 – 0.75	0 – 35-75	0.15 – 0.25

Nota: Los compoentes químicos del acero SAE 8620 con el aporte de (AstmSteel, 2018).

En este trabajo para la elaboración de simulaciones se necesito conocer las propiedades del material con el que se va a trabajar, una vez definido la probeta con el material escogido, mediante la resvison bibliográfica se identifica las propiedades mecánicas del mismo donde se detallan en la tabla 9, son las caracteísticas mesurables capacez de calificar un comportamiento o una respuesta del mismo a sollicitaciones externas, independientemente del tamaño y la gemotría del elemento considerado.

Tabla 9.

SAE 8620 Propiedades Mecánicas del Acero

8620 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO		
propiedades	Métrico	Imperial
Resistencia a la tracción	530 MPa	76.900 psi
resistencia a la fluencia	385 MPa	55.800 psi
Módulos elásticos	190-210 GPa	27557-30458 ksi
Densidad de la masa	7840 kg/m ³	
módulo de compresibilidad (típico para el acero)	140 GPa	20300 ksi
módulo de cizallamiento (típico para el acero)	80 GPa	11600 ksi
el coeficiente de Poisson	0,27-0,30	0,27-0,30
Impacto Izod	115 J	84.8 ft.lb
Dureza, Brinell	149	149
Dureza, Knoop (conversión de dureza Brinell)	169	169
Dureza, Rockwell B (convertido a partir de la dureza Brinell)	80	80

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Dureza, Vickers (conversión de dureza Brinell)	155	155
Maquinabilidad (laminado en caliente y estirado en frío, basado en 100 Maquinabilidad para AISI 1212 acero)	65	65

Nota: Las propiedades mecánicas del acero SAE 8620 obtenido de (AstmSteel, 2018)

Resultados de la Soldabilidad del acero SAE 8620

Un parámetro útil para evaluar la soldabilidad de los aceros es el concepto de carbono equivalente (cev), que equipara las soldabilidades relativas de diferentes aleaciones de carbono y las compara con las propiedades de un acero al carbono simple. El código API 1104 AB presenta la ecuación desarrollada por el Instituto Internacional de Soldadura, y cuya expresión es la siguiente, donde los contenidos de los elementos químicos se expresan en tanto por ciento (%).

Para el acero empleado en esta investigación se aplica la ecuación del carbono equivalente, donde se obtiene el valor de 0.375 %.

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

$$CEV = 0.209 + \frac{0.912}{6} + \frac{0.018 + 0.05 + 0}{5} + \frac{0.009 + 0.010}{15}$$

$$CEV = 0.375 \%$$

El resultado de la soldabilidad se ve directamente influenciado por el porcentaje de carbono en el material, según lo referido por Metfusión (2018) se valora entre buena y regular.

Aplicación de materiales cargas y soportes al chasis con el material original.

Para la elaboración de las simulaciones es importante la selección de los materiales a ocuparse en el proyecto, se ha realizado la caracterización a través de una probeta obtenida

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

mediante una muestra del bastidor original de la motocicleta, sometiéndola a diversas técnicas de análisis químico, para obtener el porcentaje de los componentes del elemento, con la finalidad de encontrar el material del que está fabricado. Para establecer las condiciones de frontera, importante definir las zonas de diseño y no diseño, que son las superficies para seleccionar donde se aplican las cargas y las restricciones, las zonas de no diseño se han considerado los elementos que sostienen el asiento, la parte posterior del chasis y las zonas de diseño, con las que se va a trabajar en la simulación se trabaja con los datos del análisis estático realizado anteriormente, se utiliza el sistema de cargas puntuales, en puntos estratégicos del chasis, donde se genera los mayores puntos de esfuerzos; en la base del amortiguador con un valor de 4003.63 N, y dos cargas diagonales en la horquilla de 2596.989 (Fuerza -1) N y 3294.688 N (Fuerza – 3), como se aprecia en la figura 20.

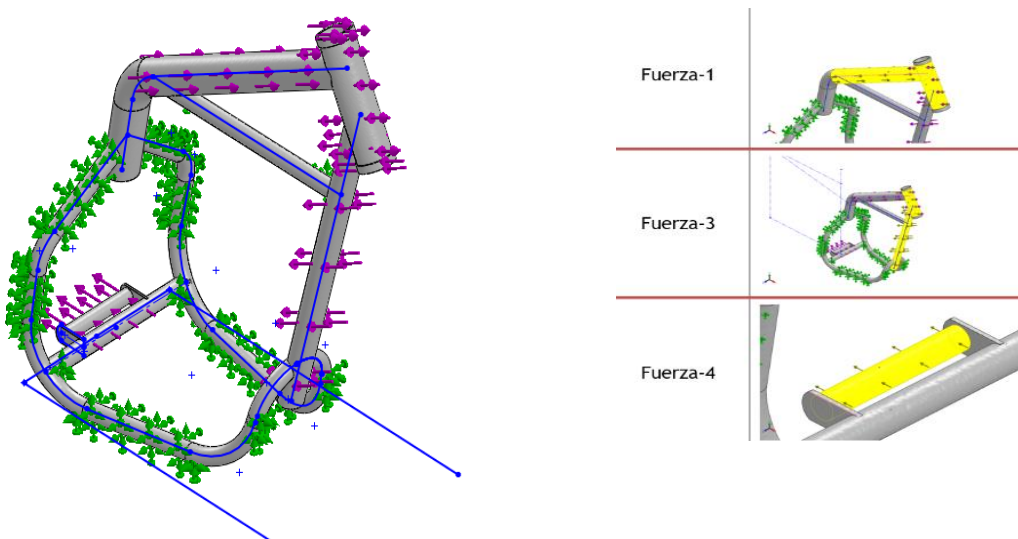


Figura 20. Se muestra el sistema de coordenadas, y la aplicación de fuerzas verticales y transversales, así como los puntos fijos, en puntos específicos del bastidor donde se efectuará el análisis, Fuerza 1 = 2596.989N – Fuerza 3= 3294.688N – Fuerza 4 = 4003.634 N.

Fuente: Autor

Selección del mallado

El mallado es una parte esencial para el proceso de la simulación porque permite discretizar el modelo Ochoa & Salameda (2013), debido a que la convergencia de la solución depende

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

de la calidad de la malla es necesario hacer un buen uso de las herramientas de mallado y evitar problemas con el peso computacional, cuándo se crea una malla fina quiere decir que el programa genera muchas más ecuaciones, lo que nos quiere decir con esto que se demora mucho más en ejecutar el estudio por ende los resultados toman más tiempo, esto no garantiza que los resultados sean exactos, el tamaño de los nodos de la malla se define mediante un análisis de sensibilidad de la malla sobre la respuesta. Para elaborar la creación de la malla a continuación se detallan diferentes parámetros y factores como:

- Tamaño y tolerancia de los elementos.
- El tipo de geometría creada para el mallado
- Las opciones del programa para el mallado
- Las diversas opciones de conexión para el contacto

Con lo mencionado anteriormente se aprecia la importancia de la selección del mallado, ya que de esto depende de la efectividad de los resultados. Para el criterio de mallado y generación de elementos de discretización del dominio, se ha tomado en referencia la forma de la geometría, y considerando el tiempo de ejecución del programa se ha utilizado para este proyecto el mallado triangular, concluyendo que el tamaño promedio general de los elementos para el análisis es de 0.304453 mm, como se puede observar en la figura 21.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

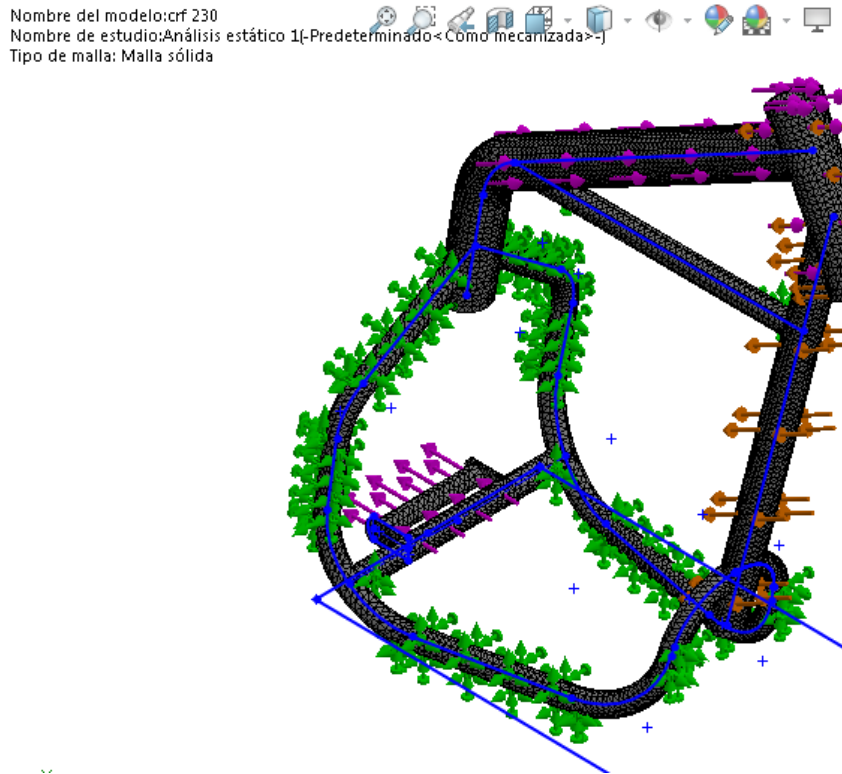


Figura 21. Configuración general del mallado para el bastidor, Número total de nodos = 96938, Número total de elementos = 49180, % de elementos cuyo cociente de aspecto es $< 3 = 23.1$, % de elementos cuyo cociente de aspecto es $> 10 = 0.525$

Fuente: Autor

Resultado de análisis de esfuerzos por FEM

En el proceso de análisis se ha centrado en el estudio de los esfuerzos del bastidor, ya que con la obtención de estos resultados son de implacable importancia para el estudio de optimización, las proyecciones de los resultados son ejecutados por el programa “CAE” mediante el método de elementos finitos muestran en los siguientes gráficos valores en MPa, donde se podrá estimar las zonas de esfuerzos críticos del chasis. En la figura 22, se observa los puntos de concentración de esfuerzos en el chasis así como los valores de entregados a través del módulo de simulación de Von mises, resultados que son visibles mediante la aplicación de fuerzas en la horquilla y oscilante del chasis donde el valor máximo de tensión es de 137.36 MPa, ubicado en la base del amortiguador posterior, en la figura 23, después de la aplicación de cargas se puede observar en la tabla un desplazamiento máximo que es de 0.062 mm, en la zona de la base del amortiguador posterior, este valor que se encuentra

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

dentro de las condiciones de diseño, se debe tomar en cuenta que la gráfica antes mencionada se refleja una escala de deformación de 1053.75, en la figura 24 se observa el resultado de la simulación del esfuerzo de deformación unitaria de 0.000416 de la suma de todas las deformaciones.

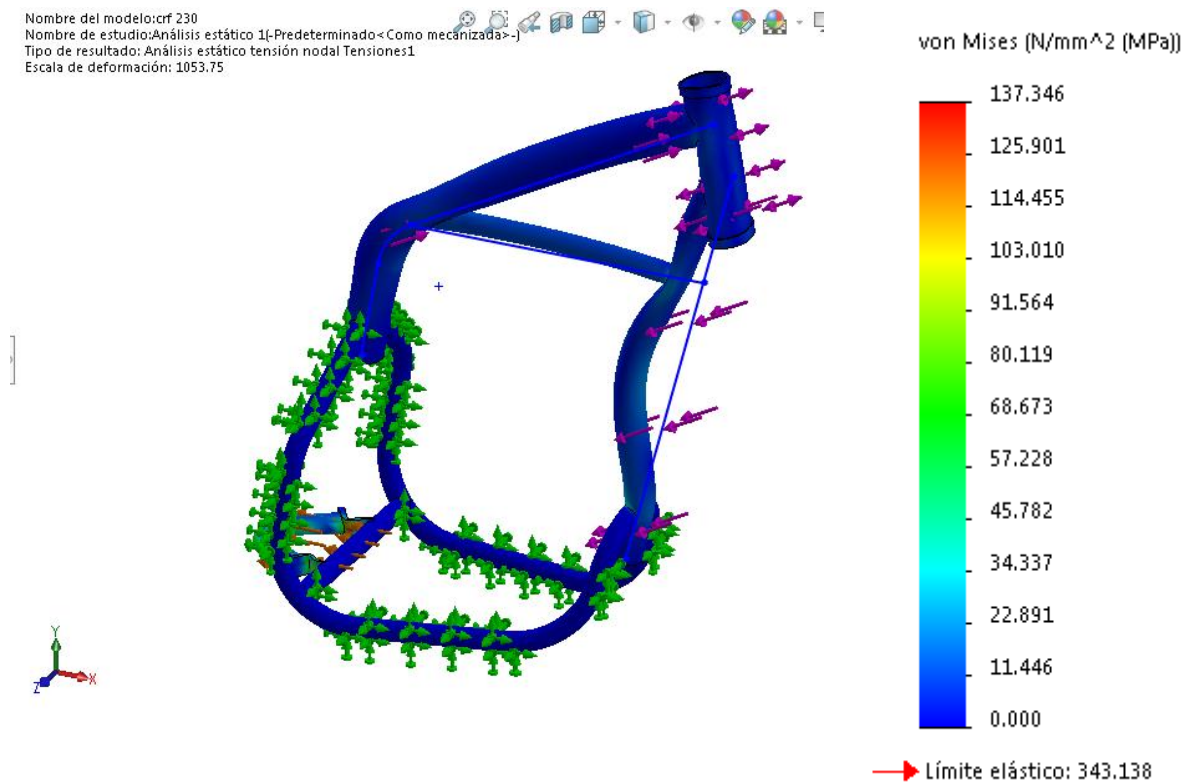


Figura 22. Resultado de los valores de la simulación a través del módulo de Von mises, Tensiones 1, **MÍNIMO** 1.00373e-014 N/mm² (MPa) - Nodo: 82308, **MÁXIMO** 137.52 N/mm² (MPa) - Nodo: 96389

Fuente: Autor

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

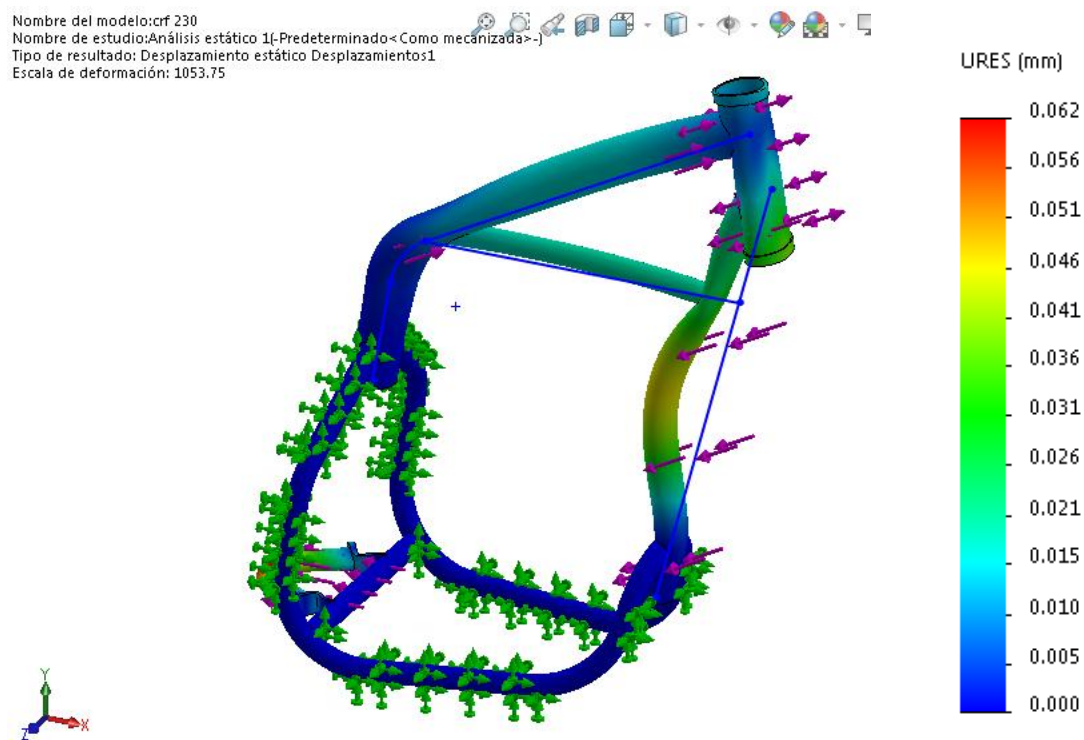


Figura 23. Valores resultantes de desplazamiento mediante el método de elementos finitos Desplazamientos1, **MÍNIMO** 0 mm - Nodo: 141, **MÁXIMO** 0.0615483 mm, Nodo: 108

Fuente: Autor

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

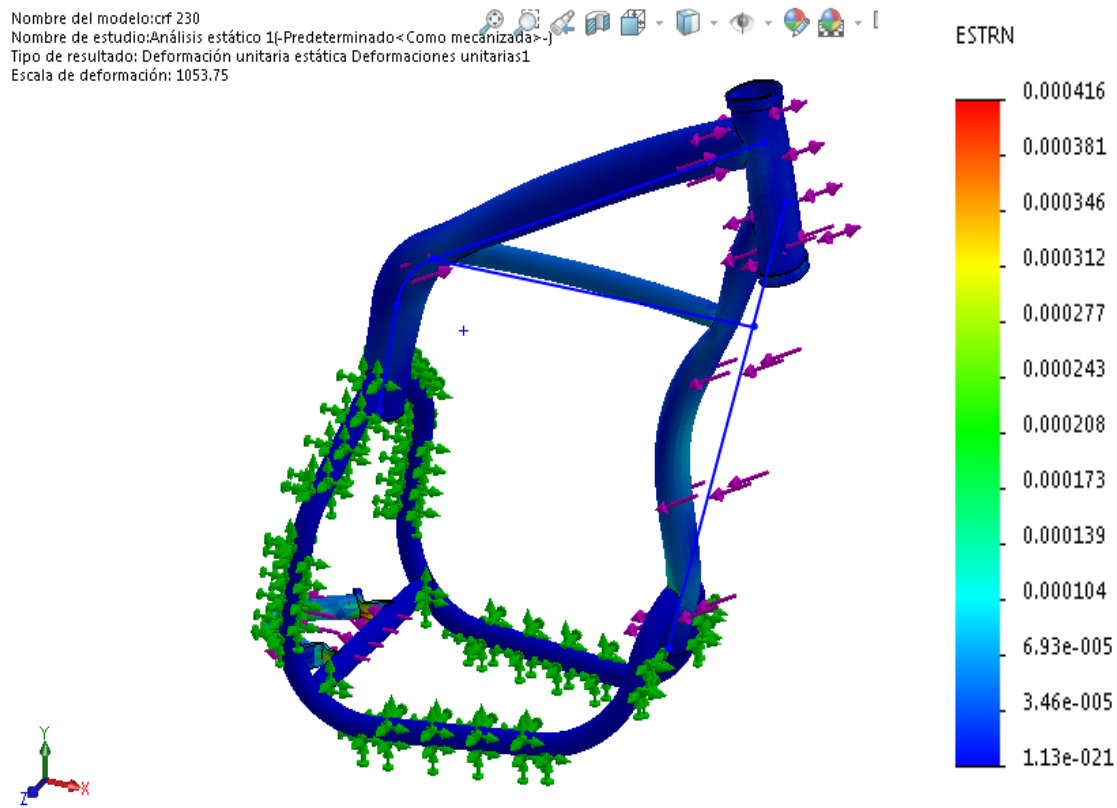


Figura 24. Valores resultantes de deformación unitaria mediante el método de elementos finitos, Deformaciones unitarias1, **MÍNIMO** 2.5476e-020 - Elemento: 19022, **MÁXIMO** Elemento: 31012.

Fuente: Autor

A continuación en la figura 25, se presenta la gráfica con los resultados del factor de seguridad, valores que se ha obtenido mediante el cálculo del programa CAE, exactamente haciendo una relación del material con las cargas, pesos, dimensiones del chasis, el factor de seguridad proviene de la división del límite elástico para el valor máximo de von mises, haciendo un análisis en cada uno de los nodos según un criterio de fallos, que arroja un resultado de 2.498.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

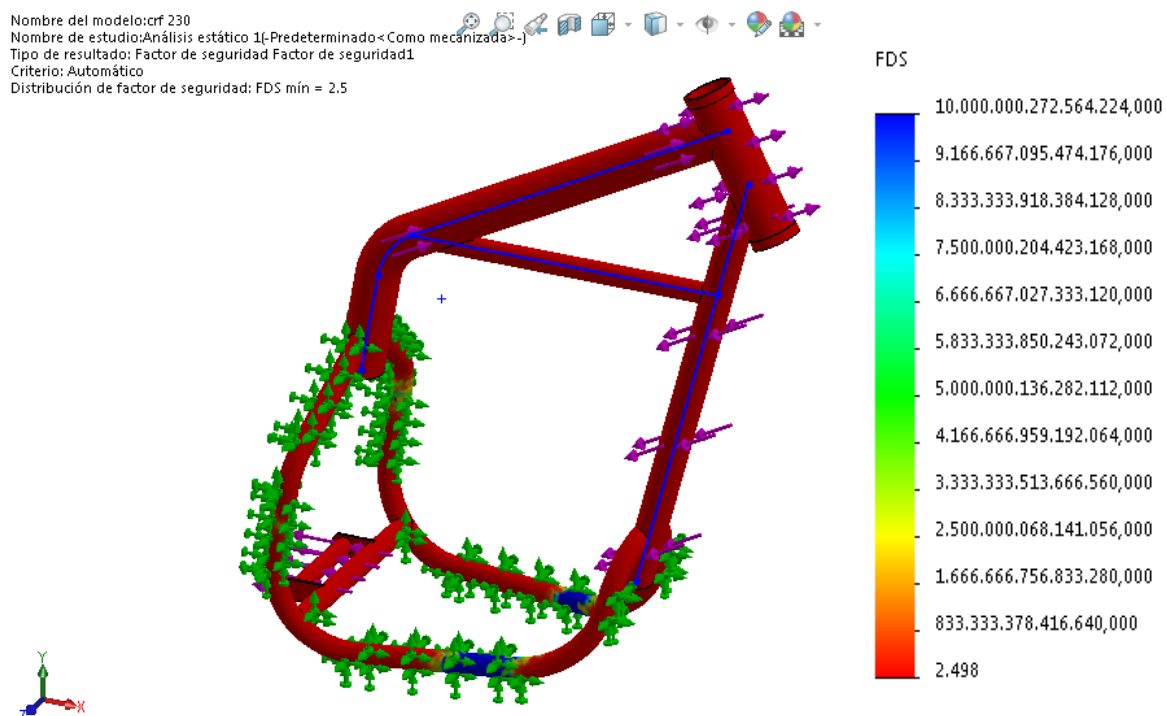


Figura 25. Resultado del factor de seguridad del chasis, Factor de seguridad1, **MÍNIMO** 2.49518 - Nodo: 96389, **MÁXIMO** 1e+016 - Nodo: 1983.
 Fuente: Autor

Proceso de optimización Topológica del chasis.

Para el proceso de optimización topológica se realizó mediante un criterio de distribución de esfuerzos, con la el objetivo de disminuir la masa en los lugares donde existe menos porcentaje de tensiones, valores obtenidos anteriormente del análisis del chasis que se va utilizar en el proyecto, partirá desde la geometría del bastidor original posteriormente la selección de materiales que se va a ocupar en la investigación de la misma consistencia y propiedades mecánicas al original Reyes (2017), para la caracterización del material se trabajará bajo el criterio de reducción de masas en las superficies compuestas, mediante las geometrías dadas por el diseño del chasis, caracterizada por su principal función deformable, además del redondeo de sus vértices que evitarán la concentración de esfuerzos en un solo punto bajo los criterios de investigación de estudios realizados en la investigación bibliográfica por, Ochoa (2016), Tomando en cuenta los valores que se necesitan para

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

trabajar bajo estándares de funcionamiento de factibilidad y rendimiento para un bastidor de motocicleta para enduro.

El método de la Optimización topológica se aplicó al rediseño del bastidor de una motocicleta de competencia con la finalidad de reducir su peso. Mediante el análisis estático de la estructura figura 26, se considera que está diseñado para soportar una carga vertical en la parte posterior del chasis, en la base del amortiguador un valor de 4003.63 N, y dos cargas diagonales en la horquilla de 2596.989 N y 3294.688 N respectivamente, el material del componente es un Acero de bajo carbono SAE 8620 que cuenta con un límite de fluencia de 343.13 MPa. Usando el programa SolidWorks se creó el modelo CAD, que permitió calcular el volumen y la masa del componente inicial antes de la optimización con un valor de 4074.02 gramos.

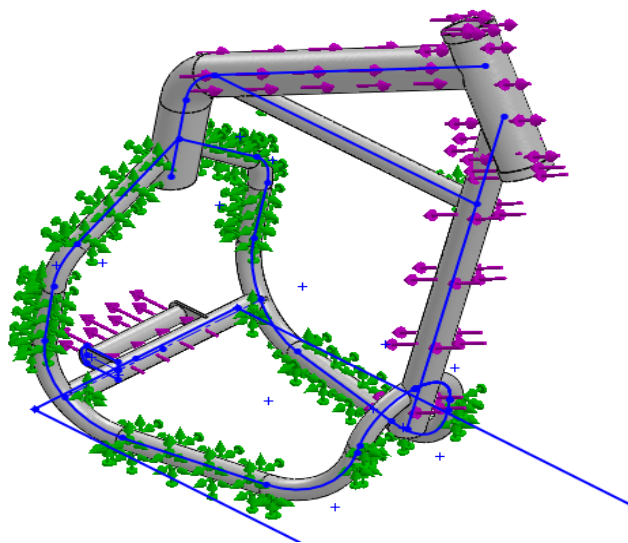


Figura 26. Componente mecánico distribución de cargas en puntos estratégicos del chasis, donde las flechas moradas representan las fuerzas aplicadas sobre el chasis y los puntos verdes son la representación de los puntos fijos del bastidor, para la aplicación de la OT con valores de Masa:2.76567 kg, Volumen:0.0003

Fuente: Autor

Para la aplicación del método de optimización topológica se utilizó una malla fina con valores de 0.304453mm por nodo y con un tamaño de elementos de 608906, a este componente se utilizó un dominio triangular a toda la pieza donde un milímetro equivale a un

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

elemento finito es decir, tiene una discretización con un total de 97176 elementos finitos (nodos). El dominio posee zonas no optimizables, estas están ubicadas en las tuberías de menor diámetro de 19 mm que se encuentran ubicadas donde iría el asiento para el piloto.

La topología obtenida se muestra en la figura 27, sin embargo la estructura que se obtiene del análisis no presenta un cambio en la forma de la estructura, por el motivo que la reducción de material se realizó de forma interna al espesor de los tubos, por lo que se requiere la interpretación de la geometría para utilizarla en un proceso convencional de diseño mecánico, mediante el programa se aprecia el cambio de la reducción de peso el comparación al análisis del chasis original.

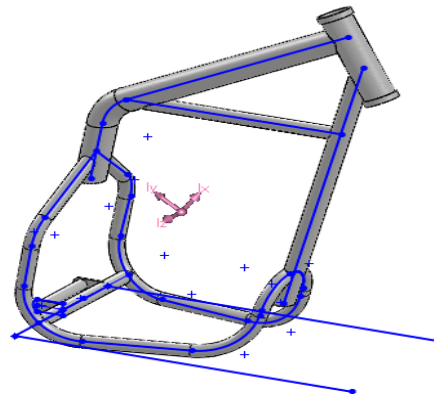
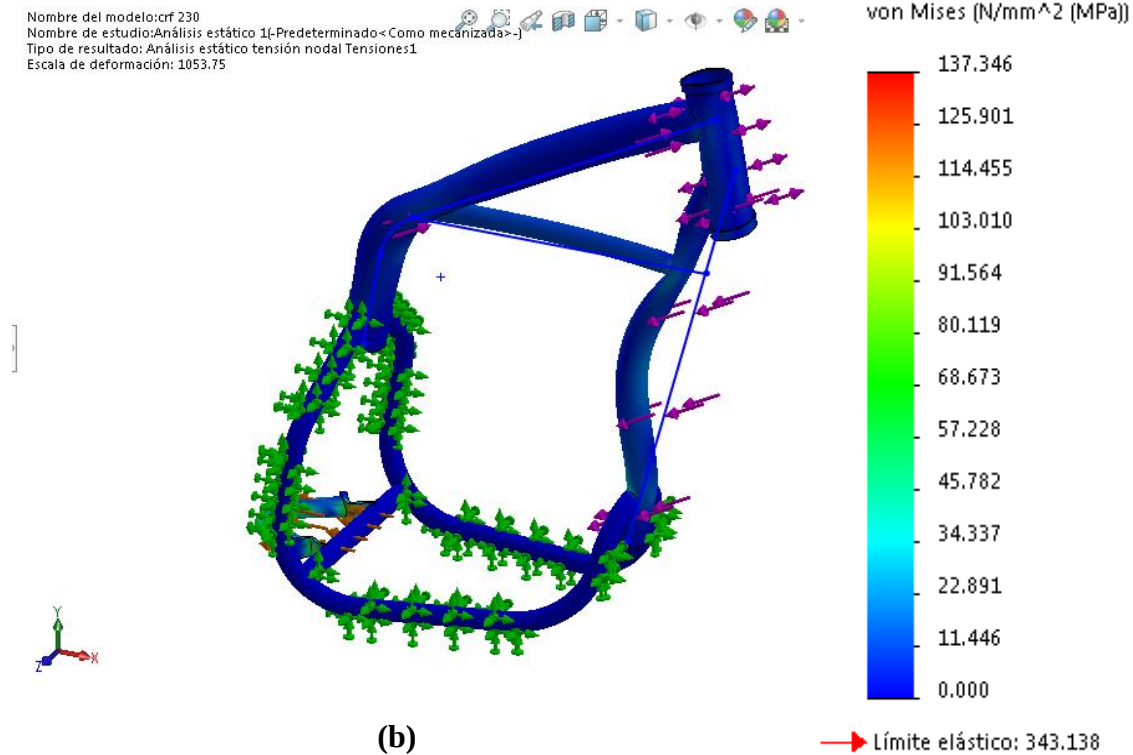


Figura 27. Estructura generada por optimización topológica, propiedades volumétricas como: Masa:2.76567 kg, Volumen:0.000352764 m³, Densidad:7840 kg/m³, Peso:27.1036 N.
Fuente: Autor

Para verificar que los dos componentes soportan el estado de carga, tanto el componente original como el optimizado se ha considerado una comparación de valores con un análisis de distribución esfuerzos por el método de elementos finitos con el software comercial gratuito *SolidWorks*, en la figura 28 a y 28 b, muestran la distribución del esfuerzo equivalente von mises a través de todo el componente original y el componente aplicado la optimización topológica respectivamente.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

(a)



(b)

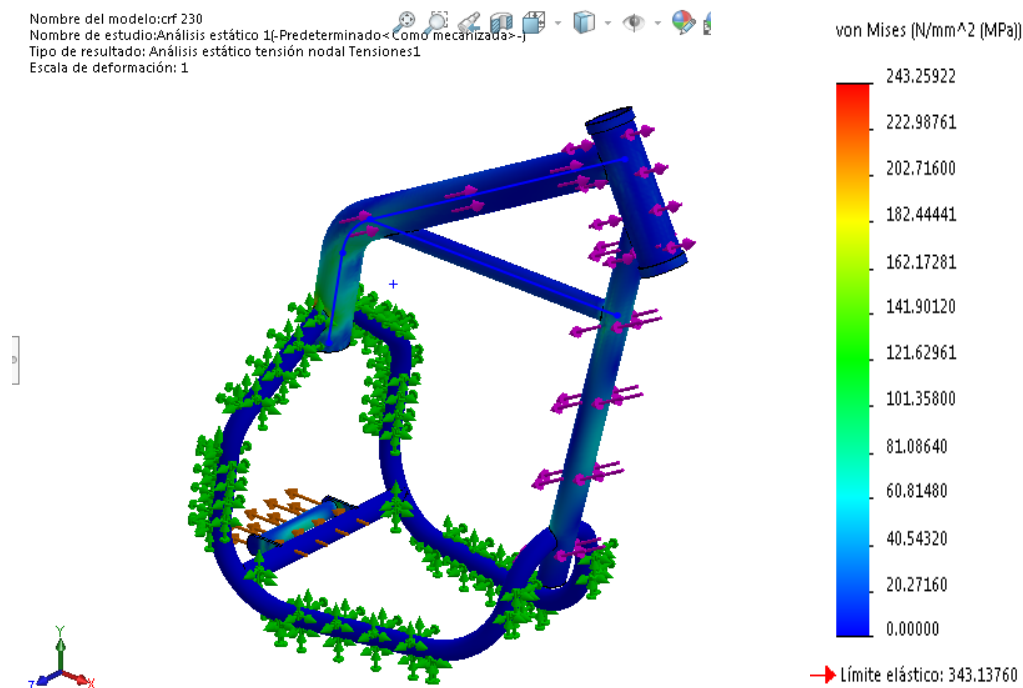


Figura 28. Esfuerzo equivalente de Von mises del chasis, **a)** Original Tensiones 1, **MÍNIMO** 1.00373e-014 N/mm² (MPa), Nodo: 82308, **MÁXIMO** 137.52 N/mm² (MPa), **b)** rediseño aplicado optimización topológica., Tensiones1, **MÍNIMO**, 0 N/mm² (MPa) - Nodo: 878, **MÁXIMO** 243.259 N/mm² (MPa) - Nodo: 84844

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

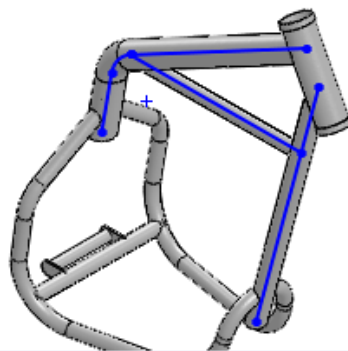
Fuente: Autor

El valor máximo equivalente de la distribución de esfuerzos de Von Mises para el chasis original tuvo un valor de 137.346 MPa, encontrados en los puntos de aplicación de cargas del elemento. En la figura se puede notar que en varias articulaciones del componente se presentan valores de esfuerzos bajos, los cuales indican que es el material que hay de sobra, el factor de seguridad para el componente original es de 2.498

El valor del esfuerzo máximo equivalente del chasis que se ha aplicado la optimización topológica tuvo un valor de 243.25 MPa, situados en los puntos de aplicaciones de cargas en los puntos más estratégicos del chasis, con un factor de seguridad mínimo de 1.41. La mayor cantidad de material fue removido en las articulaciones del chasis que tienen el mayor diámetro, en esas zonas presentan valores de esfuerzos muy bajos, como se observa en la figura 28 a de tonalidad azul, donde se puede aplicar la OT para que los esfuerzos calculados se encuentren dentro de los requerimientos mecánicos del material.

Los resultados del proceso del OT que muestran en la figura 29, indican que el material fue removido de una manera adecuada, en los puntos estructurales del chasis como por ejemplo del elemento E1 que se tiene un valor inicial del 1.5 mm espesor a comparación de su valor óptimo máximo resulto ser de 0.75 mm, por otro lado se ha distribuido la mayor cantidad de material, en los puntos que se encuentran los más altos valores de esfuerzos, el factor de seguridad mínimo para el componente óptimo es de 1.41, que se encuentra dentro de nuestro requerimiento y el cual cumple con la aplicación de los requerimientos mecánicos del material. Como resultado final de la resultante de nuestro estudio se lo ha catalogado como satisfactorio ya que el valor inicial de masa del componente original es de 4074.02 g fue reducido a 2754.05 g, del cual ha llegado un valor de 67.6 % de reducción.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA



		Actual	Inicial	Óptimo (2)	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario
E1		1.5mm	1.5mm	0.75mm	0.75mm	0.5mm	0.75mm	0.5mm	0.75mm	0.5mm
E2		2.125mm	2.125mm	0.8mm	0.8mm	1.0625mm	1.0625mm	0.8mm	0.8mm	1.0625mm
E3		2mm	2mm	0.75mm	0.75mm	0.75mm	0.75mm	1mm	1mm	1mm
Masa2	< 4073.84 g	4074.02 g	4074.02 g	2754.05 g	2754.05 g	2858.99 g	2905 g	2788.05 g	2834 g	2938.86 g
Desplazamiento1	> 0.0062cm	0.00615cm	0.00615cm	0.01154cm	0.01154cm	0.01154cm	0.011cm	0.011cm	0.00965cm	0.00965cm
Tensión1	> 19920 psi	20328 psi	20328 psi	20217 psi	20217 psi	20217 psi	19732 psi	19732 psi	19989 psi	19989 psi
Masa3	Minimizar	4074.02 g	4074.02 g	2754.05 g	2754.05 g	2858.99 g	2905 g	2788.05 g	2834 g	2938.86 g

INICIAL

ÓPTIMO

MASA

4074.02g

2754.05g

DESPLAZAMIENTO

0.000615cm

0.01154cm

Figura 29. Resultado de valores óptimos aplicado en puntos estratégicos del chasis.

Fuente: Autor

Material empleado Número dos (aleación de aluminio)

Aluminio Prodax

Para emplear la comparación de resultados mediante las simulaciones se ha utilizado como segundo material de prueba el “Aluminio Prodax”, esta es una placa de aleación de aluminio de alta resistencia, laminado en caliente, que se entrega en barras redondas macizas y placas, tratadas térmicamente. Las mismas son sometidas a una operación especial de estiramiento en frío para el máximo alivio de tensiones. Se ha convertido en un material ampliamente utilizado en la industria de moldes y matrices. Condición de entrega: Tratado térmicamente a 146 – 180 Brinell (Bohoman, 2013).

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Prodax posee las siguientes características, que lo hacen apropiado para distintos tipos de aplicaciones, que en este caso nos centraremos en área automotriz.

- Excelente mecanizado
- Bajo peso
- Alta conductividad Térmica
- Buena estabilidad
- Buena resistencia a la corrosión
- Apropriado para tratamientos superficiales.

Mediante la ficha técnica encontrada en revisión bibliografía se puede apreciar en la tabla 10, los valores de las propiedades físicas y mecánicas que se va a utilizar para proceder a elaborar las simulaciones y obtener los valores del análisis topológico.

Tabla 10.
Propiedades físicas y mecánicas del material Prodax

PROPIEDADES FÍSICAS	
Densidad	2830 kg/m ³
Módulo de elasticidad	71500 N/mm ²
Coefficiente de expansión Térmica	26x10 ⁻⁶ °C
Conductividad Térmica	165 W/m °C
Color específico.	890 J/Kg °C
PROPIEDADES MECÁNICAS	
Límite Elástico	490 MPa
Resistencia a la tracción	540 MPa
Alargamiento	2 – 6 %
Dureza HBW (2.5 / 62.5)	130 -160

Nota: Las propiedades mecánicas del material mediante el aporte de (Bohler, 2004).

Es importante recalcar que el material especificado consta con aplicaciones de interés técnico como por ejemplo; moldes para la inyección de plástico, moldes de soplado de largas series, moldes de fundición, construcciones soldadas.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

El tamaño estándar de las placas enteras constan con un espesor de 40 a 300 mm y un ancho de x ancho de 910 x 2000 / 1570 x 3000/3670 mm.

Elaboración de simulaciones y resultados

Antes de ingresar los valores para las condiciones de frontera se puede observar en la figura 29, los valores proporcionados por el programa comercial gratuito *SolidWorks*, de masa densidad y volumen, recalcando que partes del elemento que se van analizar, son los lugares donde existen mayor concentración de esfuerzos de la suma de todos los elementos estructurales donde saldrán los valores resultantes de la masa general.

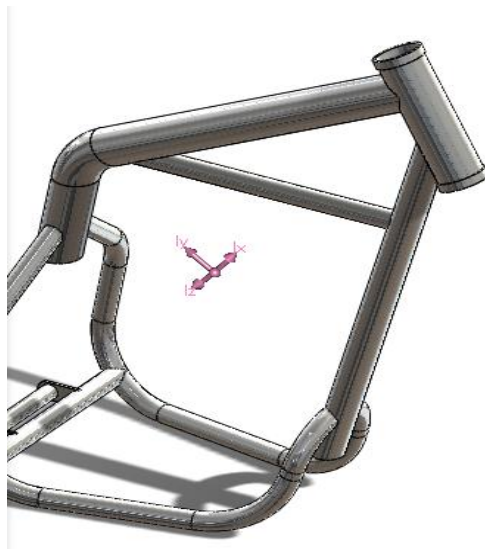


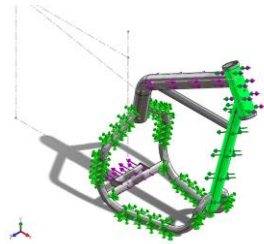
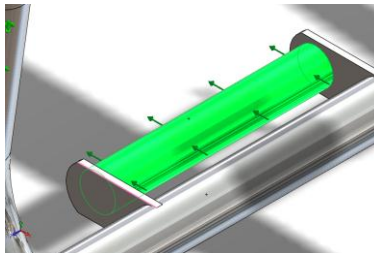
Figura 30. Valores de masa, densidad y volumen del elemento a analizar, propiedades volumétricas como son: Masa:1.46974 kg, Volumen:0.000519342 m³, Densidad:2830 kg/m³, Peso:14.4034 N
Fuente: Autor

De la misma forma se elaboró el proceso de aplicación de fuerzas y cargas que se aplicó para el material original, se realizará las simulaciones para este elemento, bajo los mismos parámetros antes utilizados, con la diferencia que se utilizará un material distinto al original, con la finalidad de obtener un bastidor de menor peso, pero que cumpla con las tensiones antes calculadas, en la tabla 10, se aprecia la distribución de cargas puntuales en los puntos del chasis donde se hizo el cálculo de fuerzas mediante el análisis estático.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Tabla 11.

Aplicación de cargas a los elementos seleccionados

Tipos de Fuerzas	Posición de aplicación de carga	Valor de carga
Fuerza-1		Valores: 2596.98 N
Fuerza-3		Valores: -3294.69 N
Fuerza-4		Valores: -4003.63 N

Nota: En la tabla esta señaladas las fuerzas que actúan sobre el bastidor n cada uno de los puntos de análisis.

Para el criterio de mallado y generación de elementos de discretización del dominio, a través de la geometría, se utilizó el mallado triangular, más fino esto garantiza la obtención de datos lo suficientemente precisos para el posterior análisis, en la figura 30, se observa los puntos de concentración de esfuerzos en el chasis así como los valores de entregados a través de la simulación del módulo de Von mises, resultados que se entregan a través de la aplicación de fuerzas en la horquilla y oscilante del chasis donde el valor máximo de tensiones es de 139.42 MPa, en la figura 31, después de la aplicación de cargas se puede observar en la tabla un desplazamiento máximo de 0.180mm, que es un valor que se encuentra dentro de las condiciones de diseño, también se debe tomar en cuenta que la gráfica

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

antes mencionada se refleja una escala de deformación de 1 en la próxima gráfica se observa el resultado del factor de seguridad de 2.8.

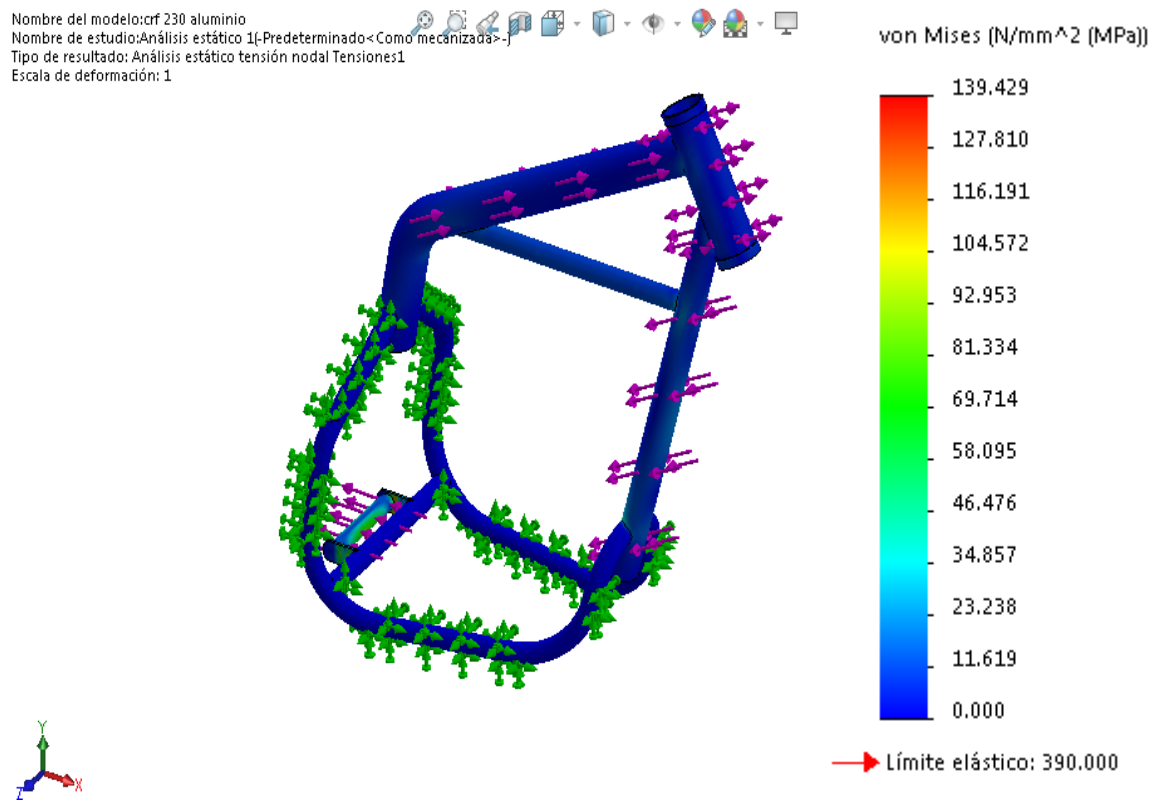


Figura 31. Valores correspondientes al análisis de Von mises, Tensiones1, **MÍNIMO** 2.13956e-017 N/mm² (MPa) - Nodo: 81812, **MÁXIMO** 139.43 N/mm² (MPa) - Nodo: 76808

Fuente: Autor

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

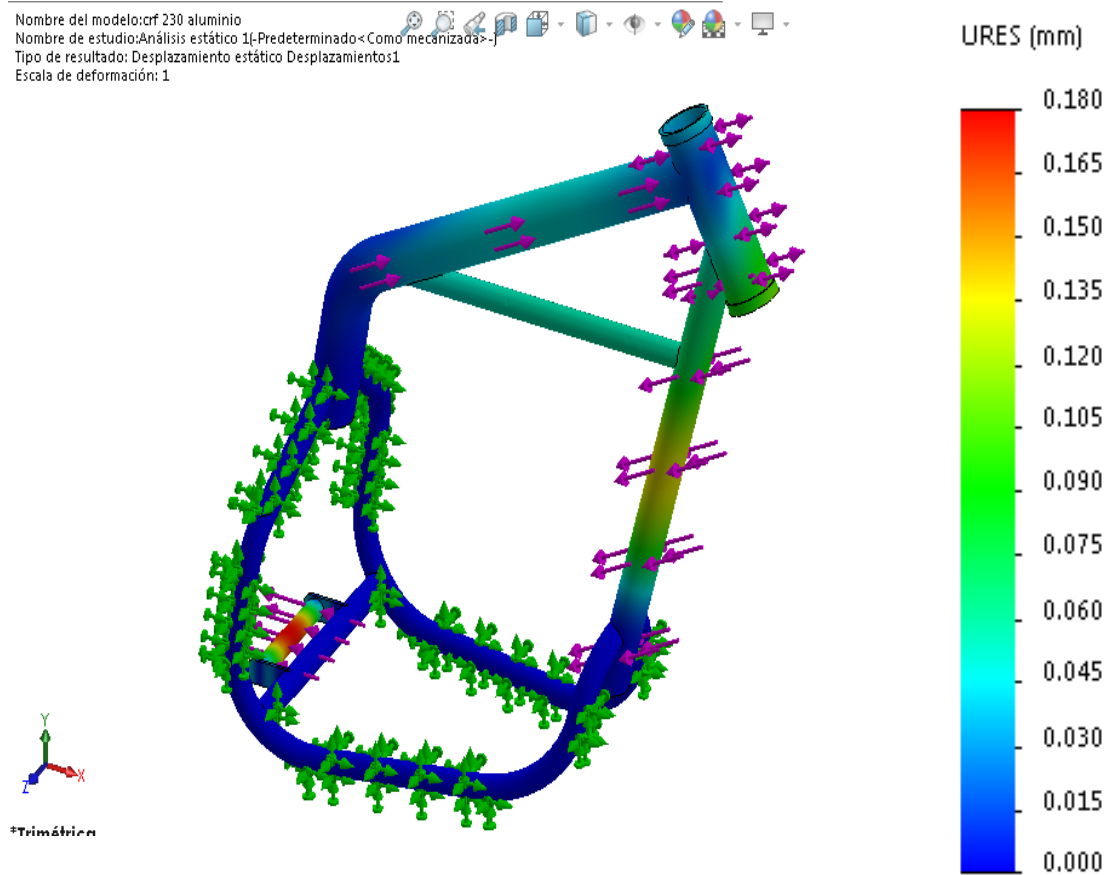


Figura 32. Valores correspondientes al desplazamiento después de la aplicación de cargas, Desplazamientos1
MÍNIMO, 0 mm - Nodo: 229, **MÁXIMO** 0.179556 mm, Nodo: 2882

Fuente: Autor

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

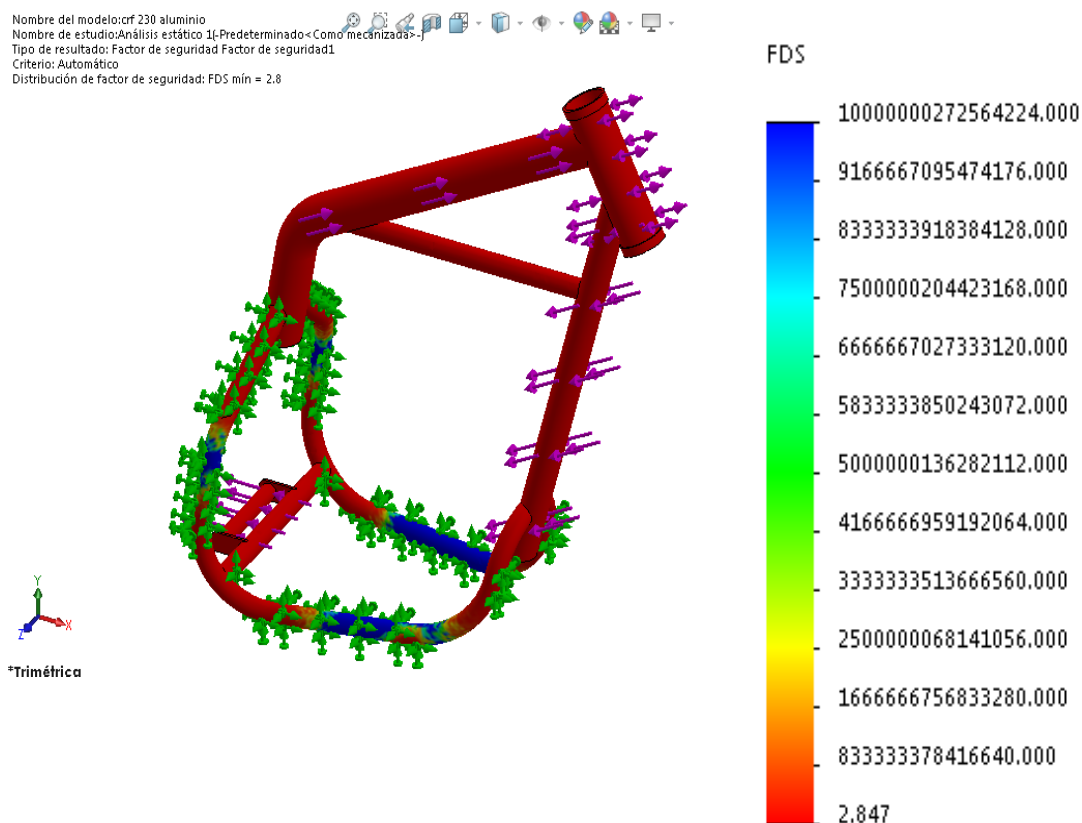


Figura 33. Valores correspondientes al factor de seguridad empleado en el análisis, **MÍNIMO** Factor de seguridad1 2.7971 - Nodo: 76808, **MÁXIMO** 1e+016 Nodo: 423

Fuente: Autor

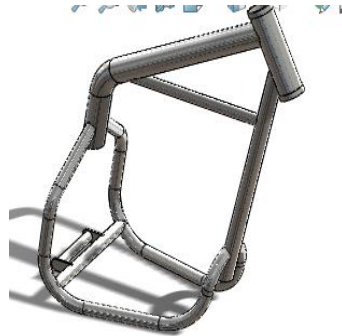
Proceso de optimización

Mediante el resultado del cálculo en el análisis estático, elaborado anteriormente donde el chasis del proyecto está diseñado para soportar una carga en la base del amortiguador un valor de 4003.63 N, y dos cargas diagonales en la horquilla de 2596.989 N y 3294.688 N respectivamente, el material del componente es un aluminio Prodax que cuenta con un límite elástico de 390.00 MPa. Mediante la utilización del programa comercial gratuito *SolidWorks* se ha calculado la masa del bastidor a analizar con el material seleccionado dando un resultado de 1496.74 g

Mediante la aplicación del método de optimización topológica se ha utilizado la malla más fina para obtener los resultados exactos, con esto el tamaño de cada nodo es de 6.08mm, un

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

total de nodos de 96760mm, se ha trabajado con un dominio rectangular donde cada milímetro equivale a un elemento finito entrando un total de 49121 elementos, de igual manera, el dominio posee zonas no optimizables, estas están ubicadas en las tuberías de menor diámetro de 19 mm que se encuentran ubicadas donde iría el asiento para el piloto.



		Actual	Inicial	Óptimo (0)	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7	Escen
d1		2.125mm	2.125mm	2.125mm	1mm	1.0625mm	1mm	1.0625mm	1mm	1.0625mm	1mm	1.0625m
d2		2mm	2mm	2mm	0.7mm	0.7mm	1mm	1mm	0.7mm	0.7mm	1mm	1mm
d3		1.5mm	1.5mm	1.5mm	0.6mm	0.6mm	0.6mm	0.6mm	0.75mm	0.75mm	0.75mm	0.75mm
Desplazamiento1	< 0.18mm	0.17956mm	0.17956mm	0.17956mm	0.38062mm	0.37958mm	0.37958mm	0.37958mm	0.37958mm	0.37958mm	0.37958mm	0.37958
Tensión1	< 139.43 N/mm²	139.43 N/mm²	139.43 N/mm²	139.43 N/mm²	136.83 N/mm²	139.93 N/mm²	139.93 N/mm²	139.93 N/mm²	139.93 N/mm²	139.93 N/mm²	139.93 N/mm²	139.93
Masa6	Minimizar	1469.74 g	1469.74 g	1469.74 g	1022.13 g	1035 g	1056.71 g	1069.58 g	1031.73 g	1044.83 g	1066.38 g	1079.47

INICIAL

ÓPTIMO

MASA

1469.74g

1469.54g

DESPLAZAMIENTO

0.17965 mm

0.17965 mm

Figura 34. Resultado del estudio topológico con el material Aluminio Produx.

Fuente: Autor

El resultado del análisis topológico se muestra en la figura 34, como se puede observar la tensión que se ejerce en el elemento, con el material de aluminio Produx tiene un valor de 139.43 N/mm², al igual que el espesor de la tubería inicial es de 2.125mm y su valor óptimo es de 2.125mm, lo que nos quiere decir que, el peso inicial otorgado por el cambio de material se mantiene, en la figura 35, se observa una tabla de los materiales de aluminio comerciales (DIPAC), donde se verifica que el material óptimo, entregado por el programa de diseño es el valor mínimo de espesor que consta en dicha información.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

DIÁMETRO EXTERIOR (D)		ESP.
Pulg	mm	e
5/8	15.90	0.60
		0.75
		0.95
		1.10
		1.50
3/4	19.05	0.60
		0.75
		0.95
		1.10
		1.50
7/8	22.22	0.60
		0.75
		0.95
		1.10
		1.50
1	25.40	0.60
		0.75
		0.95
		1.10
		1.50
1 1/4	31.75	0.95
		1.10
		1.50
1 1/2	38.10	0.95
		1.10
		1.50
1 3/4	44.45	0.95
		1.10
		1.50
1 7/8	47.63	0.95
		1.10
		1.50
2	50.80	0.95
		1.10
		1.50
2 3/8	60.33	1.50
2 1/2	63.50	1.50

Figura 35. Tabla de aceros comerciales (DIPAC).

Fuente: (DIPAC, 2018), ver Anexo 6

Material empleado Número tres (Material comercial local)

ASTM A 500 Grado A

Para la siguiente simulación se ha optado por el acero ASTM A 500, por la accesibilidad en el mercado local y la distribución del material que contiene, este material presenta aceros estructurales tubulares redondos, cuadrados y rectangulares, laminados en frío de aceros de carbono, utilizando el sistema de soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal, (ERW) Son alternativas estructurales, diseñadas para construir sistemas estructurales metálicos de alta resistencia así como aplicadas en el área automotriz en el diseño de estructuras de carrocerías y chasis, de una manera rápida y sencilla (Bohoman, 2013).

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Los perfiles tubulares se fabrican de acuerdo a la norma ASTM A-500 con las dimensiones reales y se comercializan según las normas nominales de común manejo. La longitud normal de fabricación es de 6.00 m

A continuación en la tabla 12, se detallan las pruebas sometidas a acero ASTM A-500, para la garantía de calidad, en su construcción.

Tabla 12.

Detalle de normalización de pruebas sobre el acero ASTM A – 500

Torsión	Según Norma ASTM A-500 – NTC 4526
Aplastamiento	Según Norma ASTM A-500
Abocardado	Según Norma NTC – 103
Espesor de capa	Según Norma ASTM A – 53 (para tubos galvanizados)

Nota: Se detallan las pruebas que se realizan en este material aporte de (ASTM162, 2016)

Mediante la ficha técnica encontrada en revisión bibliografía se puede apreciar en la (Tabla 12), los valores de las propiedades físicas y mecánicas que se va a utilizar para proceder a elaborar las simulaciones y obtener los valores del análisis topológico.

Tabla 13.

Propiedades mecánicas del acero ASTM A – 500, Grado A

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Resistencia a la tracción	310 MPa
Rendimiento	269 MPa
Elongación en 2 min	25%
Límite de fluencia	230 MPa

Nota: En esta tabla se detallan las propiedades mecánicas del material que se va a trabajar con el aporte de

(Pino, 2002)

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

El material seleccionado tiene ventajas como:

- El fácil manejo de uniones, de pintura y materiales para protección contra fuego.
- Características mecánicas y físicas muy controladas.
- La tubería estructural tiene mejores relaciones de peso y mejor resistencia a la torsión,
- Menores coeficientes de resistencia aerodinámica, en especial los circulares.

Elaboración de simulaciones y resultados

Antes de ingresar los valores para las condiciones de frontera se puede observar en la figura 36, los valores proporcionados por el programa comercial gratuito *SolidWorks*, de las propiedades mecánicas que serán utilizadas para las simulaciones con el acero AISI 1020, de la misma manera los valores unitarios de masa densidad y volumen, recalando que partes del elemento que se van analizar, son los lugares donde existen mayor concentración de esfuerzos de la suma de todas las articulaciones saldrán los valores resultantes de la masa general de 3656.65g.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	205000	N/mm ²
Coeficiente de Poisson	0.29	N/D
Módulo cortante	80000	N/mm ²
Densidad de masa	7870	kg/m ³
Límite de tracción	420	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	350	N/mm ²
Coeficiente de expansión térmica	1.17e-005	/K
Conductividad térmica	51.9	W/(m·K)

Figura 36. Valores de masa, densidad y volumen del elemento a analizar.

Fuente: Autor

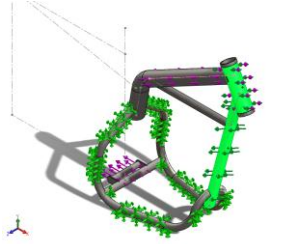
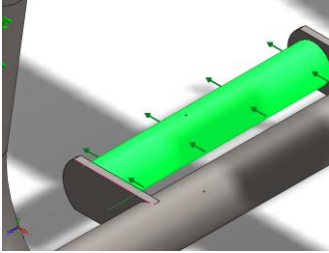
Luego de ingresar las propiedades mecánicas del material, se elaboró el proceso de aplicación de fuerzas y cargas para este material, se realizará las simulaciones para este elemento, bajo los mismos parámetros antes utilizados, con la diferencia que se utilizará un

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

material distinto al original, con la finalidad de obtener un bastidor de menor peso, pero que cumpla con las tensiones antes calculadas, en la tabla 14, se aprecia la distribución de cargas puntuales en los puntos estratégicos del chasis donde se hizo el cálculo de fuerzas en el análisis estático

Tabla 14.

Aplicación de cargas a los elementos seleccionados.

Tipos de Fuerzas	Posición de aplicación de carga	Valor de carga
Fuerza-1		Valores: 2596.98 N
Fuerza-3		Valores: -3294.69 N
Fuerza-4		Valores: -4003.63 N

Nota: En la tabla esta señaladas las fuerzas que actúan sobre el bastidor en cada uno de los puntos de análisis.

Para el criterio de mallado y generación de elementos de discretización del dominio, a través de la geometría, se ha utilizado el mallado triangular, más fino esto garantiza la obtención de datos lo suficientemente precisos para el posterior análisis, en la Figura 37, se observa los puntos de concentración de esfuerzos en el chasis así como los valores de entregados a través de la simulación del módulo de Von mises, resultados otorgados a través de la aplicación de fuerzas en la horquilla y oscilante del chasis donde el valor máximo de

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

tensiones es de 137.78 MPa, en la figura 37, después de la aplicación de cargas se puede observar en la tabla un desplazamiento máximo de 0.063mm, que es un valor que se encuentra dentro de las condiciones de diseño, también se debe tomar en cuenta que la gráfica antes mencionada se refleja una escala de deformación de 1 en la próxima gráfica se observa el resultado del factor de seguridad de 2.5.

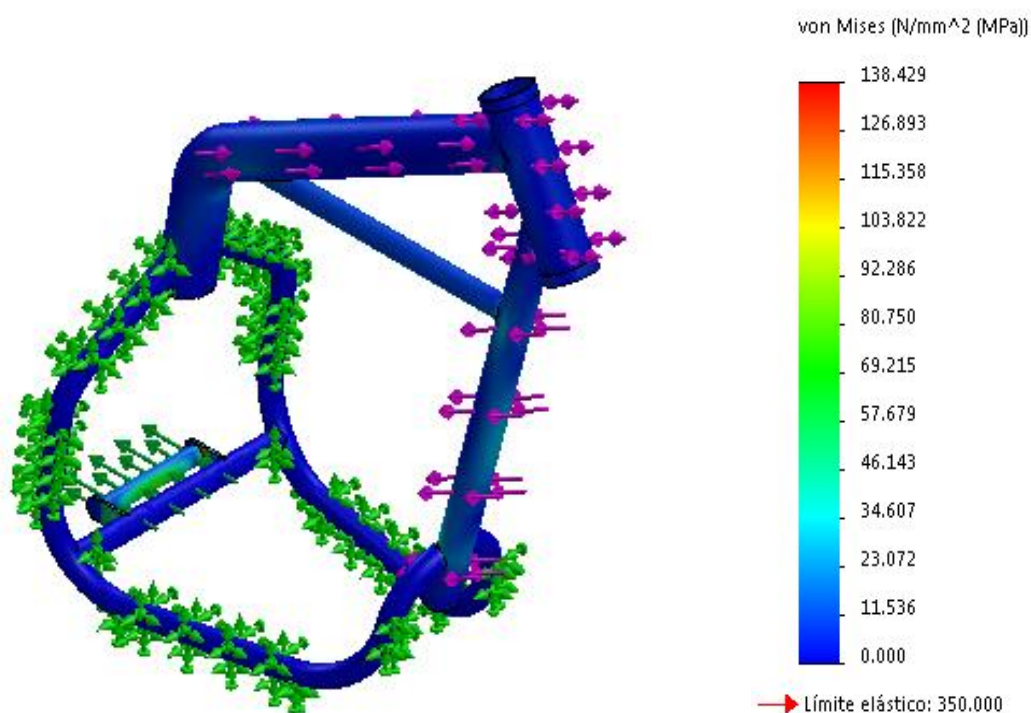


Figura 37. Valores correspondientes al análisis de Von mises, Tensiones1 - **MÍNIMO** 1.21228e-016 N/mm² (MPa)- Nodo: 32174, **MÁXIMO** - 138.429 N/mm² (MPa) - Nodo: 81191.

Fuente: Autor

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Nombre del modelo: crf 230 aceros
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 1

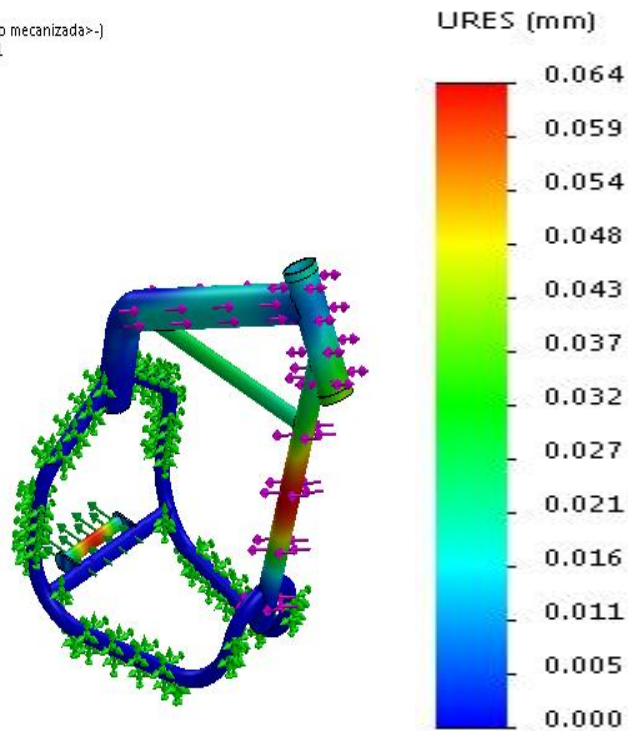


Figura 38. Valores correspondientes al desplazamiento después de la aplicación de cargas, Desplazamientos1
MÍNIMO 0 mm - Nodo: 241, **MÁXIMO** 0.0642626 mm - Nodo: 53974

Fuente: Autor

Nombre del modelo: crf 230 acero
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Automático
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2.5

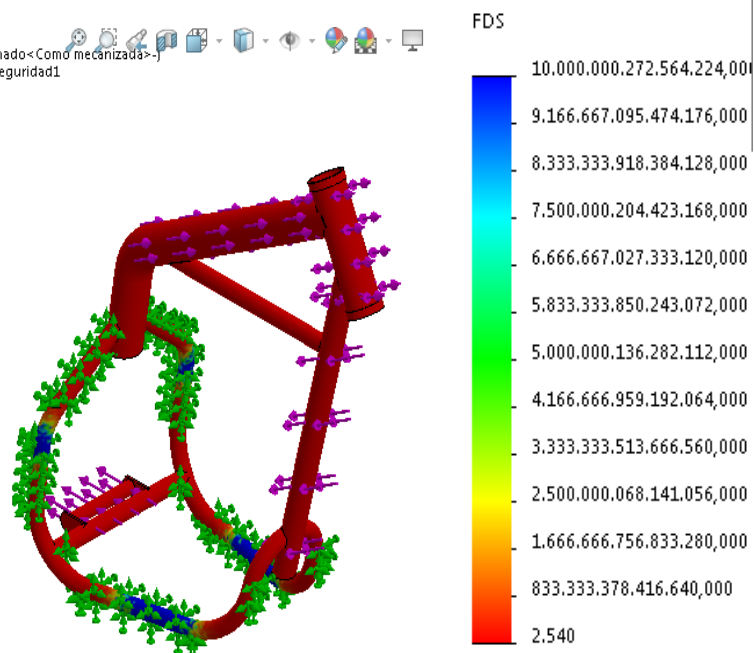


Figura 39. Valores correspondientes al factor de seguridad empleado en el análisis, Factor de seguridad1,
MÍNIMO 2.52837 - Nodo: 81191, **MÁXIMO** 1e+016 - Nodo: 433

Fuente: Autor

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Proceso de optimización

Mediante el resultado del cálculo en el análisis estático, elaborado anteriormente donde el chasis del proyecto está diseñado para soportar una carga en la base del amortiguador un valor de 4003.63 N, y dos cargas diagonales en la horquilla de 2596.989 N y 3294.688 N respectivamente, el material actual a trabajar en el componente es un acero negro ASTM A – 500 Grado A, que cuenta con un límite elástico de 350.00 MPa. Mediante la utilización del programa comercial SolidWorks se ha calculado la masa del bastidor a analizar con el material seleccionado dando un resultado de 3656.65 g

Mediante la aplicación del método de optimización topológica se ha utilizado la malla más fina para obtener los resultados exactos, con esto el tamaño de cada nodo es de 6.08mm, un total de nodos de 101266mm, se ha trabajado con un dominio rectangular donde cada milímetro equivale a un elemento finito entrando un total de 51530 elementos, de igual manera, el dominio posee zonas no optimizables, estas estas ubicadas en las tuberías de menor diámetro de 19 mm que se encuentran ubicadas donde iría el asiento para el piloto.



		Actual	Inicial	Óptimo (0)	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7	Esc
d1		1.5mm	1.5mm	1.5mm	0.55mm	0.75mm	0.55mm	0.75mm	0.55mm	0.75mm	0.55mm	0.75n
d2		1.5mm	1.5mm	1.5mm	0.55mm	0.55mm	0.75mm	0.75mm	0.55mm	0.55mm	0.75mm	0.75n
d3		1.5mm	1.5mm	1.5mm	0.475mm	0.475mm	0.475mm	0.475mm	0.75mm	0.75mm	0.75mm	0.75n
Tensión1	< 137.79 N/mm²	137.79 N/mm²	137.79 N/mm²	137.79 N/mm²	137.79 N/mm²	137.79 N/mm²	137.79 N/mm²	137.79 N/mm²	137.79 N/mm²	137.79 N/mm²	137.79 N/mm²	137.7
Desplazamiento1	< 0.064mm	0.06394mm	0.06394mm	0.06394mm	0.06394mm	0.06394mm	0.06394mm	0.06394mm	0.06394mm	0.06394mm	0.06394mm	Transn
Masa7	Minimizar	3656.65 g	3656.65 g	3656.65 g	2579.49 g	2707.57 g	2643.24 g	2771.32 g	2627.24 g	2755.02 g	2690.95 g	2818.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

	INICIAL	ÓPTIMO
MASA	3656.65g	3656.65g
DESPLAZAMIENTO	0.06394 mm	0.06394 mm

Figura 40. Resultado del estudio topológico con el material Aluminio Produx.

Fuente: Autor

El resultado de la topología se muestra en la figura 40, como se puede observar la tensión que se ejerce en el elemento, con el material de aluminio Produx tiene un valor de 137.79 N/mm^2 , al igual que el espesor de la tubería inicial es de 1.5 mm y su valor optimo es de 1.5 mm, lo que nos quiere decir que, el peso inicial otorgado por el cambio de material se mantiene en 3656.65g, en la figura 41, se observa una tabla de los materiales de aluminio comerciales DIPAC(2018), donde se verifica que el material óptimo, entregado por el programa de diseño es el valor mínimo de espesor que consta en dicha información.

DIAMETRO EXTERIOR (D)		ESP.
Pulg	mm	mm
1/2	12.70	0.60
		0.75
		0.95
		1.10
		1.50
5/8	15.88	0.60
		0.75
		0.95
		1.10
		1.50
3/4	19.05	0.60
		0.75
		0.95
		1.10
		1.50
7/8	22.22	0.60
		0.75
		0.95
		1.10
		1.50
1	25.40	0.60
		0.75
		0.95
		1.10
		1.50
1 1/4	31.75	0.95
		1.10
		1.50
1 1/2	38.10	0.95
		1.10
		1.50
1 3/4	44.45	0.95
		1.10
		1.50
1 7/8	47.63	0.95
		1.10
		1.50
2	50.80	0.95
		1.10
		1.50
2 3/8	60.33	1.50
2 1/2	63.50	1.50

Figura 41. Tabla de aceros comerciales (DIPAC).

Fuente: (DIPAC, 2018), ver Anexo 7.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Análisis de factor de seguridad a fatiga

A continuación se obtiene la validación del factor de seguridad, que se ha trabajado con tres distintos materiales donde se ha conseguido valores del módulo de von mises y límites de materiales casi parecidos, por ende los valores del factor de seguridad para los tres materiales oscilan entre 2 a 2.5. Se utilizará el método analítico de “Goldman Modificado” en el que se han considerado de manera especial las propiedades geométricas físicas y ambientales del material; además de aplicar la hipótesis de esfuerzos medio y amplitud tomando como esfuerzo máximo de tensión el valor del módulo de von mises y el mínimo obtenido del módulo de von mises el valor menor de tensión, con ayuda del soporte bibliográfico de (Ochoa & Salameda, 2013).

Factor de seguridad.

$$S_{ut} = 530 \text{ Mpa} \quad \text{Resistencia a la tracción}$$

$$S_y = 385 \text{ Mpa} \quad \text{Resistencia a la fluencia}$$

$$r = 9 \text{ mm} \quad \text{radio del tubo con mayor valor de tensión}$$

$$d = 18 \text{ mm} \quad \text{radio del tubo con mayor valor de tensión}$$

Incógnitas

$$S_e = ?$$

$$\sigma_a = ?$$

$$\sigma_m = ?$$

$$S'_e = 0.5 (S_{ut})$$

$$S'_e = 0.5 (530 \text{ Mpa}) = 265 \text{ Mpa}$$

$$K_a = a S_{ut}^b \quad a = 4.51 \quad b = -0.265 \quad \text{laminado en frío}$$

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

$$K_a = 4.51(530 \text{ Mpa})^{-0.265} = 0.856$$

$$K_c = 1 \rightarrow \text{Combinación de esfuerzos}$$

$$K_d = 1 \rightarrow \text{Temperatura ambiente}$$

$$K_e = 0.868 \rightarrow 95\% \text{ de confianza}$$

$$K_f = 1 \rightarrow \text{Efectos varios}$$

$$S_e = k_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot S_e'$$

$$S_e = (0.856 \text{ Mpa}) \cdot (0.95 \text{ Mpa}) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (265 \text{ Mpa})$$

$$S_e = (215.498 \text{ Mpa})$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

$$\sigma_m = \frac{137.34 \text{ MPa} + 11.44 \text{ Mpa}}{2} = 74.39 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

$$\sigma_m = \frac{137.34 \text{ MPa} - 11.44 \text{ Mpa}}{2} = 62.95 \text{ Mpa}$$

Teoría de Goodman Modificado

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{62.95 \text{ Mpa}}{215.498 \text{ Mpa}} + \frac{74.39 \text{ Mpa}}{530 \text{ Mpa}} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{49394.39}{114213.94} = \frac{1}{n}$$

$$N = 2.31$$

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

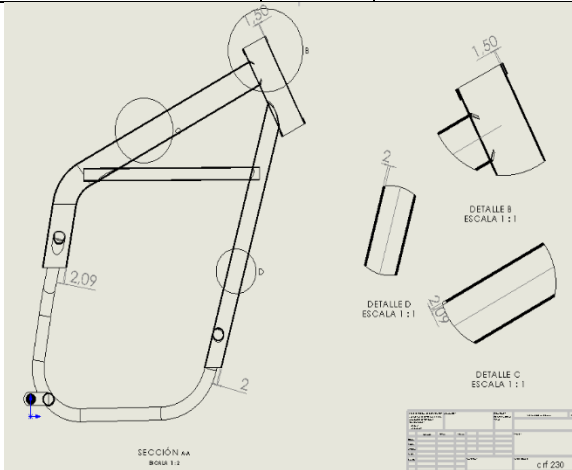
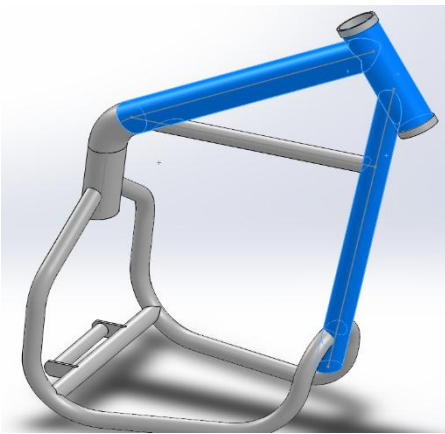
Con el valor máximo del factor de seguridad hallado en las simulaciones de los materiales antes aplicados el valor máximo es de 2.49 y con la validación del resultado hemos obtenido un valor de 2.31 lo que demuestra un porcentaje del 7 % de error a nuestro cálculo, se encuentra dentro de la tolerancia de error de diseño.

Discusión de resultados.

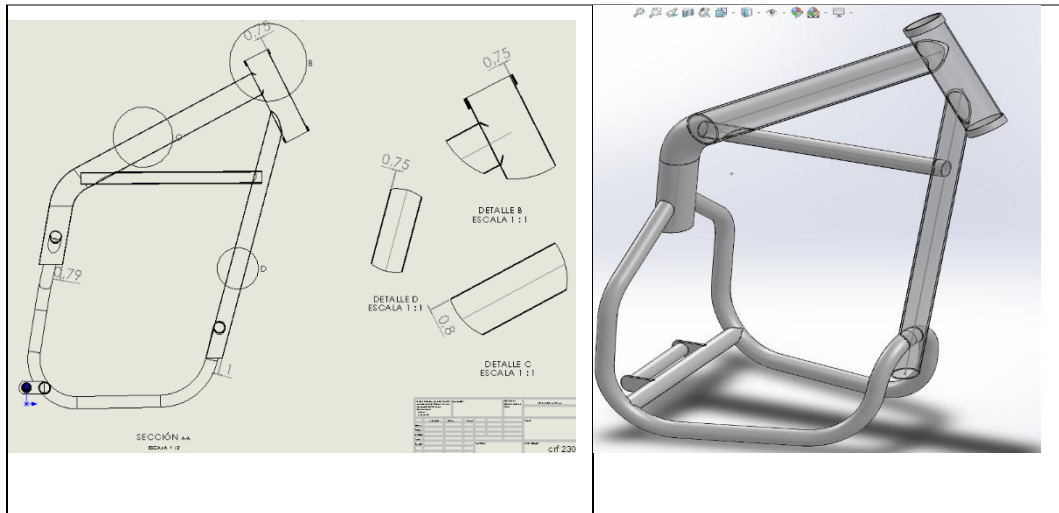
Para el análisis de resultados del proyecto se ha dividido en diferentes secciones, para la primera se elaboró una tabla de resultados con el material SAE 8620 y su respectiva optimización como se observa a continuación.

Tabla 15.

Comparación de valores del material inicial y luego del proceso de optimización

Geometría del modelo original				
Material	Peso	Límite máx tensión	Límite máx de desplazamiento	Factor de Seguridad
Acero SAE 8620	4074.0 2 g	137.346 MPa	0.062 mm	2.49
				
Gemetría del modelo Optimizado				
Material	Peso	Límite máx tensión	Límite máx de desplazamiento	Factor de Seguridad
ACERO SAE 8620 OPTIMIZADO	2765.6 7 g	243.259 MPa	0.235 mm	1.41

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA



Nota: La tabla muestran la comparación de los resultados después del análisis de la estructura original vs la estructura modificada, con la representación geométrica de planos y modelos donde se aprecia la modificación de los espesores después del proceso de aplicación del análisis topológico.

El material que ha sido seleccionado para la elaboración de las simulaciones es un SAE 8620, se lo ha escogido de acuerdo a una comparación de porcentajes químicos hallados mediante el proceso de Espectrometría de Chispa en los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador, a través de la inserción de sus propiedades mecánicas obtenidas mediante revisión bibliográfica se han obtenido los siguientes resultados presentados en la tabla 15, inicialmente a través del programa comercial gratuito de *SolidWorks* se ha obtenido la masa de la geometría dando como resultado un valor de 4075.02 g, posteriormente se obtiene la comparación de resultados de 137.346 MPa del módulo de von mises como el mayor punto de concentración de esfuerzos, en el modelo original, en comparación al chasis aplicado la optimización se obtiene un valor de von mises de 234.25 MPa, estos resultados se encuentran por debajo del valor del límite elástico del material siendo 343.138 MPa, de la misma manera un desplazamiento de 0.062 mm para el modelo original y 0.235 para el chasis optimizados con sus respectivos factores de seguridad calculados por separado 2.49 y 1.41 respectivamente. La aplicación del análisis topológico parte con los resultados obtenidos a través del módulo de von mises, el porcentaje de material removido se debe realizar en los

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

elementos del chasis donde se presentan los valores más bajos de tensión, ya que es donde se puede descartar algún tipo de deformación significativa al material.

Los resultados del proceso de optimización topológica del proyecto se muestran en la tabla 15, el material ha sido removido de una forma adecuada, como se puede observar en el plano, el detalle E, el espesor del material tiene un valor inicial de 2.125 mm, después de la aplicación topológica se obtiene un espesor de 0.79mm, el factor de seguridad mínimo calculado para el componente óptimo es de 1.41, que se encuentra dentro de nuestra aspiración y el cual cumple con la aplicación de los requerimientos mecánicos de diseño.

La segunda parte del análisis es una comparación se realiza mediante el análisis del Ingeniero David Vélez Leva en su trabajo de investigación titulado “Diseño, simulación y análisis de un chasis de moto para motor wankel”, se obtiene los siguientes datos proporcionados en este estudio Vélez (2014), mediante una metodología de optimización topológica a un chasis de motocicleta, donde se disminuye un 10 % el tamaño de los tubos verticales del bastidor pasando de 25 mm en el diámetro exterior a 22 mm en el diámetro interior a 18 mm, una vez realizada el análisis del vom mises de los valores disminuidos se confirma que la modificación es descartada por no satisfacer los criterios establecidos con resultado de un aumento de tensión del módulo de vom mises de 803.827 MPa a 1179.06 MPa ya que los valores de tensiones superan el valor del límite elástico del material, como se observa en la tabla 16 se ha elaborado la comparación de los resultados de los dos estudios, donde presenta que los valores encontrados de nuestro estudio aplicado la misma metodología se encuentran dentro de los criterios de diseño ya que los resultados obtenidos están por debajo del valor del límite elástico del material, por otro lado en el estudio Vélez (2014), ha encontrado una solución mediante el diseño de un refuerzo entre los dos tubos verticales con el objetivo de disminuir los resultados de tensión, localizados en los valores

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

extremos del travesaño hasta alcanzar un valor de 741.818 MPa a diferencia del valor inicial de 803.827 MPa.

Tabla 16.

Comparación de resultados experimentales basados en estudios realizados por otros autores.

PROTOTIPO	Tensión	Tensión	Límite Elástico del material (MPa)
	Valor chasis original (MPa)	Valor chasis optimizado (MPa)	
ESTUDIO Según Velez (2014)	803.827	1020.27	460.00
ESTUDIO Experimental actual	137.34	243.25	343.138

Note: En la tabla se muestran la comparación de los valores del estudio experimental vs los resultados basados en la investigación de Vélez (2014)

En la etapa de validación, mediante la revisión bibliográfica, se ha encontrado que a través de la norma instituto Ecuatoriano de Normalización (2009), en el punto 5 que trata sobre la Estructura de las Carrocerías, el párrafo 5.1.5.1, detalla que al existir una carga estática sobre la parte superior del elemento, equivale al 50% del peso máximo admisible para el chasis, distribuido uniformemente a lo largo del mismo, sin experimentar deformaciones en ningún punto; esto lo relacionamos con los valores de nuestro proyecto, las cargas máximas halladas mediante la resolución que nos arroja el programa se obtiene un valor de esfuerzo máximo hallado en el análisis topológico de 243.25 MPa de tensión en el chasis, dividiríamos el límite elástico para el valor máximo de tensión se obtiene un valor de factor de seguridad que resulta 1.41 este valor se encuentra dentro de las tablas del factor de seguridad estático de Supp & Ort (2016), que se muestra en la tabla 17, los valores mínimos de elementos y máquinas que están sometidos a vibraciones y sin vibraciones, resultado la viabilidad de nuestra investigación.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Tabla 17.

Valores de referencia del factor de seguridad estático

Máquina Industrial General	Condiciones de Carga	Límite más bajo de fs.
Máquina industrial	Sin vibración ni impacto	1.0 a 3.5
	Con vibración o impacto	2.0 a 5.0
Máquina herramienta	Sin vibración ni impacto	1.0 a 4.0
	Con vibración o impacto	2.5 a 7.0

Nota: La tabla muestra los valores mínimos del factor de seguridad con los que se trabaja de manera industrial para tomar en referencia y establecer los criterios de diseño con el aporte de (Supp & Ort, 2016)

Como resultado final del estudio se muestra de forma satisfactoria ya que el valor inicial de masa del componente original es de 4074.02 g fue reducido a 2754.05 g, del cual ha llegado un valor de 67.6 % de reducción.

La tercera parte del análisis de resultados se los puede observar en la tabla 18 donde se realizó la elaboración de las simulaciones con dos distintos materiales para poder comprar los valores de esfuerzos máximos y los factores de seguridad.

Tabla 18.

Comparación de valores del peso inicial y luego de la optimización.

Chasis	Planos Espesores	Peso	Límite máx tensión	Límite máx de desplazamiento	Factor de Seguridad
Unidades		G	MPa	mm	
Aluminio Prodax		1469.43 g	139.429 MPa	0.180 mm	2.84
Aluminio Prodax (Optimización)		1469.43 g	139.43 MPa	0.17956mm	2.84
Acero A – 500 (AISI 1020)		3656.65 g	137.787 MPa	0.06394 mm	2.54
Acero A – 500 (AISI 1020), (Optimizado)		3656.65 g	137.79 MPa	0.06394 mm	5.54

Nota: En la tabla se verifica los resultados de los materiales alternativos antes y después de la optimización, entregando valores de peso, tensión, desplazamiento, y factor de seguridad de diseño.

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Los resultados de las simulaciones de los dos materiales restantes se observa en la tabla 18, el chasis simulado con el aluminio Produx y el Acero A -500 que nos calcula el programa comercial gratuito *SolidWorks* nos da un valor de masa 1469.43 g y 3656.65 g respectivamente, mediante la aplicación de las cargas en los distintos puntos específicos del chasis del material Aluminio Produx se obtiene los siguientes resultados de 139.429 MPa del material original y después de la optimización se mantiene el valor de 139.43 MPa, de la misma manera el desplazamiento y el factor de seguridad 2.84, así mismo para el acero A – 500 se obtienen 137.787 MPa para el chasis original y 137.79 para el chasis optimizado, de la misma manera los desplazamientos y el factor de seguridad que resultan valores similares, los datos se mantiene iguales tanto en el chasis del material original y el optimizado, debido a que el programa “CAM”, arroja un resultado después de aplicar la topología, que el valor óptimo y máximo reducible es el valor con el que se ha trabajado inicialmente, además el valor del espesor óptimo del material calculado mediante el método de elementos finitos es el valor mínimo que se encuentra en tablas de los diferentes marcas comerciales ver figura 41 y 35, lo que se puede deducir que no se puede bajar más peso del establecido inicialmente, debido a que si se modifica el espesor de estos materiales se podría arriesgar con una respuesta negativa del elemento que ha sido sometido a las diferentes cargas analizadas anteriormente.

La viabilidad del proyecto se ha demostrado tras el análisis del factor de seguridad que se encuentra dentro de los parámetros de diseño escrito en la norma NTE 1323 , se puede apreciar de forma resumida en la tabla 17 de (Supp & Ort, 2016), donde detalla los valores mínimos para trabajar del factor de seguridad de elementos que se encuentran sometidos a vibraciones y estáticos, además se realizó la comprobación matemática mediante un análisis del factor de seguridad a fatiga dando un resultado de 2.31 en el metodo matemático con una

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

diferencia del 7% al valor de 2.49, lo que demuestra que se encuentra dentro de la tolerancia de error de diseño.

Conclusiones

- Mediante el análisis del estado del arte, y del estudio de toda la información relacionada con los procesos de análisis estructural referente a bastidor de vehículos motorizados, se identificó la metodología de Ochoa & Salameda (2013), que ha posibilitado caracterizar las cargas que esta soporta, partiendo de variables como son el peso de la motocicleta y ocupante, dimensiones, ángulo de avance entre otros. A partir del análisis de todas estas variables fue posible definir las cargas estáticas a las que la motocicleta se encuentra sometida, estos han sido un ente importante para la partida de este estudio de desempeño estructural.
- El material con el que está fabricado el chasis de la motocicleta HONDA CRF “230” se lo reconoció por medio de una caracterización de material, con el soporte de los laboratorios de metalurgia de la Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador mediante un estudio de Espectrometría de chispa, que nos entrega los porcentajes químicos que compone este elemento para establecer en las condiciones de diseño.
- El prototipo de chasis de moto se ha diseñado y modelado con las garantías de cumplimiento satisfactorio ante las situaciones hipotéticas a las reales a través de los ensayos computacionales, evidenciando el comportamiento mecánico se ha obtenido las máximas tensiones del estudio con un valor de 137.34 MPa del prototipo inicial y de 243.25 MPa del prototipo modificado, resultados que se encuentran por debajo de los valores del límite elástico del material, garantizando un valor del factor de seguridad que se encuentra dentro de los criterios de diseño, frente a las cargas teóricas que se han aplicado sobre la estructura.
- La optimización del diseño que se llevó a cabo en el chasis original consiguió la reducción de masa del elemento mediante la aplicación de un criterio de distribución de esfuerzos donde, el material que se ha eliminado ha sido considerado satisfactorio ya

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

que el porcentaje de reducción mediante la optimización permitió una disminución del 67.6% de sus masa, sin comprometer las propiedades mecánicas del material al igual que las condiciones de frontera se encuentran dentro de los criterios de diseño

- Para el análisis del factor de seguridad a fatiga se ha considerado el valor máximo de tensión de von mises en mención al punto crítico del elemento y en referencia al límite elástico del material, se ha optado utilizar el criterio de análisis basado en el modelo del pronóstico esfuerzo – vida, denominado “Goodman”, por considerarse uno de los mejores pronosticando resultados, verificando el análisis del cálculo matemático del factor de seguridad de 2.31 que tuvo un error del 7% en comparación al valor evaluado por el programa de 2.49.

Recomendaciones

- Es importante realizar el análisis de los valores que entrega del módulo de von mises, a través del método de elementos finitos, ya que mediante el análisis de estos resultados de tensión se puede escoger donde se encuentran ubicados los puntos de menor valor de tensiones efectuados por este análisis; con la presentación de las graficas obtenidas resultado de la simulación se puede partir para definir la idea de los lugares exactos donde se puede restar el material excedente.
- Con el resultado del análisis anterior se va a identificar los valores máximos de la tensión generada en los diámetros y dimensiones de tubería; para garantizar la resitencia del material a las cargas sometidas a través del análisis estático, indiscutiblemente se deberán mantener las dimensiones de espesores y diámetros iniciales, que contengan un valores de tensión alta, ya que al decidir eliminar material en estos puntos, el límite de tensión sobrepasa los valores de iniciales y se corre el riesgo que el elemento estructural empiece a ceder la dureza ocasionando la fractura y rotura del mismo.
- Con la optimización se consigue no superar el límite elástico del material seleccionado, que los desplazamientos encontrados en los puntos analizados se encuentren por debajo de 1 milímetro y los valores de las deformaciones unitarias se mantengan en valores moderados.
- El tipo de mallado que se va autilizar se recoemienda que debe ser fino para este tipo de geometrías considerada complejas, de esta manera se evita el peso computacional y los resultados son los mas cercanos a la realidad de acuerdo a los requerimientos de diseño.

Referencias Bibliográficas

- AEADE. (2017). Asociación de empresas automotrices del Ecuador, p. 20. Retrieved from www.aeade.net
- Alvarez Cabal, R. (2014). Introducción al método de los elementos finitos. Retrieved from https://books.google.es/books?id=N8NpAwAAQBAJ&dq=elementos+finitos&hl=es&source=gb_s_navlinks_s
- Arias, P. (2003). *Mecánica de motos* ((32 edición).
- ASTM162. (2016). *tandard Test Method for Surface Flammability of Materials Using a Radiant Heat*. EE UU.
- AstmSteel. (2018). SAE 8620. Retrieved from <http://www.astmsteel.com/product/aisi-8620-steel-alloy/>
- Autoscut. (2018). El chasis alma fundamental del vehículo motorizado. Retrieved from <http://www.autoscut24.es/tematicas/tecnologia-del-automovil/chasis/funcion-chasis/>
- BikeParts. (2018). Despiece del chasis cuna semiDoble de la moto honda CRF 230 modelo 2012. Retrieved from https://www.bike-parts-honda.es/honda-motocicleta/230-MOTO/CRF/2004/CRF230F4/Chasis/CUERPO-DE-BASTIDOR/13KPS3E1/F__2500/2/4667
- Bohler, U. (2004). Hoja tecnica - Aluminio Prodax. Retrieved June 4, 2018, from www.bohler-uddeholm.com.ar/media/Aluminio_Prodax_LH.pdf
- Bohoman, I. (2013). PRODAX. Retrieved from <http://www.ivanbohman.com.ec/wp-content/uploads/2016/02/prodax.pdf>
- Bruker. (2018). Q4 TASMAN - Advanced CCD Based Optical Emission Spectrometer for Metal Analysis. Retrieved from <https://www.bruker.com/es/products/x-ray-diffraction-and-elemental-analysis/optical-emission-spectrometry/q4-tasman/technical-details.html>
- Calle, P., & Cumbe, S. (2017). *ANÁLISIS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL Y LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE AROS PARA VEHÍCULOS LIVIANOS*. UNIVERSIDAD DEL AZUAY. Retrieved from <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7507>
- Casajús, L. (2017). Tipos de chasis de motocicleta, (1962).
- DimensionCad. (2018). Diagramas para autocad 2d y 3d mediante un sistema de puntos. Caso de estudio Motocicleta de competencia. Retrieved from http://www.dimensioncad.com/view_category.php?preferred_language=en&category_number=20&subcategory_number=21&diagram_id=20009444&pageno=2
- DIPAC. (2018). *Listado de aceros comerciales existentes en Ecuador dimensiones, espesores, longitudes, utilizados para la selección de materiales*.
- ESPN. (2018). *Análisis químico por espectrometría de chispa*. Quito - Ecuador.
- García, D., & Foale, T. (2012). Diseño , modelización y fabricación de un chasis para una motocicleta de competición, 93.
- Gutiérrez, A., & Torres, D. (2005). *Modelado y análisis estructural del chasis de una motocicleta yamaha R1*. Ciencias Marinas. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL. <https://doi.org/Tesis de Ingenieria Civil>
- Honda. (2013). Línea HONDA - fichas técnicas. Retrieved from <http://honda.com.ec/moto/crf-230f/>

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

- Honda, M. (2008). CRF 230. Retrieved March 7, 2018, from www.honda-montesa.es/Imagenes/PDF_Modelos/CRF230F.pdf
- Ingemecánica. (2018). Tablas de propiedades de los materiales. In *Ingemecánica.com* (p. 8). Retrieved from <https://ingemecanica.com/tutoriales/materiales.html#tabla1>
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (2009). Nte Inen 1323:2009 Vehiculos Automotores. Carrocerias De Buses. Requisitos., 14. Retrieved from <http://canfacecuador.com/normas/1323.pdf>
- Mejía, P., & Andrés, J. (2016). Diseño de un prototipo de volante para un vehículo tipo formula SAE mediante técnicas de optimización estructural.
- Mena, E. (2016). *Optimización estructural topológica de las manguetas delanteras para un vehículo prototipo Formula Student mediante el análisis de elementos finitos*. Universidad Internacional SEK.
- Metfusion. (2018). Soldabilidad de los aceros. Retrieved from metfusion.wordpress.com/2013/08/10/soldabilidad-de-los-aceros
- Meza, C. A., Tamayo, F., & Franco, E. E. (2015). Optimización topológica aplicada al diseño de componentes estructurales mecánicos de peso reducido. *El Hombre y La Máquina*, 46(46), 72–79.
- MotoVerde. (2018). *Husqvarna exhibe nueva gama de motos enduro; gande mejoras en cuentiones de peso y maniobrabilidad*. España. Retrieved from <https://www.motociclismo.es/moto-verde/articulo/husqvarna-te-250-300-i-2018-prueba-ficha-tecnica-primeras-impressiones>
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Prentice Hall.
- Navarrina, F., Colominas, I., Casteleiro, M., & Muiños, I. (2012). Optimización topológica de estructuras: una formulación de mínimo peso con restricciones en tensión. *Revista Internacional de Metodos Numericos Para Calculo y Diseno En Ingenieria*, 28(1), 33–48. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2011.11.002>
- Neches, L. (2013). *OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA DE PROBLEMAS ELÁSTICOS PLANOS UTILIZANDO EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS DE CONTORNO*. Universidad de Sevilla.
- Ochoa, J., & Salameda, A. (2013). *Universidad del Azuay Facultad de Ciencia y Tecnología Escuela de Ingeniería en Alimentos*. Universidad del Azuay.
- OMS. (2015). La motocicleta de américa latina. In CAF (Ed.), *CARACTERIZACIÓN DE SU USO E IMPACTOS EN LA MOVILIDAD EN CINCO CIUDADES DE LA REGIÓN* (p. 274). Bogota - Colombia.
- Pino, A. (2002). Diagrama de Esfuerzo Deformación (pp. 1–12).
- Ramírez, E. (2016). *ESTUDIO DE SOLDABILIDAD DE TUBERÍA SANITARIA EN ACERO INOXIDABLE CON SOLDADURA TIG PARA LA EMPRESA INGENIAR INOXIDABLES DE PEREIRA*. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Ramírez, F., Guerrero, L., & César, S. (2013). Mejora estructural de un soporte tipo balancín a través de un análisis topológico, 6.
- Reyes, D. (2017). *Diseño de las manguetas delanteras y posteriores para un vehículo Formula SAE mediante técnicas de optimización estructural y manufactura con CNC*. Retrieved from <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7507>
- Rodríguez, D., Santana, M., & Pardo, F. (2015). *La Motocicleta en América Latina*. (CAF, Ed.) (978th-

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

958th–57th ed.). Bogotá Colombia.

Salazar, E., & Guzmán, J. (2012). *“DISEÑO Y ADAPTACIÓN DE CHASIS, CARROCERÍA Y SISTEMA ELÉCTRICO A UN VEHÍCULO TIPO BUGGY”*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FACULTAD.

Silvestre, C., & Robles, N. (2017). *Diseño y Optimización Topológica de Rockers para un modelo de Formula Student*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla.

SRI. (2017, January 5). Las motos matriculadas en Ecuador crecieron seis veces mas entre el 2008 y 2016, p. 4. Retrieved from <http://www.elcomercio.com/datos/motos-matriculadas-crecieron-ecuador-transporte.html>

Supp, T., & Ort. (2016). *Cálculo del factor de seguridad estático*. EE UU.

Tamayo, F. (2013). *DISEÑO DE MECANISMOS FLEXIBLES USANDO EL MÉTODO DE OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA*. UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL OCCIDENTE.

Tobergte, D. R., & Curtis, S. (2013). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Vega, L. (2012). *Diseño del producto* (pp. 2–12). España.

Vélez, L. (2014). *Diseño , simulación y análisis de un chasis de moto para motor wankel*.

Vergara, C. (2011). *Modelado, análisis y simulación de un chasis de motocicleta*. Universidad carlos III de Madrid.

Wilkinson. (2010). *Tipos de Motocicletas - Clases de Motocicletas*. Retrieved from <https://www.vivetumoto.com/foros/abc-del-motero-conduccion-de-la-moto-444/tipos-de-motocicletas-clases-de-motocicletas-2037.html>

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Anexo 1.**Motocicleta marca modelo Honda CRF "230" año 2009**

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Anexo 2.**Validación de peso del chasis mediante una balanza.**

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Anexo 3

PEDIDO FEM (Federación Ecuatoriana de Motociclismo)



Guayaquil, 19 de Enero del 2018
Ofc. 013 -2018-FEM

Señor.
Álvaro Remache C.
Quito.-

De mis consideraciones:

Reciba un cordial y atento saludo, a nombre de la Federación Ecuatoriana de Motociclismo, el cual presido.

En contestación a vuestra carta recibida via email el día 16 de Enero del 2018, con relación a que se le permita tomar el buen nombre de la Federación Ecuatoriana de Motociclismo (F.E.M.) para la realización de un trabajo de investigación titulado "Rediseño de la estructura del chasis de una motocicleta de competencia HONDA CRF 230 mediante optimización topológica", que se estará realizando como trabajo de investigación para la Universidad Internacional SEK y así aportar un estudio de cuarto nivel para el desarrollo de este deporte en el país, me permito indicarle que:

Con el fin de que la actividad deportiva se fomente, en especial en vuestro cantón procedemos a concederle la AUTORIZACIÓN, a fin de realizar el TRABAJO DE INVESTIGACIÓN REFERENTE A EL MOTOCICLISMO NACIONAL.

Deseándoles éxitos en el desarrollo del mismo.

Atentamente,

Antonio Torres A.
PRESIDENTE FEM



REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Anexo 4.

Tabla de resultados mediante el espectrómetro



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Resultados de análisis por Espectrometría de Chispa

Solicitante : Álvaro Remache
 No. Referencia : ST - 7633
 Fecha : 14/05/2018
 Muestras recibidas : Un pedazo de chasis de motocicleta de competencia

La cuantificación de los metales presentes en la muestra se realizó empleando el Espectrómetro de Chispa marca BRUKER modelo Q4TASMAN y se reportan los datos con tres cifras decimales por pedido del cliente. A continuación los resultados obtenidos:

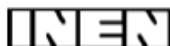
Metales	Chasis de motocicleta de competencia (%)
Carbono (C)	0,209
Silicio (Si)	0,163
Manganeso (Mn)	0,912
Cromo (Cr)	0,018
Molibdeno (Mo)	0,005
Niquel (Ni)	0,009
Cobre (Cu)	0,010
Aluminio (Al)	0,027
Cerio (Ce)	0,160
Plomo (Pb)	0,018
Wolframio (W)	0,300
Hierro (Fe)	98,08


 Ing. Alicia Guevara C. Ph.D.
 Jefe de Departamento



 MSc. Evelyn Criollo T.
 Jefe de Laboratorio

Anexo 5.
Norma Técnica Ecuatoriana 1323-2009



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1323:2009
Primera revisión

VEHICULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES.
REQUISITOS.

Primera Edición

ROAD VEHICLES. BUS BODIES. REQUIREMENTS

First Edition

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Anexo 6.

Catálogo de acero inoxidable aporte de DIPAC


DIPAC
 PRODUCTOS DE ACERO

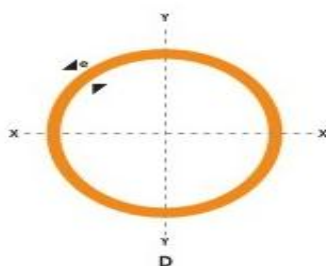
INOXIDABLE

**TUBO REDONDO
 EN ACERO INOXIDABLE**
Especificaciones Generales

Norma: AISI 304
 Largo Normal: 6 mts.
 Otros largos: previa consulta
 dimensiones: Desde 5/8" a 2 7/8"
 Espesor: Desde 0,8 mm a 2,0 mm


NOMENCLATURA

A = Área de la sección transversal del tubo, cm²
 I = Momento de inercia de la sección, cm⁴
 W = Módulo resistente de la sección, cm³
 r = Radio de giro de la sección, cm



DIÁMETRO EXTERIOR (D)		ESPESOR		PESO		PROPIEDADES		
Pulg	mm	e mm	P kg/6m	A cm	I cm ⁴	W cm ³	I cm	I cm
5/8	15.90	0.60	1.44	0.29	0.08	0.11	0.54	
		0.75	1.86	0.36	0.10	0.13	0.53	
		0.95	2.28	0.44	0.12	0.15	0.51	
		1.10	2.64	0.51	0.14	0.18	0.52	
		1.50	3.54	0.68	0.18	0.22	0.51	
3/4	19.05	0.60	1.74	0.35	0.15	0.16	0.65	
		0.75	2.16	0.43	0.19	0.19	0.65	
		0.95	2.70	0.54	0.22	0.23	0.64	
		1.10	3.18	0.62	0.25	0.26	0.63	
		1.50	4.20	0.83	0.32	0.34	0.62	
7/8	22.22	0.60	2.04	0.41	0.24	0.21	0.76	
		0.75	2.52	0.50	0.29	0.26	0.76	
		0.95	3.18	0.63	0.36	0.32	0.75	
		1.10	3.66	0.73	0.41	0.37	0.75	
		1.50	4.92	0.98	0.53	0.47	0.74	
1	25.40	0.60	2.28	0.47	0.36	0.28	0.88	
		0.75	2.88	0.58	0.44	0.35	0.87	
		0.95	3.60	0.73	0.55	0.43	0.87	
		1.10	4.20	0.84	0.62	0.49	0.86	
		1.50	5.64	1.13	0.81	0.64	0.85	
1 1/4	31.75	0.95	4.50	0.92	1.09	0.69	1.18	
		1.10	5.22	1.06	1.24	0.78	1.08	
		1.50	7.08	1.43	1.63	1.03	1.07	
1 1/2	38.10	0.95	5.40	1.11	1.91	1.00	1.31	
		1.10	6.24	1.28	2.19	1.15	1.31	
		1.50	8.46	1.72	2.89	1.52	1.30	
1 3/4	44.45	0.95	6.24	1.30	3.07	1.38	1.54	
		1.10	7.26	1.50	3.52	0.16	1.53	
		1.50	9.84	2.02	4.67	2.10	1.52	
1 7/8	47.63	0.95	6.78	1.40	3.80	1.60	1.65	
		1.10	7.80	1.61	4.35	1.83	1.64	
		1.50	10.26	2.17	5.79	2.43	1.63	
2	50.80	0.95	7.20	1.49	4.62	1.82	1.76	
		1.10	8.34	1.72	5.30	2.09	1.76	
		1.50	10.80	2.32	7.06	2.78	1.74	
2 3/8	60.33	1.50	13.20	2.77	12.00	3.98	2.08	
2 1/2	63.50	1.50	14.04	2.92	14.05	4.42	2.19	

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Anexo 7.

Catálogo de acero ASTM A 500 aporte de DIPAC

ACERO



TUBO MECANICO REDONDO

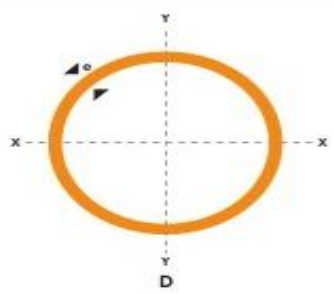
Especificaciones Generales

Norma	ASTM A 513
Recubrimiento	Negro o galvanizado
Largo Normal	6 mts
Otros largos	Previa consulta
dimensiones	Desde 1/2" a 2 1/2"
Espesor	Desde 0,6 mm a 1,5 mm



NOMENCLATURA

A= Area de la selección transversal del tubo, cm²
I= Momento de inercia de la sección, cm⁴
W= Módulo resistente de la sección, cm³
i= Radio de giro de la sección, cm



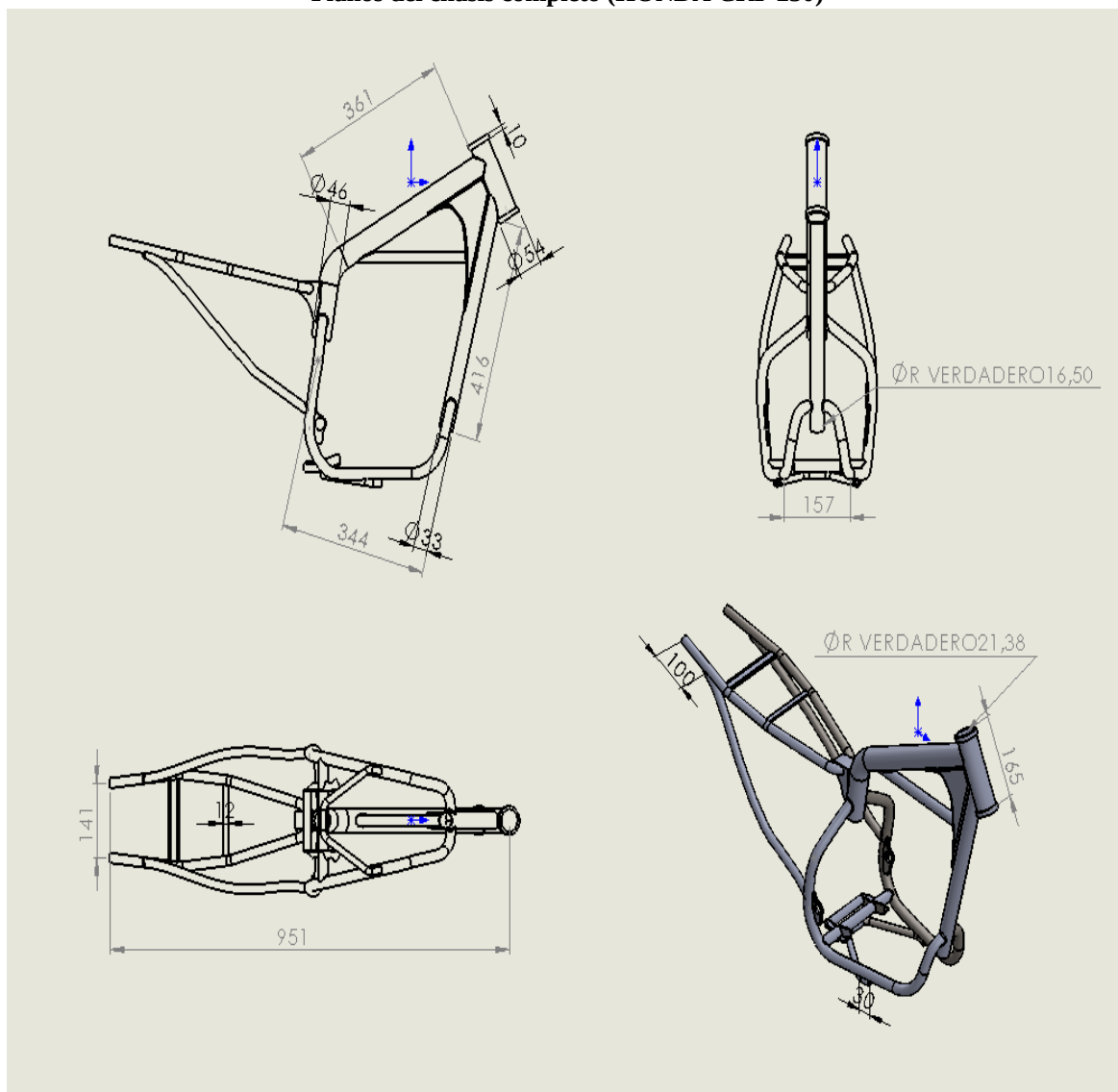
DIAMETRO EXTERIOR (D)		ESPESOR		PESO		PROPIEDADES	
		e	P	A	I	W	i
Pulg	mm	mm	kg/6m	cm	cm ⁴	cm ³	cm
1/2	12.70	0.60	1.14	0.23	0.04	0.07	0.43
		0.75	1.44	0.28	0.05	0.08	0.42
		0.95	1.86	0.35	0.06	0.09	0.41
		1.10	2.10	0.40	0.07	0.11	0.41
		1.50	2.82	0.53	0.08	0.13	0.39
5/8	15.88	0.60	1.44	0.29	0.08	0.11	0.54
		0.75	1.86	0.36	0.10	0.13	0.53
		0.95	2.28	0.44	0.12	0.15	0.51
		1.10	2.64	0.51	0.14	0.18	0.52
		1.50	3.54	0.68	0.18	0.22	0.51
3/4	19.05	0.60	1.74	0.35	0.15	0.16	0.65
		0.75	2.16	0.43	0.19	0.19	0.65
		0.95	2.70	0.54	0.22	0.23	0.64
		1.10	3.18	0.62	0.25	0.26	0.63
		1.50	4.20	0.83	0.32	0.34	0.62
7/8	22.22	0.60	2.04	0.41	0.24	0.21	0.76
		0.75	0.52	0.50	0.29	0.26	0.76
		0.95	3.18	0.63	0.36	0.32	0.75
		1.10	3.66	0.73	0.41	0.37	0.75
		1.50	4.92	0.98	0.53	0.47	0.74
1	25.40	0.60	2.28	0.47	0.36	0.28	0.88
		0.75	2.88	0.58	0.44	0.35	0.87
		0.95	3.60	0.73	0.55	0.43	0.87
		1.10	4.20	0.84	0.62	0.49	0.86
		1.50	5.64	1.13	0.81	0.64	0.85
1 1/4	31.75	0.95	4.50	0.92	1.09	0.69	1.18
		1.10	5.22	1.06	1.24	0.78	1.08
		1.50	7.08	1.43	1.63	1.03	1.07
1 1/2	38.10	0.95	5.40	1.11	1.91	1.00	1.31
		1.10	6.24	1.28	2.19	1.15	1.31
		1.50	8.46	1.72	2.89	1.52	1.30
1 3/4	44.45	0.95	6.24	1.30	3.07	1.38	1.54
		1.10	7.26	1.50	3.52	0.16	1.53
		1.50	9.84	2.02	4.67	2.10	1.52
1 7/8	47.63	0.95	6.78	1.40	3.80	1.60	1.65
		1.10	7.80	1.61	4.35	1.83	1.64
		1.50	10.26	2.17	5.79	2.43	1.63
2	50.80	0.95	7.20	1.49	4.62	1.82	1.76
		1.10	8.34	1.72	5.30	2.09	1.76
		1.50	10.80	2.32	7.06	2.78	1.74
2 3/8	60.33	1.50	13.20	2.77	12.00	3.98	2.08
2 1/2	63.50	1.50	14.04	2.92	14.05	4.42	2.19

34

PBX: (02) 2293 750 / Quito - Ecuador www.dipac.com

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

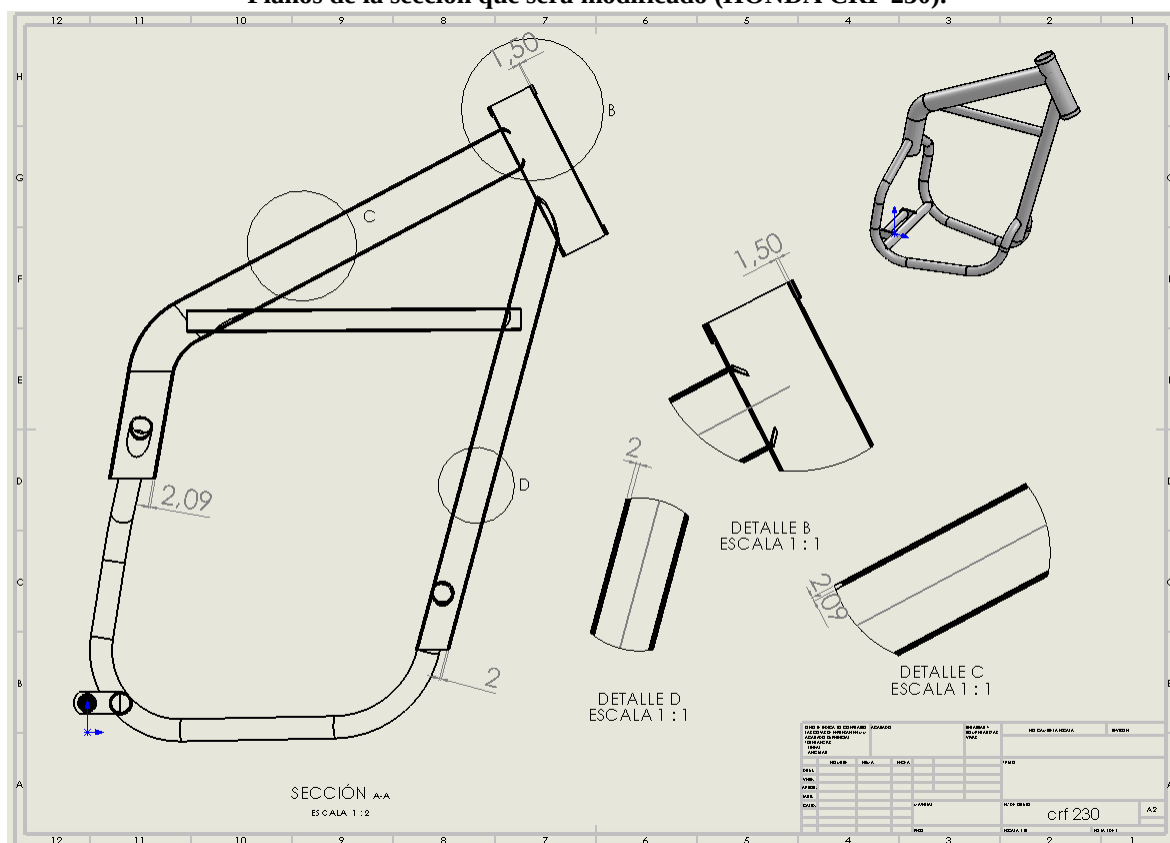
Anexo 8.
Planos del chasis completo (HONDA CRF 230)



REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS DE MOTOCICLETA

Anexo 9.

Planos de la sección que será modificado (HONDA CRF 230).



Anexo 10.**Planos del chasis resultado del proceso de optimización (HONDA CRF 230)**