

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Industrial y Procesos

Diseño de prototipo técnico centralizado en el usuario de un Bastidor de Motocicleta eléctrica
para homologación ecuatoriana.

Juan Carlos Segovia Sánchez

Nota del Autor

Juan Segovia, Facultad de Ingeniería Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK.

Director Ing. Diego Bustamante, M.Sc.

Codirector Ing. Jaime Molina, M.Sc.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a

jcsegovia.mdin@uisek.edu.ec

juanksego36@hotmail.com

Declaración Juramentada

Yo, Juan Carlos Segovia Sánchez, con cédula de identidad 1003436068, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a 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.



JUAN CARLOS SEGOVIA SÁNCHEZ
C.I.: 1003436068

Índice de Contenido

Declaración Juramentada	2
Resumen.....	20
Abstract	21
Introducción	22
Antecedentes	25
Necesidad del Cliente.	25
Planteamiento del Problema.....	26
Justificación	27
Objetivo General	27
Objetivos Específicos.....	28
Hipótesis.....	28
Estado del arte	29
Tipos de chasis de motos existentes.	29
Sistema cantiléver.	29
Chasis simple cuna cerrado.....	29
Chasis simple cuna abierto o interrumpido.....	30
Chasis simple cuna desdoblado.	30
Chasis doble cuna.	31
Chasis doble viga perimetral.....	31

Chasis monoviga o de espina central.	32
Chasis Monocasco.	33
Diseño paramétrico del chasis de la moto.	33
Sistema de diseño paramétrico orientado a objetos.	34
Composición del sistema de diseño paramétrico orientado a objetos.	34
Análisis por elementos finitos.	35
Algunos parámetros básicos de rendimiento durante el modelado de elementos finitos.	37
Optimización Dinámica de la estructura del chasis de la moto.	38
Análisis de las características dinámicas de elementos finitos de motocicletas.	38
Requisitos de rendimiento dinámico del cuadro de la motocicleta.	40
Análisis modal del cuadro de la motocicleta.	40
Medición y análisis de la resistencia del chasis de una moto.	41
Métodos Multicriterio	42
Método CRITIC.	42
Método Entropía.	43
Fuerzas que actúan sobre el chasis de la moto eléctrica.	44
Determinación carga viva.	44
Carga de viento.	45
Fuerza motriz.	45
Potencia de motor.	46

Metodología	48
Selección del material	48
Análisis multicriterio.	48
Estudio Ergonómico de las diferentes motos en el mercado.....	51
Longitud.....	51
Anchura.	52
Altura.	52
Distancia entre ejes.....	53
Motocicletas recomendadas en España según la altura del conductor.	53
Posición del conductor según el tipo de motocicleta.....	55
Motos Deportivas.....	56
Motos tipo Custom o Crucero.....	56
Motos de turismo.	57
Medidas Antropométricas Latinoamericanas	58
Dimensionamiento de la postura de conducción.	60
Partes fundamentales de la moto.....	65
Características del Motor eléctrico tipo hub.....	65
Características del módulo controlador.	66
Características de la batería seleccionada.....	68
Necesidades del Usuario y requerimientos de diseño.	69

Parámetros de diseño.	70
Cálculos aplicables al chasis de la moto eléctrica.....	71
Determinación de la carga muerta.	72
Peso del chasis.	72
Peso del Basculante.....	73
Peso propio total	73
Determinación carga viva.....	74
Carga de viento.....	74
Carga de diseño.	75
Reacciones sobre ruedas de vehículo.	76
Fuerza motriz.	77
Potencia de motor.	80
Diseño preliminar de la moto del presente proyecto.....	82
Diseño del Basculante.	82
Cargas.	83
Proceso de diseño del chasis.....	84
Representación de soldaduras en Inventor.	88
Procedimiento global de fabricación del chasis.	90
Procedimiento.	91
Utilización de un Jig de Corte de tubos (Plantilla).....	91

Inspección de medidas correctas de los tubos.....	91
Realización de ranuras o taladrados a los tubos.....	92
Doblado de tubos del marco según dimensiones.	92
Inspección de los ángulos correctos y alineación.....	93
Limpieza a fondo de los tubos antes de soldar.....	94
1) Limpieza química.....	94
2) Limpieza mecánica	94
Soldadura plana y de tubos en plantilla del marco.....	95
Inspección de cada unión soldada y alineación del marco.....	96
Limado del marco soldado.	97
Pintado del chasis.	97
Soldadura del chasis	98
Definición de los parámetros.....	98
Material Base.....	98
Material de Aporte.....	99
Propiedades del material de aporte.....	100
Gases de protección.....	101
Preparación de la superficie a soldar.....	102
Resultados	103
Resultado Método CRITIC	103

Resultados Método de Entropía	106
Método Ordenación Simple	108
Comparación de resultados de los métodos de Ponderación.....	109
Diseño de Chasis finalizado	110
Análisis estructural por elementos finitos	112
Análisis estático de esfuerzos CAE.....	112
Condiciones de contorno para el análisis estático de esfuerzos	113
Asignación de restricciones.....	113
Asignación de cargas.	115
Aplicación Fuerza de Frenado	117
Aplicación carga remota aplicado en los mangos del manubrio	117
Creación de la malla.	118
Tipo de Mallado: Cuadrada.	119
Análisis de convergencia de la malla.	120
Análisis Estático de Esfuerzos: Deformación	121
Análisis Estático de Esfuerzos: Esfuerzo Von Mises.....	122
Análisis modal o análisis dinámico de vibraciones.....	124
Análisis dinámico del Chasis.....	124
Análisis Modal: Frecuencia 105,89 Hz.	126
Análisis Modal: Frecuencia 186,69 Hz.	126

Análisis Modal: Frecuencia 227,58 Hz.	127
Análisis Modal: Frecuencia 232,90 Hz.	127
Análisis Modal: Frecuencia 298,13 Hz.	128
Factor de seguridad.....	128
Validación de resultados de la simulación con el software Simsolid.....	130
Construcción del prototipo final de chasis de la moto eléctrica.....	134
Proceso de Pintura	144
Discusión de resultados.....	149
Discusión del material seleccionado	149
Discusión del esfuerzo máximo de Von Mises en el chasis.....	150
Discusión del desplazamiento máximo en el chasis.....	151
Discusión del Chasis	152
Discusión de la validación de resultados.....	155
Conclusiones	157
Recomendaciones	158
Referencias.....	159
Anexos	164
Anexo 1. WPS Juntas soldadas en el chasis.....	164
Anexo 2. Plano del chasis	167

Índice de figuras

Figura 1. Diseño se Chasis Cruiser.	23
Figura 2. Diseño modelo de un chasis de moto.	24
Figura 3. Motor Hub de la marca QSMotor.....	25
Figura 4. Módulo controlador.	26
Figura 5. Chasis en sistema cantiléver.	29
Figura 6. Chasis simple cuna cerrado.	29
Figura 7. Chasis simple cuna abierto.	30
Figura 8. Chasis simple cuna desdoblado, KTM 250X.	30
Figura 9. Chasis de doble cuna	31
Figura 10. Chasis doble viga perimetral cerrado.	32
Figura 11. Chasis monoviga.	32
Figura 12. Chasis Manocasco.	33
Figura 13. Diseño paramétrico orientado a objetos.	35
Figura 14. Fuerzas que actúan sobre el chasis en diferentes circunstancias.....	44
Figura 15. Matriz de selección de material.	50
Figura 16. Longitud total.	52
Figura 17. Anchura total.	52
Figura 18. Altura total.....	53
Figura 19. Distancia entre ejes.....	53
Figura 20. Modelos recomendados para cada estatura.	54
Figura 21. Estaturas adecuadas para motos.	54
Figura 22. Ángulos del conductor.....	55

Figura 23. Posturas de conducción.	55
Figura 24. Motocicleta Deportiva.	56
Figura 25. Keway Custom.	57
Figura 26. Moto de turismo.	58
Figura 27. Medidas Antropométricas en Colombia.	58
Figura 28. Medidas de referencia del país vecino Colombia.	59
Figura 29. Medidas Antropométricas de Colombia.	59
Figura 30. Medidas de referencia de Colombia.	60
Figura 31. Dimensiones para determinar la posición del conductor.	61
Figura 32. Ángulos de postura del conductor.	61
Figura 33. Ángulos del torso del conductor en diferentes tipos de motos.	62
Figura 34. Ángulos del torso respecto a la parte superior de la pierna del conductor en diferentes tipos de motos.	63
Figura 35. Ángulos entre la parte superior e inferior de la pierna del conductor.	63
Figura 36. Ángulos finales de posición del conductor.	64
Figura 37. Medidas generales del conductor y de la moto.	64
Figura 38. Dibujo del motor de scooter de 17 pulgadas 8000W.	66
Figura 39. Controlador electrónico.	67
Figura 40. Características y dimensiones del módulo controlador.	68
Figura 41. Características de la batería seleccionada.	69
Figura 42. Peso del Chasis.	72
Figura 43. Peso del basculante.	73
Figura 44. Diagrama de cuerpo libre de las reacciones en las ruedas.	76

Figura 45. Diagrama de cuerpo libre de la fuerza motriz sin inclinación.....	78
Figura 46. Diagrama de cuerpo libre de la fuerza motriz con inclinación de 45°.	78
Figura 47. Diagrama de cuerpo libre sobre la rueda.	80
Figura 48. Metodología de diseño, simulación y construcción del chasis.....	82
Figura 49. Diseño virtual del basculante.....	83
Figura 50. Cargas aplicadas al basculante	83
Figura 51. Vista isométrica del boceto de Chasis final.....	84
Figura 52. Vista lateral del boceto de Chasis final.	85
Figura 53. Vista superior del boceto de Chasis final.	85
Figura 54. Proceso para insertar tubo cuadrado en el boceto de chasis.....	86
Figura 55. Chasis con tubos insertados.....	87
Figura 56. Vista isométrica del Chasis ensamblado.	87
Figura 57. Soldadura de la placa de refuerzo del tubo de dirección con el chasis.....	88
Figura 58. Soldadura de la placa de refuerzo con el tubo de dirección.	89
Figura 59. Soldadura de la placa de refuerzo de la base del eje basculante.	89
Figura 60. Proceso de fabricación de la moto eléctrica.	90
Figura 61. Ejemplo de un Jig para corte de los tubos del chasis	91
Figura 62. Jig para taladrar los tubos y hacer ranuras.....	92
Figura 63. Máquina dobladora de tubos	92
Figura 64. Alineación y ensamblaje de tubo en el marco	93
Figura 65. Limpieza química de las juntas a soldar y de las juntas soldadas	94
Figura 66. Limpieza mecánica de juntas a soldar y de las juntas soldadas	95
Figura 67. Soldadura TIG de los tubos en el Chasis.....	96

Figura 68. Especificación del proceso de soldadura WPS.....	96
Figura 69. Pintado manual del chasis de una motocicleta	97
Figura 70. Pintado por medio de robots del chasis de un auto	98
Figura 71. Cilindro de la mezcla de gas de protección Argón-Dióxido de carbono.....	101
Figura 72. Vista isométrica de la moto eléctrica.....	110
Figura 73. Dirección de la moto eléctrica.....	111
Figura 74. Vista lateral de la moto eléctrica.	111
Figura 75. Tensión Normal	112
Figura 76. Restricción de pasador en el eje que conecta el chasis con el basculante.	113
Figura 77. Restricción de pasador en el eje superior del amortiguador.....	114
Figura 78. Restricción de pasador en el tubo de la dirección.	114
Figura 79. Definición final de restricciones.....	115
Figura 80. Peso de la batería.	115
Figura 81. Peso del conductor y pasajero.	116
Figura 82. Peso del controlador electrónico.	116
Figura 83. Fuerza de frenado.	117
Figura 84. Carga remota aplicado en los mangos del manubrio.....	118
Figura 85. Configuración de malla.	118
Figura 86. Especificación del tipo de malla.....	119
Figura 87. Malla en diferentes uniones.....	119
Figura 88. Curva de convergencia de los resultados de desplazamiento.....	121
Figura 89. Desplazamiento máximo.	122
Figura 90. Tensión de Von Mises.	123

Figura 91. Acercamiento en la junta.	123
Figura 92. Juntas soldadas sometidas a tensión.	124
Figura 93. Creación de un nuevo estudio de análisis modal.	125
Figura 94. Desplazamiento máximo a la frecuencia 105,89 Hz.	126
Figura 95. Desplazamiento máximo a la frecuencia 186,69 Hz.	126
Figura 96. Desplazamiento máximo a la frecuencia 227,58 Hz.	127
Figura 97. Desplazamiento máximo a la Frecuencia 232,90 Hz.	127
Figura 98. Desplazamiento máximo a la frecuencia 298,13 Hz.	128
Figura 99. Gráfica de coeficiente de factor de seguridad.	129
Figura 100. Acercamiento a los puntos críticos.	129
Figura 101. Asignación de cargas y restricciones en Simsolid.	130
Figura 102. Aplicación del par de fuerzas producido por el frenado.	131
Figura 103. Aplicación de fuerzas sobre el asiento del chasis.	131
Figura 104. Gráfica desplazamiento.	132
Figura 105. Gráfica Esfuerzo Von Mises.	133
Figura 106. Factor de seguridad.	133
Figura 107. Compra del aro delantero, llanta delantera y del amortiguador trasero.	134
Figura 108. Barras de suspensión delantera y castillo de la dirección.	134
Figura 109. Construcción del primer cuadrado del chasis con sus ángulos rectos.	135
Figura 110. Construcción de los laterales rectos del cubo con ángulos de 90 grados.	135
Figura 111. Cubo de la batería terminado.	136
Figura 112. Basculante ensamblado al motor hub.	136
Figura 113. Dibujo realizado en el piso con las medidas exactas del chasis.	137

Figura 114. Soldadura de los tubos que soportan el asiento y la suspensión trasera.	137
Figura 115. Soldadura de la chumacera para el eje chasis-basculante.	138
Figura 116. Bosquejo del ensamblaje entre el basculante, amortiguador y chasis.	138
Figura 117. Chasis ensamblado con los componentes delanteros y traseros.	139
Figura 118. Soldadura del tubo de la dirección con el chasis y refuerzo con platina.	140
Figura 119. Soldadura del soporte del amortiguador y refuerzos.	140
Figura 120. Calibración de la longitud del amortiguador.	141
Figura 121. Moto ensamblada con base de asiento metálico.	141
Figura 122. Prueba de ergonomía sentado sobre la moto	142
Figura 123. Tipo de moto turismo	142
Figura 124. Vista frontal del piloto sobre la moto ensamblada.	143
Figura 125. Vista lateral de la moto ensamblada con su respectivo asiento.	143
Figura 126. Vista lateral del chasis después de haber sido lijado completamente.	144
Figura 127. Vista inferior del chasis después de haber sido lijado completamente.	145
Figura 128. Vista isométrica del chasis después de haber sido lijado completamente.	145
Figura 129. Proceso de pintura con soplete.	146
Figura 130. Basculante después del proceso de pintura.	147
Figura 131. Chasis pintado en su totalidad.	147
Figura 132. Motocicleta pintada y ensamblada completamente.	148
Figura 133. Diseño del chasis de la investigación de referencia (Biggar, 2019).	153
Figura 134. Moto eléctrica construida por la empresa de energía renovables (Biggar, 2019)b .	153
Figura 135. Vista lateral del diseño de moto propio	154
Figura 136. Fotografía de la moto eléctrica construida en este proyecto	155

Índice de tablas

Tabla 1. Propiedades mecánicas de los materiales escogidos.....	49
Tabla 2. Medidas antropométricas principales para el diseño del chasis	60
Tabla 3. Características principales de la batería.....	68
Tabla 4. Tabla con las necesidades del usuario.	69
Tabla 5. Parámetros esenciales de diseño	71
Tabla 6. cálculos planteados para el diseño y análisis estructural del chasis	72
Tabla 7. El peso aproximado de los componentes que constituyen la moto eléctrica.	73
Tabla 8. Resultado del presente estudio.....	81
Tabla 9. Composición del Acero ASTM A36.	99
Tabla 10. Propiedades del Acero ASTM A36.	99
Tabla 11. Propiedades del Acero ASTM A36.	100
Tabla 12. Propiedades del metal de aporte ER70S-6.....	100
Tabla 13. Parámetros recomendados por el fabricante del electrodo.	100
Tabla 14. Información inicial.....	103
Tabla 15. Máximos, mínimos y rango de cada criterio.....	104
Tabla 16. Información normalizada por el rango.....	104
Tabla 17. Desviaciones estándar de los criterios.	104
Tabla 18. Coeficientes de correlación entre criterios.....	105
Tabla 19. Ponderaciones normalizadas de los criterios.	105
Tabla 20. Variables para el método de la entropía.....	106
Tabla 21. Criterios normalizados por la suma.	106
Tabla 22. Logaritmos de los valores normalizados de los criterios.	107

Tabla 23. Producto de los valores normalizados por sus logaritmos.	107
Tabla 24. Cálculo de entropía.	108
Tabla 25. Entropía y Diversidad de los criterios.....	108
Tabla 26. Ponderación de criterios por ordenación simple.....	108
Tabla 27. Resultados de la Ponderación de los criterios.....	109
Tabla 28. Datos de las 10 pruebas con diferentes tamaños de malla	120
Tabla 29. Propiedades de los materiales más adecuados.	149
Tabla 30. Resultados de la simulación del análisis estático con los dos materiales.	149
Tabla 31. Perfil mecánico cuadrado ASTM A36.....	150
Tabla 32. Resultados finales de los dos programas de simulación.	155

Índice de Ecuaciones

Ec 1 Ponderación del criterio j.....	42
Ec 2 Desviación típica del criterio j.....	42
Ec 3 Coeficiente de correlación entre los criterios j y k	42
Ec 4 Entropía del criterio	43
Ec 5 Constante del número de opciones	43
Ec 6 Ecuación de la variedad	43
Ec 7 Peso del criterio j	43
Ec 8 Carga viva.....	44
Ec 9 Resistencia aerodinámica.....	45
Ec 10 Fuerza de rozamiento.....	46
Ec 11 Potencia del motor	46
Ec 12 Potencia instantánea.....	46
Ec 13 Velocidad angular	46
Ec 14 Potencia expresada.....	46
Ec 15 Ecuación de torque	47
Ec 16 Carga viva.....	74
Ec 17 Carga de viento	74
Ec 18 Carga de viento	75
Ec 19 Carga de diseño.....	76
Ec 20 Fuerza motriz	77
Ec 21 Peso.....	77
Ec 22 Potencia de motor	80

Ec 23 Potencia teórica.....	81
-----------------------------	----

Resumen

Las nuevas tecnologías de vehículos eléctricos y fuentes de energía renovables son la única forma de resolver los problemas de contaminación ambiental en la industria del transporte, y un plan integral para implementar estas tecnologías es la única vía para hacer los cambios necesarios en los sistemas existentes de transporte impulsado por combustibles fósiles. Este proyecto pretende diseñar una moto eléctrica básica para un viajero que no produzca emisiones en el camino y sea parte de un sistema de transporte sostenible de cero emisiones en el futuro (Becton & Becton, 2011).

El principal objetivo de este proyecto es diseñar un chasis estructuralmente estable y cómodo centrado en el usuario ecuatoriano común y corriente para una motocicleta eléctrica que pueda transitar en la zona urbana o en camino empedrado y que cumpla con los estándares de calidad, confort y seguridad establecidas en las normativas de tránsito ecuatorianas.

Además, otro objetivo específico es realizar la construcción de este chasis como proyecto de investigación de la Universidad SEK, ya se cuenta con todos los componentes electrónicos y de control incluido el motor Wheel Hub. Adicionalmente, la universidad se ha comprometido a comprar todos los accesorios necesarios para montar toda la moto completa.

La presente investigación recopila una gran variedad de artículos científicos a nivel internacional relacionados al diseño de chasis de motos eléctricas. Se presenta todo el proceso detallado del proceso de diseño y selección de materiales involucrados en el chasis de la moto. Además, se presenta la simulación estática y dinámica del modelo seleccionado de chasis. Finalmente se presenta el proceso completo de la construcción del chasis.

Palabras Clave: Diseño mecánico, moto eléctrica, chasis, wheel hub

Abstract

New technologies for electric vehicles and renewable energy sources are the only way to solve environmental pollution problems in the transport industry, and a comprehensive plan to implement these technologies is the only way to make the necessary changes to existing systems of fossil fuel powered transport. This project aims to design a basic electric motorcycle for a traveler who does not produce emissions on the road and is part of a sustainable zero-emission transport system in the future (Becton & Becton, 2011).

The main objective of this project is to design a structurally stable and comfortable chassis focused on the ordinary Ecuadorian user for an electric motorcycle that can transit in the urban area or on a paved road and that meets the established quality, comfort and safety standards. in Ecuadorian traffic regulations.

In addition, another specific objective is to carry out the construction of this chassis as a SEK University research project, since it already has all the electronic and control components including the Wheel Hub engine. Additionally, the university has promised to buy all the accessories necessary to assemble the entire motorcycle.

This research compiles a wide variety of scientific articles at an international level related to the design of electric motorcycle chassis. The entire detailed process of the design and material selection process involved in the motorcycle chassis is presented. In addition, the static and dynamic simulation of the selected chassis model is presented. Finally, the complete process of chassis construction is presented.

Keywords: Mechanical design, electric motorcycle, chassis, wheel hub

Introducción

En la actualidad, en el desarrollo y diseño de cuadros de motocicletas, debido a la falta de equipos de prueba dinámica necesarios y métodos de prueba perfectos, la confiabilidad del cuadro bajo diversas condiciones de carga y condiciones de carretera no puede calcularse y analizarse de manera efectiva y precisa. Mediante el análisis de elementos finitos, mediante el establecimiento de modelos apropiados, se pueden realizar análisis modales y de resistencia bajo diferentes cargas en la etapa de desarrollo y diseño de los cuadros de motocicletas, mejorando así la velocidad de desarrollo y la calidad de los cuadros (Rege et al., 2017)(Xiao et al., 2012)(Ch, n.d.).

El chasis debe ser una combinación de un marco y suspensión livianos y su cantidad razonablemente grande de espacio de almacenamiento a bordo. La aerodinámica y los factores estilísticos también son importantes a la hora de diseñar el chasis de la moto. La suspensión, dirección, frenos y otros sistemas mecánicos de soporte de la motocicleta también son vitales considerarlos a la hora del diseño del chasis de la moto. Este chasis debe cumplir con su función de poder montar correctamente todos los componentes necesarios para el sistema de accionamiento eléctrico y la configuración de montaje para cada parte (Hsiao et al., 2015).

Para asegurar que el chasis sea estructuralmente estable, las fuerzas sobre el marco serán simuladas en tiempo real y también se simulará las geometrías de suspensión. En la simulación, se debe comparar el esfuerzo, el factor de seguridad y la deformación de la misma estructura con diferentes materiales para finalmente elegir el mejor material adecuado para el chasis en función de la resistencia, el costo y el peso del chasis (Teoh et al., 2013).

Por un instante, hay varios diseños de chasis de motocicletas disponibles con diferentes características y aplicaciones. Estos incluyen los tipos Cruiser, Sport Bike, Touring, Standard, Dual-Sport, Scooters y Off-Road. El chasis es el marco central de la motocicleta que sostiene los componentes y las cargas. Estos incluyen el peso de cada componente y las fuerzas que se manifiestan durante la aceleración, la desaceleración y las curvas. El diseño del chasis debe ser capaz de soportar las cargas anteriores además de tener en cuenta la seguridad del conductor, la eficiencia del combustible y la ergonomía (Teoh et al., 2013).



Figura 1. Diseño se Chasis Cruiser.
Fuente: (Broussard, 2018)

Las cualidades de manejo de las motocicletas son a menudo de gran importancia. Afectan el placer que se obtiene de las interacciones piloto-máquina y la seguridad del conductor. La acción de autodirección es crucial con los vehículos de vía única y el control del conductor se debe principalmente al par de dirección, denominado control libre (Sharp et al., 2004).

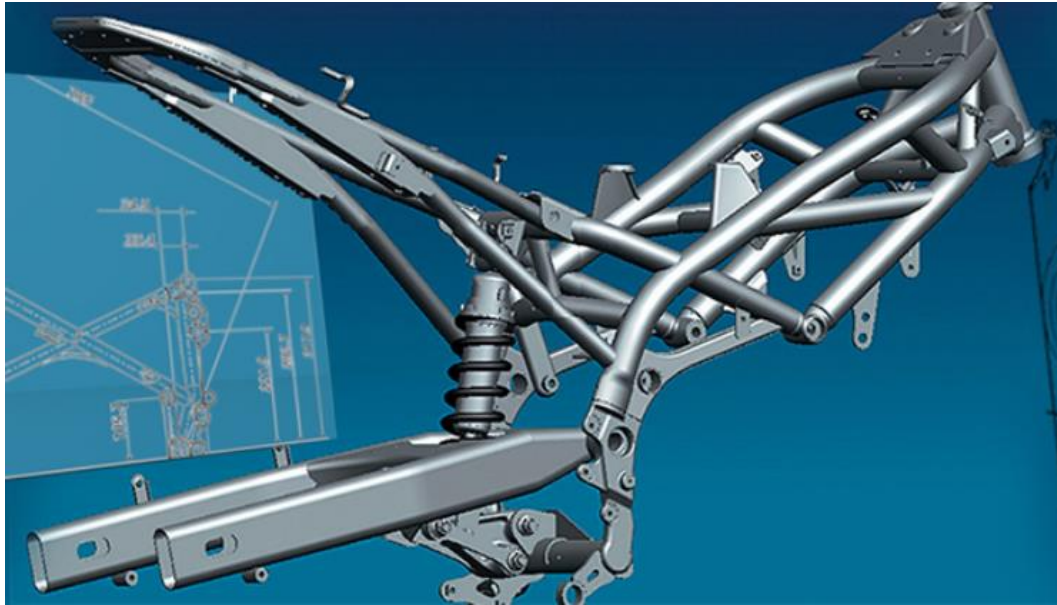


Figura 2. Diseño modelo de un chasis de moto.
Fuente: (Motobancada, 2017)

El diseño de personalización es una tendencia para desarrollar una bicicleta en los últimos años. Por lo tanto, la comodidad de andar en bicicleta es un factor importante al que se debe prestar mucha atención al desarrollar una bicicleta. Desde el punto de vista de la ergonomía, el concepto de "ajuste del objeto al cuerpo humano" está diseñado en el marco de la bicicleta en este estudio (Hsiao et al., 2015).

Con la mejora de los niveles de vida, la orientación del diseño de bicicletas ha pasado de su importante papel pasado en el campo del transporte a su potencial en los deportes de ocio actuales. Por ejemplo, Hsiao y Chou incorporaron el grado de comodidad de conducción en el diseño y desarrollo de una motocicleta eléctrica, y también tuvieron como objetivo mejorar la comodidad de conducir en productos de bicicleta al importar el concepto de diseño de "ajustar un objeto al cuerpo humano" (Hsiao et al., 2015).

Las carreras eléctricas superan los límites de la tecnología de vehículos eléctricos y promueven vehículos de cero emisiones al mostrar la capacidad de la energía eléctrica en algunas de las máquinas de conducción más rápidas del mundo (Brodsky et al., 2016).

Antecedentes

Necesidad del Cliente.

El presente trabajo de investigación surge del proyecto de la facultad de ingeniería y arquitectura de la universidad internacional SEK, empezado por el Dr. Javier Martínez, con el objetivo de construir una moto eléctrica con el motor hub de procedencia china y marca QSMotor. Este motor fue adquirido por la Universidad, además de un módulo electrónico controlador del mismo motor. Actualmente ya se realizó un estudio llamado: “Proyecto Motor Eléctrico de Motocicleta”, con la finalidad de construir un banco de pruebas para el motor eléctrico y con este se analizó el comportamiento del motor con gráficas de frecuencia vs voltaje (Martinez et al., 2020). A continuación, se presenta en la figura 3 y 4 el motor Hub y módulo controlador utilizados en el presente proyecto.



*Figura 3. Motor Hub de la marca QSMotor.
Fuente: (Martinez et al., 2020)*

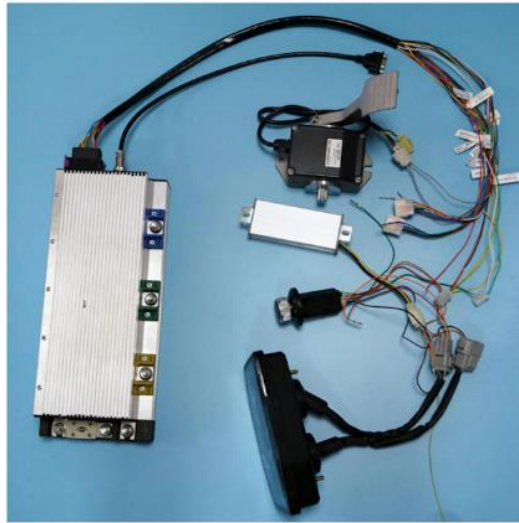


Figura 4. Módulo controlador.
Fuente: (Martinez et al., 2020)

Planteamiento del Problema

El principal objetivo de este proyecto es diseñar un chasis estructuralmente estable y cómodo centrado en el usuario ecuatoriano común y corriente para una motocicleta eléctrica que pueda transitar en la zona urbana o en camino empedrado y que cumpla con los estándares de calidad, confort y seguridad establecidas en las normativas de tránsito ecuatorianas.

Además, otro objetivo específico es realizar la construcción de este chasis como proyecto de investigación de la Universidad SEK, ya se cuenta con todos los componentes electrónicos y de control incluido el motor Wheel Hub. Adicionalmente, la universidad se ha comprometido a comprar todos los accesorios necesarios para montar toda la moto completa.

Se desea establecer un modelo adecuado de elementos finitos para estructuras complejas y complejas. Analice y mejore el problema de resistencia bajo carga, y realice múltiples partes. Análisis comparativo de casos para proponer una asignación rápida y efectiva.

El alcance del proyecto es construir sólo el chasis de la moto eléctrica donde se ensamblarán el resto de los componentes como son: suspensión delantera y trasera, sistema de frenos de disco, manubrio, pedales, sistema de aceleración, entre otros. La fabricación de este chasis debe ser realizada en nuestra industria ecuatoriana y con materiales del mercado local y al menor costo posible. Hay muy pocas motocicletas eléctricas en Ecuador al momento. Por lo tanto, el presente trabajo realizará un estudio del estado del arte en diseño y fabricación del chasis para motocicletas con motor eléctrico para el transporte legal en la zona urbana y rural. Esto será muy beneficioso para poder llegar a fabricar localmente los chasises, e importando los competentes y accesorios poder ofrecer al mercado nacional una moto diseñada y fabricada en Ecuador.

Justificación

Las nuevas tecnologías de vehículos eléctricos y fuentes de energía renovables son la única forma de resolver los problemas de contaminación ambiental en la industria del transporte, y un plan integral para implementar estas tecnologías es la única vía para hacer los cambios necesarios en los sistemas existentes de transporte impulsado por combustibles fósiles. Este proyecto es un intento de diseñar una moto eléctrica básica para un viajero que no produzca emisiones en el camino y sea parte de un sistema de transporte sostenible de cero emisiones en el futuro (Becton & Becton, 2011).

Objetivo General

El objetivo principal del presente proyecto de titulación se tendrá en cuenta los diversos parámetros obtenidos de la revisión bibliográfica de investigaciones y libros relacionados al diseño del chasis de motocicletas, con los cuales se debe diseñar un chasis que puede acomodar

el motor hub de rueda, las baterías, el controlador de la batería, el cableado y demás componentes fundamentales para obtener una motocicleta completa y lista para ser utilizada. El tren de transmisión no es necesario ya que el motor es un Hub Motor incorporado en la rueda trasera, por lo tanto el movimiento es directo desde el motor sin ninguna transmisión.

Objetivos Específicos

Como objetivo específico de este proyecto se tiene diseñar un chasis estructuralmente estable y cómodo centrado en el usuario ecuatoriano común y corriente para una motocicleta eléctrica que pueda transitar en la zona urbana o en camino empedrado y que cumpla con los estándares de calidad, confort y seguridad establecidas en las normativas de tránsito ecuatorianas.

Además, otro objetivo específico es realizar la construcción de este chasis como proyecto de investigación de la Universidad SEK, ya se cuenta con todos los componentes electrónicos y de control incluido el motor Wheel Hub. Adicionalmente, la universidad se ha comprometido a comprar todos los accesorios necesarios para montar toda la moto completa.

Hipótesis

A partir de un previo estudio acerca de los parámetros de diseño de chasis utilizados en otros países, y teniendo las dimensiones de todos los componentes de la moto eléctrica se podrá aplicar al diseño, dimensionamiento y construcción del chasis que permite ensamblar todo el conjunto y realizar pruebas de funcionamiento y ergonomía reales.

Estado del arte

Tipos de chasis de motos existentes.

Sistema cantiléver.

El sistema de chasis cantiléver sin progresividad tiene un amortiguador que se ancla encima de una triangulación basculante, de forma que su posición es horizontal en la parte superior del bastidor (Larrauri, 2012).



Figura 5. Chasis en sistema cantiléver.
Fuente: (Larrauri, 2012)

Chasis simple cuna cerrado.

Este chasis dispone de perfiles que están en un solo plano vertical los cuales parten del cabezal de la dirección hasta la zona del eje basculante, en otras palabras, desciende un tubo de la columna de dirección y pasa debajo del motor formando una cuna. La estructura está básicamente conformada por tubos soldados y el perfil en la parte inferior es continuo. (Casajús, 2012)



Figura 6. Chasis simple cuna cerrado.
Fuente: (Casajús, 2012)

Chasis simple cuna abierto o interrumpido.

Es un chasis similar al anterior de cuna cerrado, con la variante de que es abierto. Esto quiere decir que el tubo que sale del cabezal de la dirección no se cierra hasta el eje basculante. En este chasis, el motor se utiliza como estructura y es el que cierra la zona entre el tubo y el eje basculante (Molina, 2019).



Figura 7. Chasis simple cuna abierto.

Fuente: (Molina, 2019)

Chasis simple cuna desdoblado.

Este constituye otra modificación del chasis simple cuna, en el cual desciende un único tubo del cabezal de dirección, pero que se desdobra debajo del motor, para llegar a la zona del eje basculante dos tubos por separado. Este diseño de chasis se utiliza habitualmente en motocicletas que se utilizarán en el campo o Trail (Casajús, 2012).



Figura 8. Chasis simple cuna desdoblado, KTM 250X.

Fuente: (Casajús, 2012)

Chasis doble cuna.

En este diseño de chasis 2 tubos descienden del cabezal de la dirección, los cuales pasan por debajo del motor formando una cuna abrazando el motor por los laterales. Estos tubos pasan por la zona del cárter y llegan al anclaje del basculante por separado. Este chasis es más rígido que los de simple cuna formando una estructura más sólida. En la mayoría de los casos, la cuna va atornillada al resto del chasis para facilitar el montaje y desmontaje del motor (Casajús, 2012).

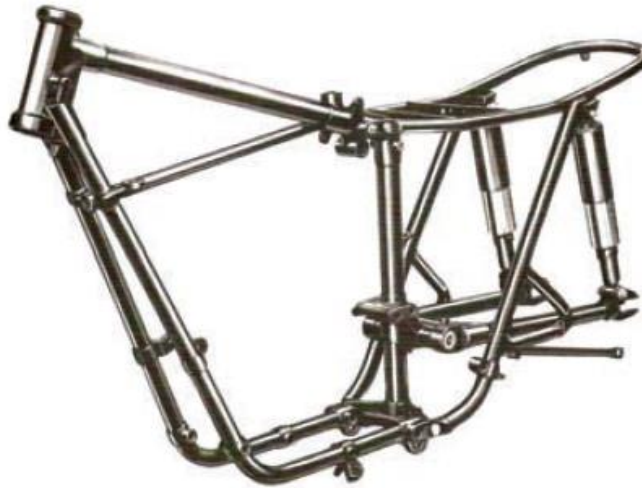


Figura 9. Chasis de doble cuna
Fuente: (Casajús, 2012).

Chasis doble viga perimetral.

Este diseño de chasis es uno de los más utilizados en motos deportivas. Está conformada por 2 vigas, una a cada lado del motor, las cuales parten desde el cabezal de dirección y acaban en la zona del eje basculante. Este chasis también integra soportes inferiores para anclar el motor. Además, incorporan otros 2 tubos que viajan desde el cabezal de dirección hacia la zona inferior del motor y al basculante. El diseño mencionado ha sido ampliamente utilizado en motocicletas de los años 90 como son: Suzuki GSX R750 o Kawasaki ZXR 750 (Molina, 2019).

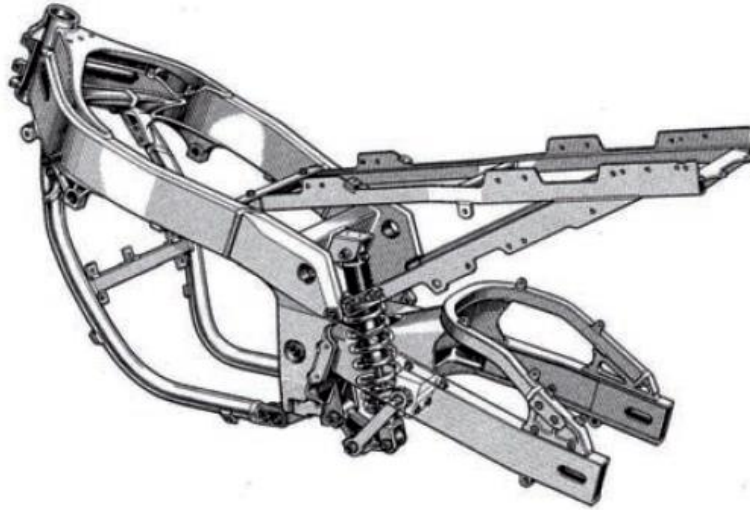


Figura 10. Chasis doble viga perimetral cerrado.

Fuente: (Molina, 2019)

Chasis monoviga o de espina central.

Es considerado un diseño de chasis tubular cuadrado en el cual el tubo central parte del cabezal de dirección horizontalmente y luego tiene una curvatura hacia abajo. Este tubo generalmente es cuadrado y tiene las mayores dimensiones de todo el chasis. El motor ya no queda rodeado por vigas, sino que queda colgado bajo el perfil tubular. Esta monoviga tiene soportes laterales para poder anclar al motor (Casajús, 2012).



Figura 11. Chasis monoviga.

Fuente: (Casajús, 2012)

Chasis Monocasco.

Este chasis tiene 2 funciones al mismo tiempo: al mismo tiempo hace de chasis y carrocería. Es un diseño de chasis inusual fabricado en aleación de aluminio el cual se utiliza más en diseños del automóvil (Molina, 2019).



Figura 12. Chasis Manocasco.
Fuente: (Molina, 2019)

Diseño paramétrico del chasis de la moto.

El marco debe tener una estructura razonable, resistencia suficiente y rigidez moderada para soportar diversas fuerzas y vibraciones. En la etapa de diseño conceptual de las motocicletas, es necesario determinar la estructura y las dimensiones principales del cuadro de la motocicleta, así como la relación posicional relativa entre los componentes principales y el cuadro, luego realizar un análisis dinámico y estructural de resistencia o rigidez del cuadro (Balyi et al., 2005).

Las características dinámicas del cuadro están directamente relacionadas con la aparición del fenómeno de resonancia de la motocicleta, por lo que es necesario combinar el diseño del cuadro de la motocicleta con el diseño del motor, considerar exhaustivamente las características dinámicas del sistema de la motocicleta y evitar la aparición de resonancia tanto como sea posible (De et al., 2010).

En la etapa de diseño conceptual, la estructura y las dimensiones principales del marco y la relación posicional relativa entre el marco y otros componentes requieren modificaciones, coordinación y optimización constantes. En el proceso de diseño de motocicletas, si se utiliza un método de modelado no paramétrico, incluso si se cambia uno de los tamaños y la estructura del cuadro, el modelo original debe modificarse o incluso modelarse (Balyi et al., 2005).

Sistema de diseño paramétrico orientado a objetos.

No importa cuán complejo pueda ser el objeto de diseño del sistema de diseño paramétrico, puede considerarse como una combinación de varias entidades básicas simples de acuerdo con una determinada relación. Por lo tanto, el diseño paramétrico primero debe asignar entidades del mundo real al espacio de software de alguna manera. Los datos geométricos de las entidades se encapsulan como atributos de la clase, y las operaciones en las entidades, como el modelado tridimensional de las entidades, también se encapsulan como un método de clase (Balyi et al., 2005).

Composición del sistema de diseño paramétrico orientado a objetos.

En este sistema, la coordinación del entorno de lenguaje orientado a objetos y el entorno de desarrollo secundario de la plataforma 3D es una de las tecnologías clave para la realización del sistema de diseño paramétrico. La base de datos es la base para compartir e intercambiar

datos de diseño de productos en un entorno de lenguaje orientado a objetos. El objeto de diseño encapsulado es una integración de productos como objetos de diseño, que resuelve los problemas técnicos en todo el proceso de desarrollo y diseño de productos (Balyi et al., 2005).

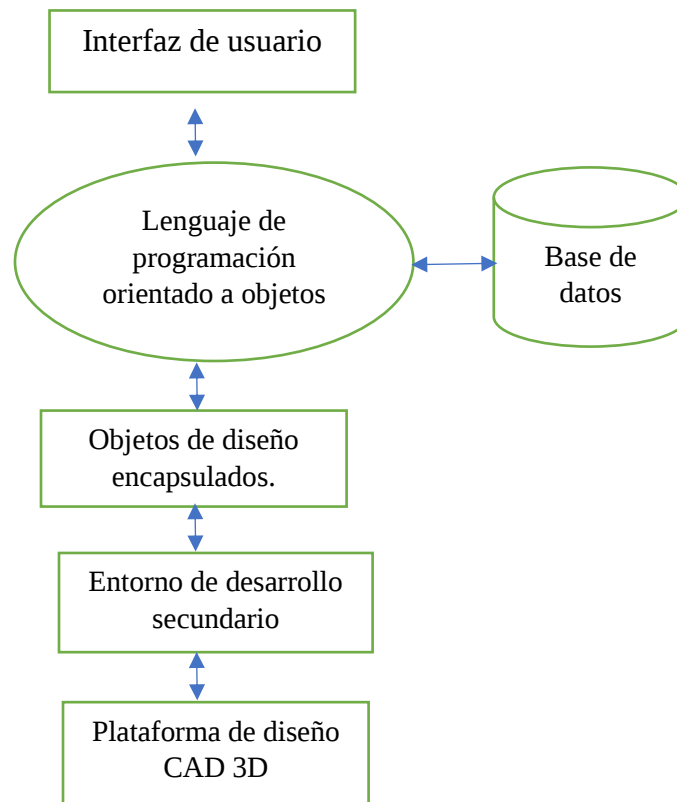


Figura 13. Diseño paramétrico orientado a objetos.
Fuente: (Balyi et al., 2005)

Análisis por elementos finitos.

Con el desarrollo de la tecnología informática y la teoría de elementos finitos, la aplicación de la tecnología CAE con análisis de elementos finitos como contenido principal casi ha pasado por todo el proceso de diseño del automóvil, y se ha utilizado ampliamente en el

cálculo del vehículo, el ensamblaje del tamaño, la rigidez de los componentes y análisis de fuerza y otros aspectos (Ruíz, 2015).

Al optimizar el grosor de los componentes clave de la estructura del cuadro, se evita la aparición de fenómenos de resonancia de la motocicleta tanto como sea posible, y se mejora la dinámica del vehículo. El rendimiento, mejorar la seguridad y la fiabilidad de la conducción de motocicletas y la comodidad de los conductores, reducir la contaminación acústica ambiental (De et al., 2010).

Este análisis y cálculo incluye análisis modal dinámico y análisis de cuatro condiciones de trabajo: flexión estática, frenado de emergencia, giro brusco y torsión. Primero, el análisis estático es el siguiente:

1) Condiciones de flexión. La condición de flexión considera principalmente la distribución de tensión y la deformación cuando el triciclo está completamente cargado y está parado o manejando en una buena carretera a una velocidad constante y en línea recta.

Tratamiento de restricción: los grados de libertad en las seis direcciones del elevador frontal y la conexión del resorte laminar están restringidos (Ruíz, 2015).

2) Frenado de emergencia. La condición de frenado de emergencia considera principalmente el efecto de la fuerza de frenado en tierra en el cuadro cuando la motocicleta de tres ruedas frena a la aceleración máxima de frenado especificada. De acuerdo con los requisitos para el transporte seguro de vehículos automotores (GB 7528-2004) para la desaceleración de frenado y la estabilidad de frenado de motocicletas de tres ruedas [5], la velocidad de frenado inicial es de 30 km / h y la distancia de frenado es de 7,5 m. La desaceleración del freno de la motocicleta de tres ruedas es de 4 630 mm / s². Tratamiento de restricción: es lo mismo que la

condición de flexión; además, se agrega una desaceleración de $4\,630\text{ mm/s}^2$ en la dirección de conducción (Ruíz, 2015).

3) Condiciones de giro agudas. La condición de giro brusco considera principalmente la influencia de la fuerza de inercia en el cuadro cuando la motocicleta de tres ruedas conduce a una velocidad de giro segura. De acuerdo con el método de medición del radio de giro seguro de la motocicleta de tres ruedas, el radio de giro del automóvil se obtiene como $3\,130\text{ mm}$; de acuerdo con las regulaciones de la velocidad de giro segura de la motocicleta de tres ruedas, la velocidad de giro segura de la motocicleta de tres ruedas es de 10 km/h , y la velocidad angular de giro disponible es 0.78875 rad/s . Tratamiento de restricción: igual que la condición de flexión; además, se aplica una velocidad angular de 0.8875 rad/s en la dirección de giro (Ruíz, 2015).

4) Condiciones de trabajo inversas. La condición de trabajo de torsión considera principalmente la influencia del par en el marco cuando se suspende una ronda.

Procesamiento de restricción: Retire el soporte vertical de la rueda libre. Carga de la condición de límite del análisis modal de vibración: de acuerdo con el modo de trabajo real, fije la superficie del extremo inferior del elevador frontal y la superficie de conexión de la lengüeta del resorte laminar sin ninguna carga (Ruíz, 2015).

Algunos parámetros básicos de rendimiento durante el modelado de elementos finitos.

1) Condiciones de límite: el uso de soporte de límite libre, es decir, no se aplica carga externa, sin ninguna fuerza vinculante.

2) Selección del rango de frecuencia: mediante un análisis exhaustivo de la velocidad de carrera, las condiciones de la carretera, el cuadro y el motor de la motocicleta, se selecciona de 0 a 260 Hz como el rango de banda de frecuencia para calcular la frecuencia natural de los primeros diez modos de carrocería no rígidos (De et al., 2010).

Optimización Dinámica de la estructura del chasis de la moto.

Se establecen 2 criterios importantes acerca de la optimización dinámica de la estructura del cuadro:

1) Establezca un modelo dinámico de elementos finitos de la estructura del cuadro y realice un análisis modal de elementos finitos en el modelo para encontrar la frecuencia natural y el modo de vibración de la estructura del cuadro.

2) Utilizando el modelo de elementos finitos establecido para optimizar dinámicamente el diseño de la estructura del cuadro, se concluye que al cambiar el grosor de algunos componentes de la estructura del cuadro, se puede evitar la frecuencia natural del cuadro a partir de las frecuencias de fuerza de inercia de primer y segundo orden a la velocidad común del motor, Que mejora efectivamente el fenómeno de resonancia de la motocicleta durante el funcionamiento normal, mejora la comodidad de conducción y la durabilidad de la motocicleta, y tiene una importancia orientadora para el diseño de la motocicleta (De et al., 2010).

Análisis de las características dinámicas de elementos finitos de motocicletas.

Durante el proceso de conducción, el impacto de la carga continua de la carretera y la fuerza de inercia de las partes móviles del motor cuando está funcionando se manejan bajo cargas dinámicas. Para mejorar la seguridad y la fiabilidad de la conducción de motocicletas y la comodidad del conductor, Se ha vuelto muy necesario reducir la contaminación acústica

ambiental y estudiar exhaustivamente el rendimiento dinámico de toda la estructura de la motocicleta (Song & Xin, 2007).

En el pasado, al analizar las características dinámicas de las motocicletas, se usaba un modelo relativamente simple para dividir la motocicleta en varias masas concentradas independientes, y estaban conectadas por resortes sin masa. Este método es bastante diferente de la estructura real. Por lo tanto, la precisión de los resultados calculados es difícil de ser satisfactoria; el segundo es estudiar solo las características dinámicas de piezas individuales de la motocicleta como el cuadro y la cubierta (Song & Xin, 2007).

Obviamente, no es suficiente simplemente estudiar las características dinámicas de los componentes, porque las motocicletas son un sistema complejo de varios cuerpos, y es necesario establecer un modelo dinámico de la motocicleta para comprender completamente la motocicleta. Solo las características dinámicas de la motocicleta pueden proporcionar datos de valor de referencia más completos para el diseño de la motocicleta.

La credibilidad de los resultados del cálculo del análisis de elementos finitos se ve directamente afectada por el modelo de análisis, el manejo de la carga, las restricciones y la ingeniería real. Las características de la mecánica estructural se ven afectadas por el grado de conformidad, por lo que establecer un modelo de elementos finitos razonable y preciso es un vínculo muy importante en el análisis de las características dinámicas. Al crear el modelo de cálculo, tome las siguientes medidas:

- 1) Omita los componentes que no soportan carga. Algunos componentes se instalan para cumplir con los requisitos de instalación y uso, y se establecen de acuerdo con los requisitos

locales de resistencia o rigidez (como las orejas del marco), estos componentes tienen poco efecto sobre la deformación de la estructura, Por lo tanto, puede ser ignorado.

2) Trate las partes de deformación relativamente pequeña (como el tanque de combustible, el motor, etc.) como rígidas, expresadas por la masa concentrada agregada al nodo correspondiente (Song & Xin, 2007).

Requisitos de rendimiento dinámico del cuadro de la motocicleta.

Para reducir la vibración de las motocicletas y mejorar la comodidad de conducción, es necesario hacer coincidir el rendimiento dinámico del cuadro con el motor, los dispositivos de suspensión y absorción de impactos y las condiciones de funcionamiento. Bajo ciertas condiciones del motor y la suspensión de la motocicleta, el modo de flexión o torsión del cuadro debe evitar la resonancia con la frecuencia de excitación del motor y la superficie de la carretera al máximo, y la resistencia del cuadro debe cumplir con los requisitos de conducción de alta velocidad de la motocicleta (Zhi-hong, 2006).

Es decir: ① La frecuencia de bajo orden del cuadro (frecuencias de flexión y torsión de primer orden) debe evitar la frecuencia de ralentí del motor; ② La frecuencia modal elástica del cuadro debe evitar el rango de frecuencia donde el motor funciona a menudo; ③ La frecuencia modal elástica del cuadro El rango de frecuencia de las excitaciones del camino por las ruedas debe evitarse tanto como sea posible (Zhi-hong, 2006).

Análisis modal del cuadro de la motocicleta.

Para verificar la precisión del modelo de elementos finitos y mejorar el diseño, se realizó un análisis modal experimental en el cuadro de la motocicleta. Durante la prueba, se utilizan 4 resortes tensores para suspender el marco elásticamente para garantizar que la frecuencia del

sistema de suspensión sea inferior a 2 Hz. Según el procesamiento, se identifican las primeras seis frecuencias naturales del cuadro y los resultados del análisis teórico. cuando el motor está funcionando a una velocidad común, su frecuencia de excitación de primer orden es fácil de igualar con el primer y segundo orden inherente del cuadro El acoplamiento de frecuencia genera resonancia; su frecuencia de fuerza de inercia de segundo orden cubre las primeras cuatro frecuencias naturales del cuadro; es poco probable que la excitación de la carretera cause resonancia de cuadro. Para hacer coincidir mejor el rendimiento dinámico del cuadro con las condiciones de funcionamiento del motor, se optimiza el tamaño estructural del cuadro (Zhi-hong, 2006).

Medición y análisis de la resistencia del chasis de una moto.

La resistencia del cuadro de la motocicleta es el factor decisivo para la capacidad de carga de la motocicleta, y es un elemento importante en la prueba de rendimiento de la motocicleta. En la prueba de resistencia del cuadro de motocicleta 50 Q-type de una compañía, la tecnología de medición eléctrica de tensión-deformación y el método de análisis de elementos finitos se utilizaron para realizar análisis de resistencia e inspección en el cuadro de motocicleta 50 Q-type (K. Liu, 2000).

El propósito de la medición eléctrica de tensión-deformación es determinar la distribución de tensión y la deformación del cuadro de la motocicleta mediante experimentos. La medición de tensión se puede dividir en medición estática y medición dinámica. El método de elementos finitos es un método de cálculo numérico aproximado, y su precisión de cálculo está relacionada con la simplificación del modelo de cálculo de elementos finitos y el procesamiento de restricciones (K. Liu, 2000)

Métodos Multicriterio**Método CRITIC.**

El CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) es un método que pondera cada criterio según la siguiente ecuación, la cual parte de los datos para dicho criterio en distintas alternativas (Aznar, 2011) :

$$w_j = s_j * \sum (1 - r_{jk})$$

Ec 1

w_j = peso o ponderación del criterio j

s_j = desviación típica del criterio j

r_{jk} = coeficiente de correlación entre los criterios j y k

El siguiente paso de este método es realizar la normalización por el rango, con el objetivo de transformar los pesos a valores entre 0 y 1 (Molano & Alvarado, 2018)

La desviación estándar para cada uno de los criterios se obtiene con la siguiente ecuación:

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Ec 2

Luego se usa la fórmula de coeficiente de correlación de Pearson. Se calcula los coeficientes de correlación de los criterios con la siguiente ecuación:

$$r_{jk} = \frac{cov(j,k)}{s_j + s_k}$$

Ec 3

Método Entropía.

El proceso para este método comienza con la realización de la normalización de la suma de los valores de cada criterio. Para calcular la entropía del criterio se utiliza la siguiente ecuación:

$$E_j = k * \sum i ((a_{ij}) * \log a_{ij})$$

Ec 4

$$k = \frac{1}{\log m}$$

Ec 5

Donde:

m = es el número de opciones

El valor de la entropía aumenta mientras más se asemejen las a_{ij} . La siguiente ecuación calcula la variedad D_j a partir del valor de entropía E_j :

$$D_j = 1 - E_j$$

Ec 6

Y finalmente la variedad de los criterios se regulariza con el cálculo del siguiente criterio:

$$w_j = \frac{D_j}{\sum D_j}$$

Ec 7

Los valores de este criterio calculado anteriormente expresan la ponderación o peso de cada uno de los criterios tomados en cuenta (Espinosa, 2016).

Fuerzas que actúan sobre el chasis de la moto eléctrica.

El análisis del cuadro se realizó fijando el cuadro sobre los puntos de suspensión delantera. Las fuerzas que actúan sobre el cuadro incluyen el peso del piloto y del pasajero, el peso de la batería, el peso del motor, el peso del cuadro y la fuerza debida a la aceleración.

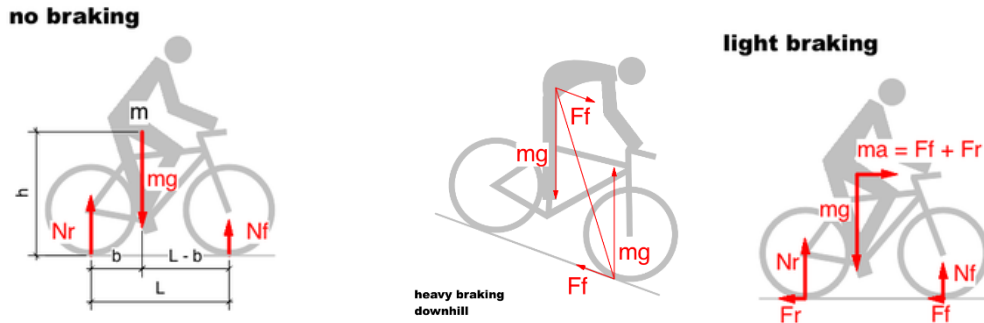


Figura 14. Fuerzas que actúan sobre el chasis en diferentes circunstancias

Fuente: (Wikipedia, 2020)

Determinación carga viva.

Al hablar de la carga viva estamos empleando la resultante entre el peso de la carga que se pretende trasladar más una sobrecarga. Esta última es examinada para evitar que la estructura fracase por sobrecargas ya sea por desconocer de su capacidad máxima o por descuido del operario.

La carga por trasladar se establece con el peso de dos personas de 70Kg. Se considera un 20% más del valor de la sobre carga.

$$CV = CT + SC$$

Ec 8

CT = Carga a Transportar

SC= Sobrecarga

Carga de viento.

Esta carga que se ejerce sobre la moto se la entiende como una resistencia aerodinámica, esta fuerza se contrapone al movimiento de cualquier objeto en la atmosfera.

Esta resistencia va aumentando con el cuadrado de la velocidad, por lo que a velocidades bajas no concierne mucho, mientras que a velocidades altas es una resistencia importante que debe derrocar el vehículo para seguir avanzando. La resistencia de viento para vehículos se determina mediante:

$$R_a = \frac{1}{2} * C_x * \rho * A_f * V^2$$

Ec 9

Dónde:

R_a = Resistencia Aerodinámica (N)

ρ = Densidad del aire (Kg/m³)

V = Velocidad en (m/s)

A_f = Superficie frontal de la moto (m²)

C_x = Coeficiente aerodinámico de la moto

El valor del coeficiente aerodinámico, o C_x , mide la facilidad o dificultad con que un objeto penetra en el aire resulta muy desfavorable en las motos. Una moto con buena aerodinámica, tipo MotoGP o una Touring bien carenada, jamás baja del 0,40 (Moto1pro, 2015).

Fuerza motriz.

Es importante determinar la fuerza a vencer para poder calcular la potencia mínima requerida por el motor, utilizando la segunda ley de newton.

$$F_r = F_n * \mu$$

Ec 10

F_r = Fuerza rozamiento (N)

F_n = Fuerza normal (N)

m = Peso sobre rueda (Kg)

μ = Coeficiente de rozamiento

F_M = Fuerza motriz (N)

Potencia de motor.

$$H = Q * V$$

Ec 11

Se refiere al trabajo ejecutado por unidad de tiempo o a su vez como la carga a impulsar por la velocidad.

Dónde:

H = Potencia del motor (Watt)

Q = Carga (Kg)

V = Velocidad lineal (m/s)

La potencia instantánea es:

$$P = \frac{T d\theta}{dt}$$

Ec 12

la velocidad angular es:

$$W = \frac{d\theta}{dt}$$

Ec 13

Potencia expresada:

$$P = T * W$$

Ec 14

La ecuación del toque es:

$$T = F * d$$

Ec 15

Dónde:

P = Potencia del motor (Watt)

T = Momento de torsión (N*m)

W = Velocidad angular(rad/s)

n = Velocidad de rotación (rpm)

FM = Fuerza motriz (Kg)

R = Radio de aplicación de fuerza del motor (m)

Metodología

Selección del material

Análisis multicriterio.

Los métodos multicriterio MCDM utilizan una gran diversidad de características para analizarlas, por este motivo se debe ser muy cuidadoso a la hora de determinar las características que van a ser utilizadas, ya que para concluir se debe establecer un lenguaje común para el tratamiento de los datos (Grajales, 2013).

Los métodos MCDM que se plantea utilizar en el presente proyecto colaborarán a evaluar los distintos materiales seleccionados para el chasis de la moto, y se clasificará con un método de ponderación como se describirá a continuación: el CRITIC, Entropía y ordenación simple con el objetivo de identificar los pesos a utilizarse en cada criterio de evaluación. Además, para la elección del material más idóneo existen métodos como son los siguientes: Exprom2, Topsis y Vikor (Veselinović, 2014).

El método de la entropía es bien conocido en ponderaciones de criterios de problemas MCDA. La entropía de un sistema en termodinámica mide el grado de desorden y sirve para obtener información efectiva de los datos, por lo tanto, se puede utilizar para determinar los pesos. Calcular el peso con la entropía es una forma de determinar los pesos de cada indicador según la evaluación del grado de discrepancia (W. Liu & Cui, 2008).

El otro método de ordenación simple en resumen es ordenar los criterios en función a la importancia de cada uno y prevaleciendo su propia opinión, de manera que se da una mayor ponderación al de mayor importancia y más baja ponderación al de menor importancia.

El método para la selección del material a utilizar para el chasis será mediante matrices de calidad para la selección de la materia prima adecuada de entre los siguientes materiales: AISI 1020, Aluminium 6063-T6 y AISI 4340. Para el marco, se propone utilizar dos tubos estandarizados: ISO: 21,3 mm x 2,3 mm y 26,9 mm x 3,2 mm. Estos son los estándares ISO disponibles en el mercado nacional que se usan normalmente y también son estándares predeterminados disponibles en SolidWorks o Inventor.

Tabla 1.

Propiedades mecánicas de los materiales escogidos.

No	Material	Módulo Elástico (N/mm ²)	Módulo de Poisson	Costos (USD) /1m	Densidad (kg/m ³)	Esfuerzo de (N/mm ²) tracción	Esfuerzo a la fluencia (N/mm ²)
1	AISI 1020	200000	0.29	3.52	7900	420.51	351.57
2	Aluminio 6063-T6	69000	0.33	3.62	2700	240	215
3	Acero AISI 4340	205000	0.32	4.25	7850	1110	710
4	Acero Inoxidable 304	187500	0.30	3.83	8000	415	690
5	Acero A 36	200000	0.26	3.16	7850	475	250
6	Acero AISI 4130	200000	0.28	4.18	7833	460	434

Para la selección del material es necesario realizar el modelo CAD y someterlo a una simulación con cargas y apoyos en tiempo real. Con esto se obtiene los esfuerzos máximos, el factor de seguridad y las deformaciones máximas de la misma estructura con diferentes materiales para poder seleccionar el mejor material adecuado para el chasis en función de la resistencia, el costo y el peso del chasis.

Para el diseño del chasis se utilizará el software CAD de la empresa Autodesk, Inventor y para sus respectivas simulaciones estructurales y dinámicas se utilizará los softwares de la empresa Altair Simsolid e Inspire con licencia estudiantil mediante el método sin malla y por elementos finitos, respectivamente. Adicional a estos softwares se utilizará el software libre SU2 para poder comparar los resultados entre los diferentes softwares de simulación.

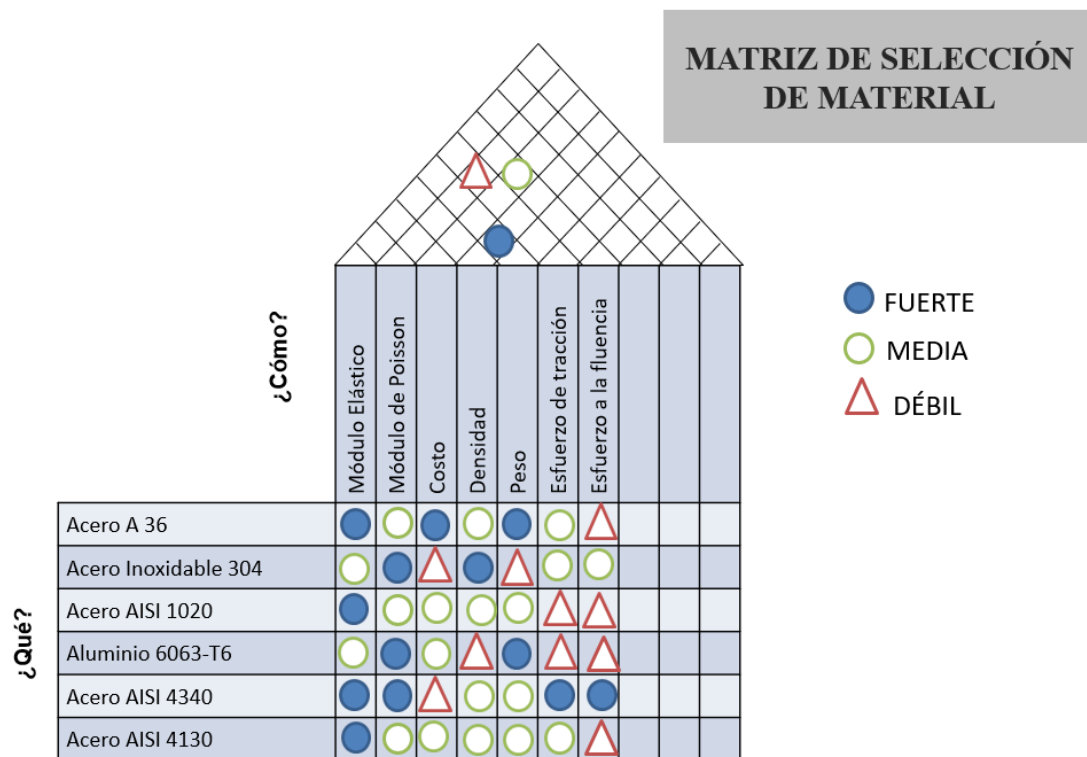


Figura 15. Matriz de selección de material.

El siguiente paso en este proceso de selección de materiales a establecer una ponderación a las variables de la tabla 1 en los cuales se aplica los 3 métodos siguientes:

- Método CRITIC
- Método de la Ordenación simple
- Método de la Entropía.

Estudio Ergonómico de las diferentes motos en el mercado

En la actualidad existen 3 grandes grupos de motocicletas, las cuales hacen de la conducción de una moto una experiencia totalmente diferente. Estos grupos son los siguientes: moto crucero, moto deportiva y moto de turismo. Cada tipo de moto está diseñada para una función exclusiva y por ende tiene posturas del conductor diferentes. Para comprobar esta afirmación se ha investigado algunos artículos científicos relacionados a la ergonomía en la conducción de moto. En estos se tiene varias encuestas realizadas a motociclistas experimentados (Stedmon et al., 2011).

Según el artículo de Allen Hale de la universidad de Michigan, el conductor de la moto crucero tiene una posición de asiento relajada, erguida, con las piernas hacia adelante. El motociclista deportivo se debe inclinar hacia adelante con las piernas más hacia atrás. Y los motociclistas de turismo tenían una postura que era una combinación de las dos anteriores (Hale et al., 2007)

Existe una norma española para el dimensionamiento de las motocicletas la cual es la UNE 26 410 92 para vehículos de carretera, dimensiones de los ciclomotores y las motocicletas de dos ruedas. Esta norma sólo especifica las diferentes dimensiones principales que de debe tomar en cuenta a la hora de fabricar una moto, más no define las medidas máximas o mínimas (Ramón, n.d.). A continuación, se muestran las cuatro medidas más importantes a considerar:

Longitud.

La distancia total entre dos planos verticales perpendiculares al plano longitudinal medio de la moto y tangentes a la moto por delante y por detrás (Ramón, n.d.).

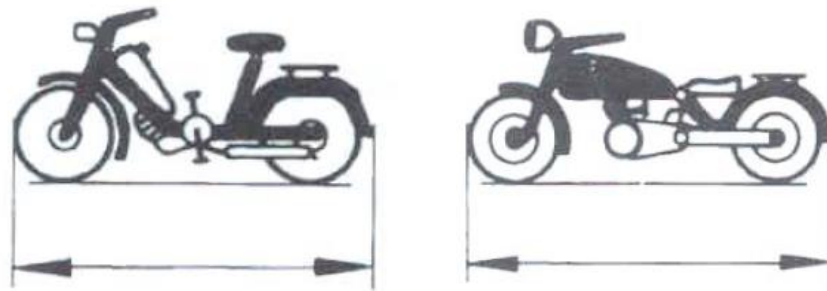


Figura 16. Longitud total.

Fuente: (Ramón, n.d.)

Anchura.

Es la distancia entre dos planos tangentes al plano lateral del vehículo desde un extremo al otro. Están comprendidos todas las partes fijas de la moto entre los dos planos a excepción de los retrovisores (Ramón, n.d.).

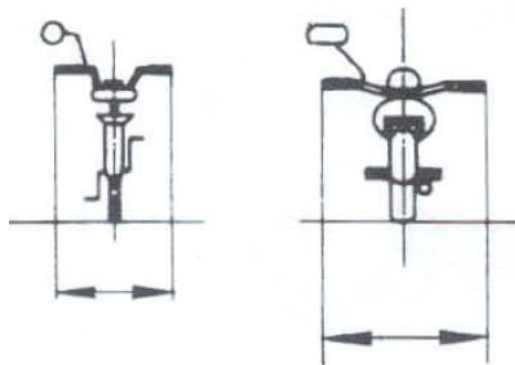


Figura 17. Anchura total.

Fuente: (Ramón, n.d.)

Altura.

Se define como la distancia desde el plano de apoyo o suelo y un plano horizontal, tangente a la parte superior de la moto o el manubrio. No se incluye al retrovisor en esta medida (Ramón, n.d.).

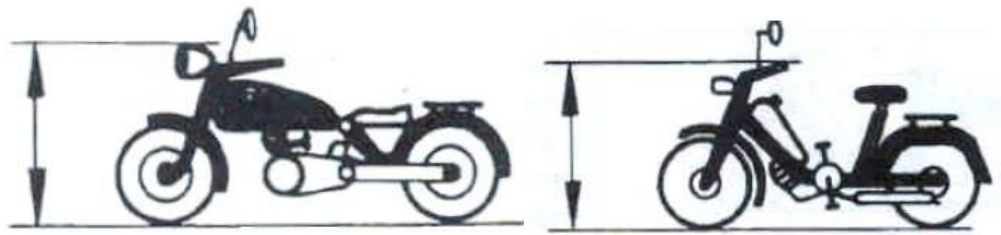


Figura 18. Altura total.

Fuente: (Ramón, n.d.)

Distancia entre ejes.

Distancia entre los planos perpendiculares al plano de apoyo o suelo que pasan por los centros de las dos ruedas (Ramón, n.d.).

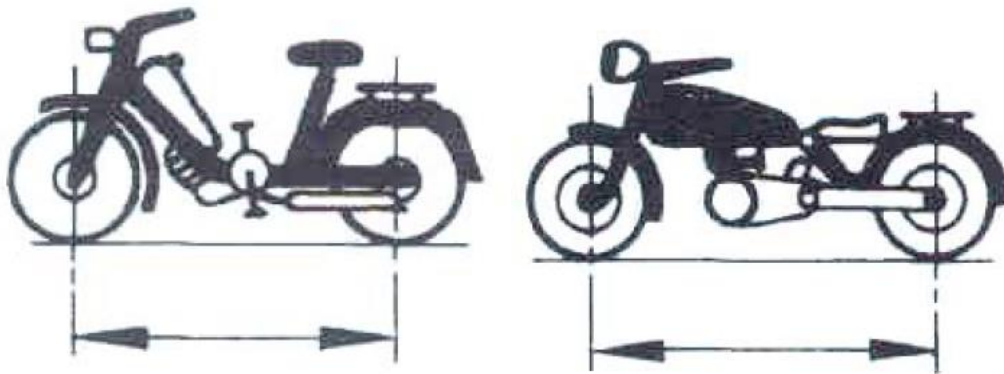


Figura 19. Distancia entre ejes.

Fuente: (Ramón, n.d.)

Motocicletas recomendadas en España según la altura del conductor.

La siguiente imagen muestra las motocicletas recomendadas según la estatura del conductor de una conocida empresa de renta de motocicletas en España llamada españanmoto.com, ha realizado estudios ergonómicos del manejo de motos ya que es necesaria una estatura mínima para lograr poner los pies totalmente en el suelo cuando se está parado en una intersección o semáforo. Las primeras de motos son de 3 ruedas, 2 delanteras, y es la más recomendada para todo tipo de estaturas sean muy bajitos de 150 cm o muy altos de 180 cm.



Para personas de 152 cm de altura, disponemos de cuatro modelos que le permiten llegar plenamente al suelo.



Para personas de 160 cm de estatura, se añaden otros tres modelos, y por supuesto, los anteriores también son válidos.



Figura 20. Modelos recomendados para cada estatura.

Fuente: (españaenmoto, 2019)

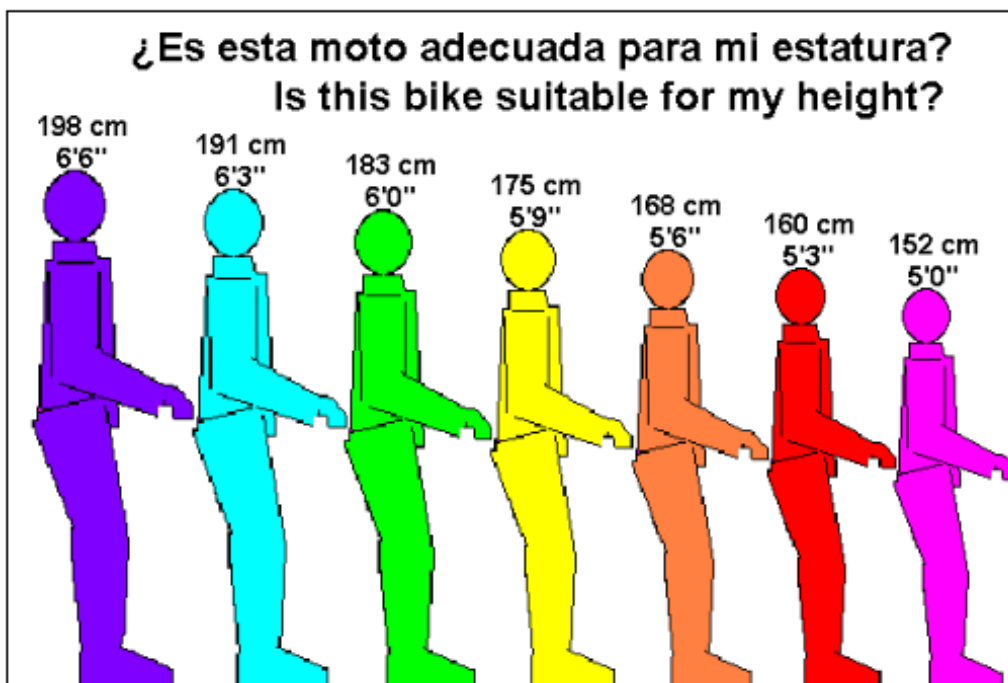


Figura 21. Estaturas adecuadas para motos.

Fuente: (españaenmoto, 2019)

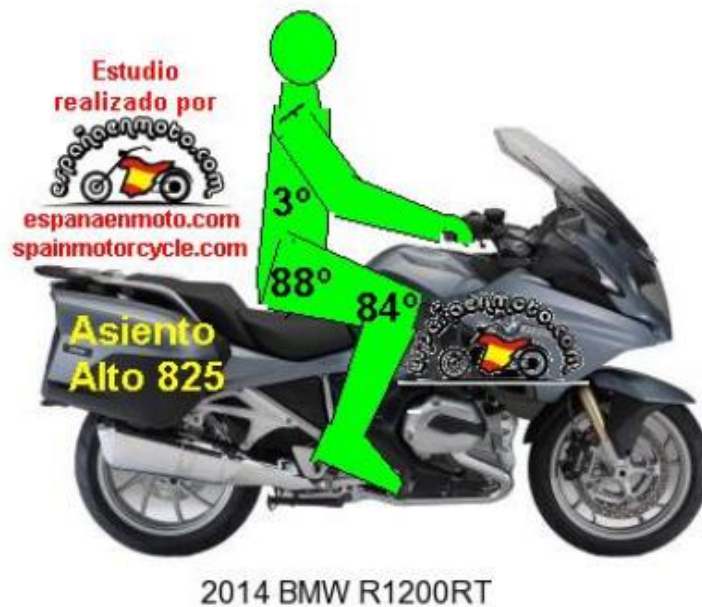


Figura 22. Ángulos del conductor.
Fuente: ([espanaenmoto](http://espanaenmoto.com), 2019)

Posición del conductor según el tipo de motocicleta.

Otra información muy importante que proporciona esta página de renta de motocicletas es la siguiente imagen que muestra las posiciones del conductor con sus respectivos ángulos según el tipo de motocicleta clasificándolas en 3 grupos diferentes:

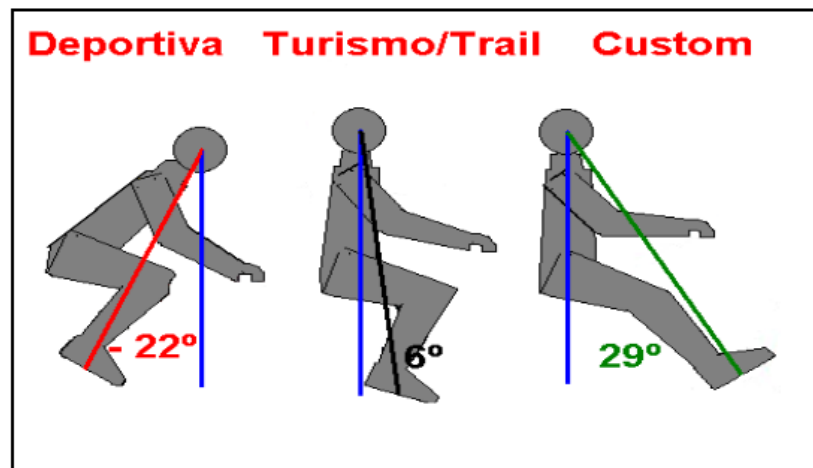


Figura 23. Posturas de conducción.
Fuente: ([espanaenmoto](http://espanaenmoto.com), 2019)

Motos Deportivas.

Las motos deportivas son la categoría de motocicletas más orientada al rendimiento. Cuentan con un cuadro liviano, un motor potente y posiciones de asiento y manillar que fomentan una postura de conducción agresiva. El manejo ágil y el frenado rápido de las motocicletas deportivas pueden hacer que el modelo correcto sea una buena motocicleta para aprender. Por mucho tiempo, las motocicletas deportivas se consideraron de uso netamente profesional, solo para los más aptos y experimentados. Esto ha cambiado, y como podrás haber visto, existen motos deportivas para principiantes y niveles de entrada (Motor, 2018).



Figura 24. Motocicleta Deportiva.

Fuente: (Motor, 2018)

Motos tipo Custom o Crucero.

Las motocicletas Crucero están diseñadas para una conducción relajada y cómoda, en un estilo ejemplificado por fabricantes estadounidenses como Harley-Davidson. Los cruceros tienen una posición de conducción erguida y cuentan con potentes motores con un par de torsión bajo.

Estas motos cruceros brindan una posición de conducción más cómoda con manillares altos y anchos que se colocan más cerca del cuerpo del ciclista, lo que permite un alcance natural a las empuñaduras, junto con el reposapiés colocado hacia adelante del asiento. La altura media del asiento desde el suelo fue más corta para los cruisers (68,2 cm) y más alta para los deportes. (Hale et al., 2007).



Figura 25. Keway Custom.
Fuente: (Motor, 2018)

Motos de turismo.

Las motos de turismo o turísticas se diseñan para recorrer con ellas largas distancias con el máximo confort y protección. Los manubrios de la motocicleta de turismo están ligeramente más abajo y adelante del asiento, lo que hace que la postura del conductor se incline hacia adelante mientras que el reposapiés se eleva más alto y ligeramente hacia adelante del asiento (Hale et al., 2007).



Figura 26. Moto de turismo.

Fuente: (Epsmecanicos, 2017)

Medidas Antropométricas Latinoamericanas

Es importante mencionar que en Ecuador no existe un estudio detallado de las medidas antropométricas de sus ciudadanos. Por este motivo se ha utilizado en el presente proyecto las medidas del país vecino Colombia por su gran similitud de etnia con Ecuador. Se tomaron las medidas principales como son estatura, longitud de brazos y piernas de una persona en posición sentada con los brazos extendidos hacia adelante (Avila Chaurand et al., 2015).

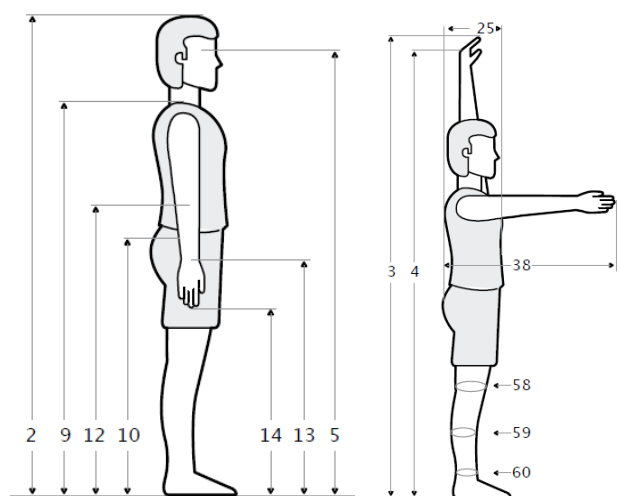


Figura 27. Medidas Antropométricas en Colombia.

Fuente: (Avila Chaurand et al., 2015)

		20 - 29 años (n= 487)					30 - 39 años (n= 447)				
Dimensiones				Percentiles					Percentiles		
		$\bar{x}$	D.E.	5	50	95	$\bar{x}$	D.E.	5	50	95
1	Masa corporal (Kg)	66.9	10.45	52.3	66.0	85.3	71.2	9.87	55.8	70.4	87.7
2	Estatuta (cm)	170.1	6.52	159.5	169.4	181.1	168.9	6.27	158.3	169.4	178.5
3	Alcance vertical máximo	214.8	8.81	201.7	214.1	230.6	213.3	8.70	198.2	213.8	226.1
4	Alcance vertical con asimiento	199.8	8.17	187.5	199.5	213.9	198.2	8.07	184.2	198.7	210.8
5	Altura de los ojos	159.1	6.36	148.8	158.6	170.4	158.2	6.19	148.0	158.4	167.6
9	Altura acromial	138.6	5.72	128.8	138.2	148.2	138.1	5.76	129.2	138.4	147.4
10	Altura cresta iliaca medial	101.6	4.78	94.1	101.4	109.6	100.4	4.69	92.6	100.8	107.6
12	Altura radial	107.0	4.57	99.1	106.9	115.0	106.6	4.68	99.7	107.0	114.4
13	Altura estilóidea	81.7	3.90	75.6	81.6	88.4	81.7	4.02	75.5	81.9	88.2
14	Altura dactílea dedo medio	63.8	3.44	58.4	63.7	69.9	63.9	3.51	58.4	64.2	69.4
25	Anchura del tórax	19.5	1.74	16.8	19.5	22.5	20.5	1.70	17.9	20.5	23.4
38	Alcance anterior brazo	71.4	3.39	66.4	71.3	77.1	71.2	3.23	65.7	71.3	76.7
58	Perímetro rodilla media	36.1	2.37	32.3	36.0	40.0	36.8	2.28	33.2	36.7	40.8
59	Perímetro pierna media	35.3	2.59	31.4	35.2	39.9	36.3	2.38	32.4	36.2	40.3
60	Perímetro supramaleolar	21.6	1.35	19.6	21.6	24.0	21.9	1.28	19.9	22.0	24.1

Figura 28. Medidas de referencia del país vecino Colombia.

Fuente: (Avila Chaurand et al., 2015)

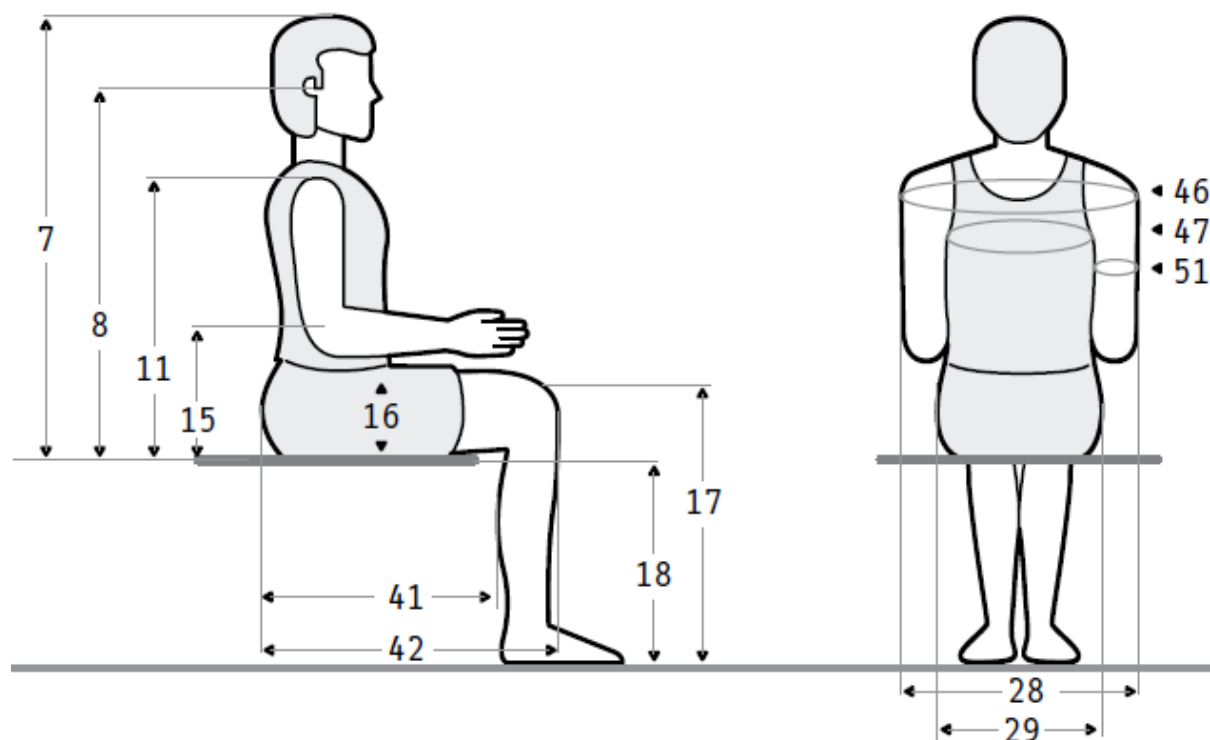


Figura 29. Medidas Antropométricas de Colombia

Fuente: (Avila Chaurand et al., 2015)

Dimensiones		20 - 29 años (n= 487)					30 - 39 años (n= 447)				
				Percentiles					Percentiles		
		$\bar{x}$	D.E.	5	50	95	$\bar{x}$	D.E.	5	50	95
6	Altura sentado normal	86.5	3.58	80.6	86.3	92.6	86.3	3.51	80.3	86.3	92.1
7	Altura sentado erguido	89.0	3.31	83.8	89.0	94.7	89.0	3.14	83.7	88.9	94.2
8	Altura de los ojos	78.6	3.31	73.5	78.6	84.1	78.8	3.17	73.6	78.9	83.6
11	Altura acromial	58.8	2.78	54.3	58.8	63.6	59.0	2.73	54.5	59.2	63.2
15	Altura radial	23.6	2.42	19.4	23.7	27.4	24.1	2.44	19.9	24.2	28.1
16	Altura del muslo	14.8	1.30	12.7	14.8	17.0	15.1	1.19	13.2	15.2	17.1
17	Altura de la rodilla	52.9	2.56	48.9	52.8	56.9	52.4	2.49	48.3	52.6	56.3
18	Altura de la fosa poplíteica	43.0	2.21	39.5	42.9	46.5	42.2	2.21	38.5	42.3	45.7
28	Anchura codo a codo	42.9	4.25	36.7	42.2	50.5	45.3	4.24	38.1	45.5	52.4
29	Anchura de las caderas	34.3	2.59	30.5	34.3	38.5	35.2	2.49	31.1	35.1	39.2
41	Largura nalga - fosa poplíteica	47.0	2.52	42.9	47.2	51.2	46.8	2.30	43.1	46.8	50.5
42	Largura nalga - rodilla	57.2	2.64	53.0	57.1	61.6	57.0	2.44	52.8	57.1	61.0
46	Perímetro bideltóideo	111.7	7.00	101.3	111.2	124.1	114.5	6.55	103.6	114.8	124.8
47	Perímetro mesoesternal	94.2	6.49	84.6	93.6	105.4	97.3	6.08	87.4	97.3	106.9
51	Perímetro brazo flexionado	30.5	2.66	26.3	30.5	35.1	31.5	2.47	27.6	31.5	35.6

Figura 30. Medidas de referencia de Colombia

Fuente: (Avila Chaurand et al., 2015)

Tabla 2.

Medidas antropométricas principales para el diseño del chasis

Dimensiones	x	D.E.	5	50	95
2 Estatura (cm)	170.1	6.52	159.5	169.4	181.1
38 Alcance anterior brazo	71.4	3.39	66.4	71.3	77.1
7 Altura sentado erguido	89	3.31	83.8	89	94.7
11 Altura hombro sentado	58.8	2.78	54.3	58.8	63.6
17 Altura de la rodilla	52.9	2.56	48.9	52.8	56.9
42 Largura nalga - rodilla	57.2	2.64	53	57.1	61.6

Dimensionamiento de la postura de conducción.

Existen 3 elementos a tomar en cuenta para determinar la postura que se va a adoptar el conductor al momento de conducir una motocicleta las cuales son: el asiento con dos referencias en el eje x y z (Ax y Az), el apoyo pies con una dimensión desde el suelo (Cz) y el manubrio con

dos dimensiones en los 2 ejes x y z (B_x y B_z) (Hale et al., 2007). La siguiente imagen muestra estas dimensiones:

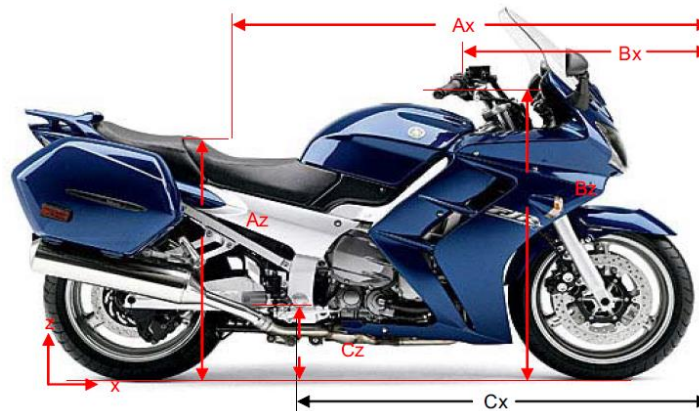


Figura 31. Dimensiones para determinar la posición del conductor.

Fuente: (Hale et al., 2007)

A partir de las medidas anteriormente mencionadas, se establecer varios ángulos de suma importancia, incluido el ángulo de la espalda del conductor al suelo (θ), el ángulo de la parte superior de la pierna hacia la espalda (α) y el ángulo de la parte inferior de la pierna hacia la parte superior de la pierna (β) (Hale et al., 2007).



Figura 32. Ángulos de postura del conductor.

Fuente: (Hale et al., 2007)

Los ciclistas de crucero tienen un ángulo de espalda promedio (θ) de 86,1 grados. Los motociclistas deportivos tienen una media de 67,8 grados. Los motociclistas deportivos asiáticos se inclinan más hacia adelante que los motociclistas deportivos europeos o norteamericanos. Los ángulos son 58.8, 67.5 y 86.5 grados para los ciclistas asiáticos, europeos y norteamericanos, respectivamente. El ángulo medio de la espalda de los motociclistas de turismo es de 77,6 grados (Hale et al., 2007).

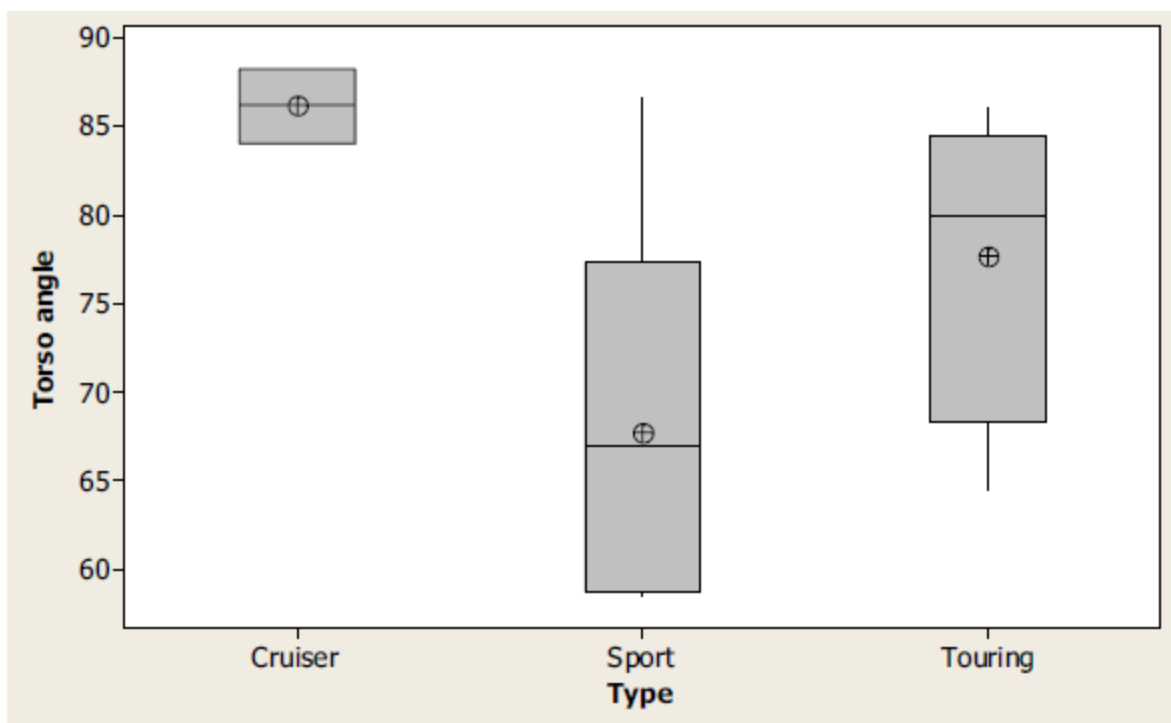


Figura 33. Ángulos del torso del conductor en diferentes tipos de motos.

Fuente: (Hale et al., 2007)

El ángulo entre los pilotos y la parte superior de la pierna (α) fue muy similar entre todas las motocicletas. Los promedios para los ciclistas de crucero, deporte y turismo fueron de 96,1, 87,9 y 94,8 grados respectivamente (Hale et al., 2007).

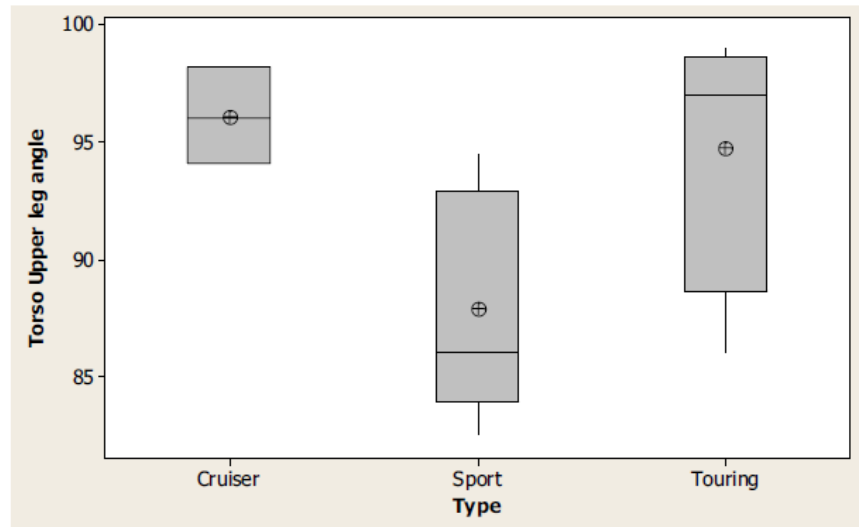


Figura 34. Ángulos del torso respecto a la parte superior de la pierna del conductor en diferentes tipos de motos

Fuente: (Hale et al., 2007).

El ángulo de la parte inferior de la pierna desde la parte superior de la pierna (β) fue donde los tipos de motocicleta difirieron más. Los cruceros tienen una pierna extendida con un ángulo de 116,9 grados. Las motocicletas de turismo tienen un ángulo de las piernas del conductor de 91,2 grados; sin embargo, la motocicleta de turismo de América del Norte es de 119,5 grados. La motocicleta deportiva promedio es de 74,8 grados.

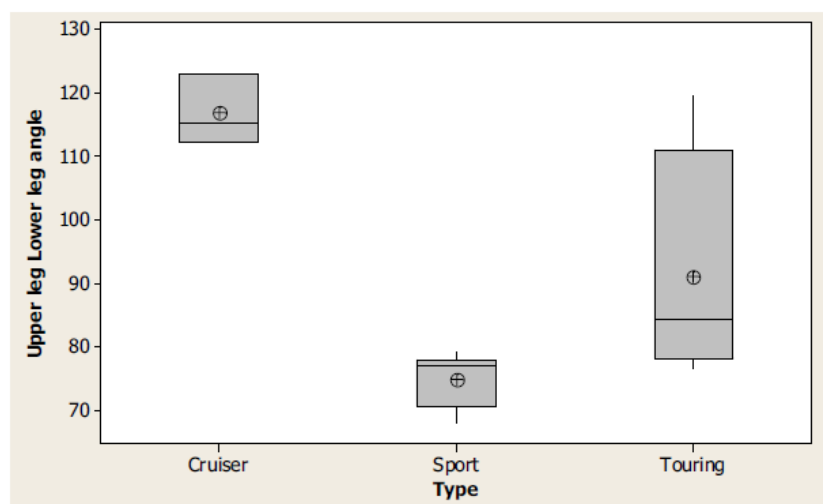


Figura 35. Ángulos entre la parte superior e inferior de la pierna del conductor.

Fuente: (Hale et al., 2007)

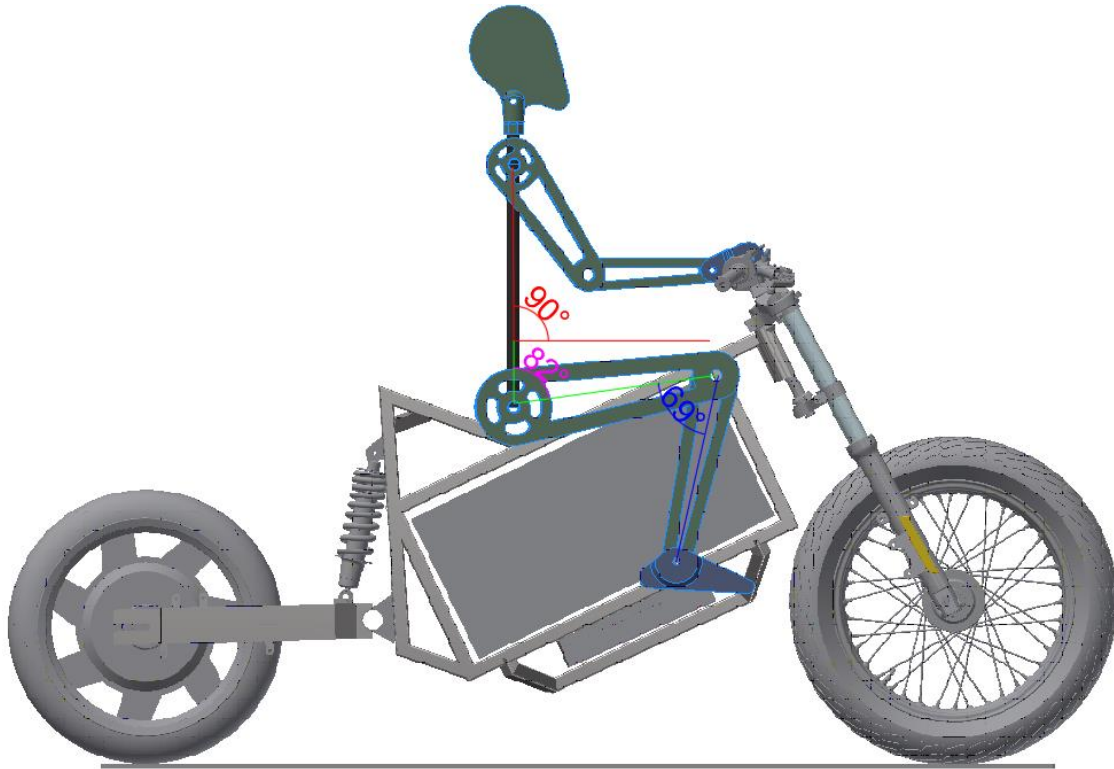


Figura 36. Ángulos finales de posición del conductor.

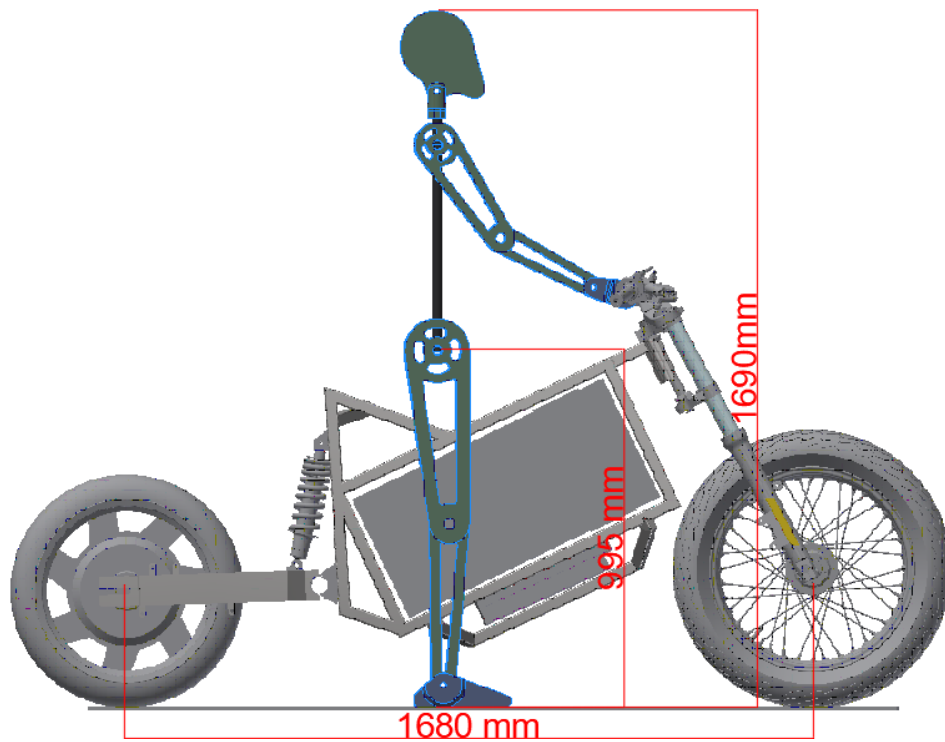


Figura 37. Medidas generales del conductor y de la moto.

La imagen anterior muestra los ángulos finales seleccionados de la postura del conductor los cuales se parecen mucho a los de una moto de turismo ya que esta es muy cómoda y permite al conductor permanecer sentado en la moto por un prolongado período de tiempo.

Partes fundamentales de la moto

Características del Motor eléctrico tipo hub.

- 1) Alta velocidad. El scooter impulsado por este motor de scooter de 17 pulgadas y 8000 W puede alcanzar un máximo. velocidad 140km / h.
- 2) La eficiencia es de hasta 85% a 91%, ahorra energía de la batería, una carga puede correr más distancia.
- 3) Alto voltaje. Varía de 48 V a 96 V. Alto voltaje, baja corriente, no caliente, protege el motor.
- 4) Rueda de aluminio resistente de 13 x 3,5 pulgadas, eje lateral doble.
- 5) La longitud y el diámetro del eje se pueden personalizar.
- 6) Marca y logotipo personalizados.
- 7) 2 juegos de sensor de pasillo, 1 para uso y 1 para respaldo, tasa de reparación baja.

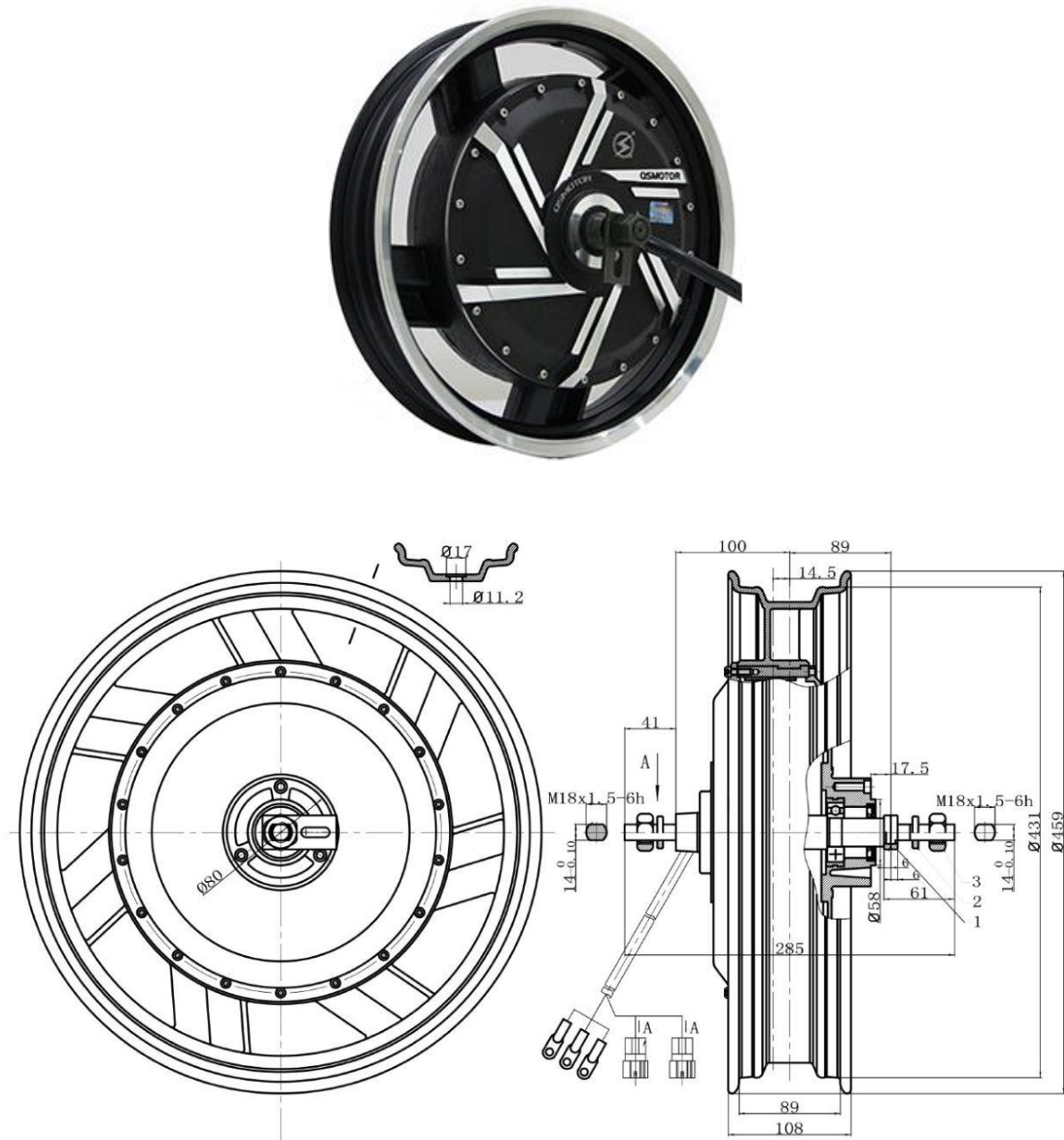


Figura 38. Dibujo del motor de scooter de 17 pulgadas 8000W.
Fuente: (QSMOTOR, 2018)

Características del módulo controlador.

Es un diseño especial para el controlador de motor sin escobillas QS para los Kits de conversión de buje de coche eléctrico, que puede coincidir con la potencia nominal del MOTOR

de buje QS 8000W. El controlador es muy adecuado para el triciclo eléctrico, el mini coche electrónico, en Punta del tamaño.

1. Programable, con función inversa, soporta frenado regenerativo
2. Rango de voltaje de la batería Configurable, B +. Rango de funcionamiento máximo: 42 V a 120 V.
3. Corriente de fase máxima: 600A.
2. Tamaño del producto: 346mm * 148mm * 76mm Peso neto: 5,9 kg
4. Modo de prueba: sensor de sala

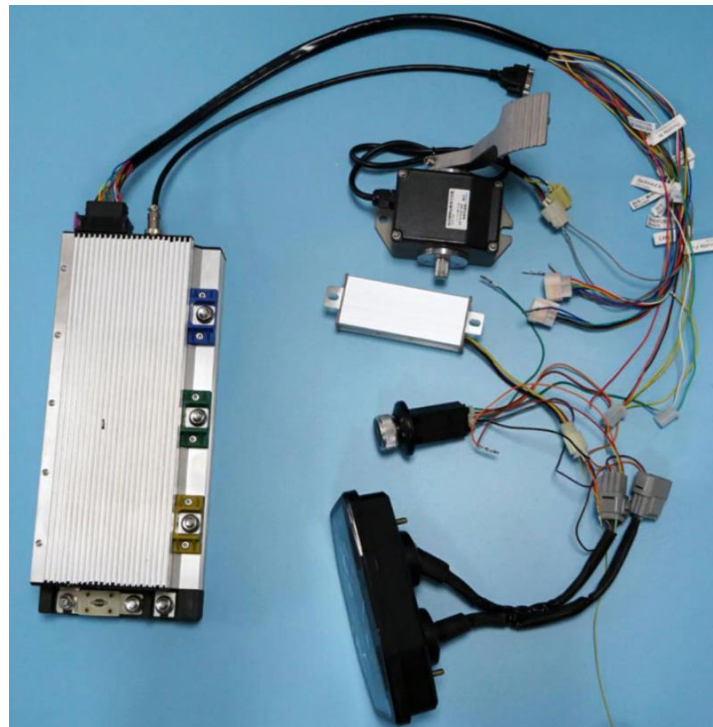


Figura 39. Controlador electrónico.
Fuente: (aliexpress, 2019)

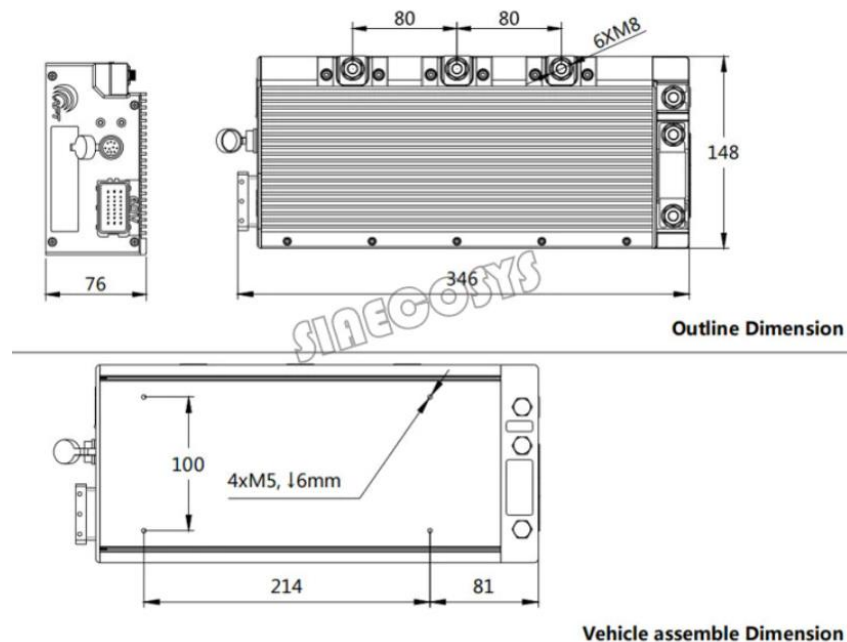


Figura 40. Características y dimensiones del módulo controlador.
Fuente: (aliexpress, 2019)

Características de la batería seleccionada.

La selección de la batería se centró en las características del motor de gran potencia que se dispone en la universidad el cual es de 8000 W de la marca QS Motors. Por lo tanto, la batería que se adapta a este motor también es de gran tamaño, peso y voltaje. A continuación, se detalla las características principales de esta batería:

Tabla 3.
Características principales de la batería

Voltaje nominal	96 V
Amperaje nominal	60 A
Energía de la batería	5760 Wh
Ciclo de vida	2000 cargas
Configuración de las celdas	LiFePO4 26650 3.2V -30S17P
Dimensiones	(225+-3)*(690+-2)*(325+-2) mm
Peso	53+-2 kg

Fuente: aliexpress, 2019

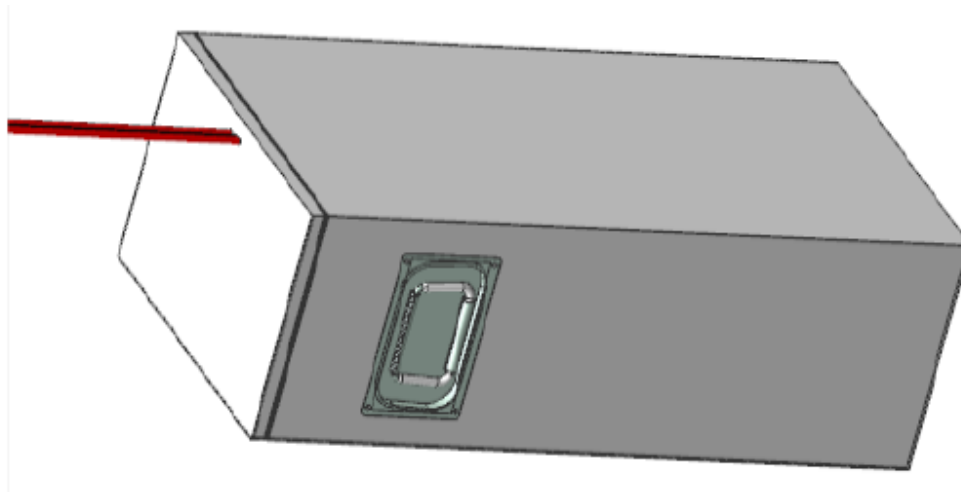


Figura 41. Características de la batería seleccionada.
Fuente: (aliexpress, 2019)

Necesidades del Usuario y requerimientos de diseño.

Para poder identificar los requerimientos de diseño de la presente moto eléctrica, se utilizó una investigación realizada en la ciudad de San Juan de Pasto para la construcción de motos eléctricas por su similitud y cercanía a nuestro país Ecuador. En este artículo científico realizado por Luis Arteaga (Arteaga et al., 2014), se realizaron 100 encuestas a personas que utilizan motos todo el tiempo para su trabajo. A continuación, se presenta una tabla con las necesidades del usuario:

Tabla 4.
Tabla con las necesidades del usuario.

Aspectos Técnicos
La motocicleta tiene que ser de fácil manejo y operación. Los comandos deben parecerse a los de una motocicleta a combustión interna.

El mantenimiento de la moto debe ser fácil y económico. Se plantea diseñar un fácil ensamblaje y desmontaje de las partes que requieran mantenimiento y reparación.

Se recomienda realizar un manual de mantenimiento en el cual se especifique las actividades de mantenimiento preventivo a realizarse por el usuario y las actividades que requieran de servicio técnico especializado.

La autonomía de la moto debe ser la suficiente para poder desplazarse por la ciudad una jornada de trabajo de 8 horas diarias. Se supone un recorrido mínimo de 100 km.

Eficiencia energética y bajo peso. Se utiliza un motor sin escobillas de 17 pulgadas de diámetro, una potencia de 8000W, un torque máximo de 290 N.m y un peso de 25 kg. Este no requiere mayor tiempo de mantenimiento, no emite ruido, calor o emisiones contaminantes.

Aspectos Funcionales

Debe poder utilizarse en la zona urbana. Puede ser utilizado por 2 personas cuyo peso máximo sea de 70 kg cada una. Esto debido a que se utilizará la moto para turismo por la ciudad.

Las baterías se deben poder cargar en cualquier hogar con un sistema de cargador, conectado al tomacorriente de 110 V.A.C.

Presupuesto

Su precio de venta al público debería estar entre 3.500\$ a 4.500\$.

Parámetros de diseño.

A continuación, en la siguiente tabla se detalla los parámetros esenciales de diseño seleccionados en el presente proyecto:

Tabla 5.
Parámetros esenciales de diseño

Parámetro	Característica
Velocidad máxima requerida del vehículo	100 km/h
Tipo de vehículo	Liviano
Autonomía de carga de batería	80 km
Postura del conductor	Cómoda tipo moto de turismo
Costo máximo	4000\$
Peso máximo	300 kg

Cada uno de los parámetros antes mencionados fue escogido después de analizar el tipo de motor que se dispone y la funcionalidad que se requiere para la moto eléctrica que se fabricará para la universidad internacional SEK.

Cálculos aplicables al chasis de la moto eléctrica

Una vez que se haya seleccionado los materiales a utilizar, los componentes principales de la moto y los parámetros de diseño, se procede a realizar algunos cálculos necesarios para el diseño del chasis de la moto. Debido al tamaño de la batería y el controlador electrónico, además de que no existe en el mercado nacional una moto similar a que se pretende diseño, es necesario realizar desde cero el diseño de chasis. El motor hub de la rueda trasera junto con el controlador electrónico realizan la relación de torque y velocidad. La siguiente table muestra los cálculos planteados para el diseño y análisis estructural del chasis:

Tabla 6.
cálculos planteados para el diseño y análisis estructural del chasis

Sistema	Cálculos por realizar
Chasis	Centro de gravedad
	Fuerzas que intervienen en la conducción
	Factor de seguridad
	Cálculos estructurales

Determinación de la carga muerta.

La carga muerta consta del peso propio de la estructura chasis-basculante y todos los componentes de la moto. El peso del chasis y basculante se puede cuantificar con el software de diseño asistido por computador Inventor, ya que todavía no se cuenta con el chasis construido. A continuación, se muestra una imagen del peso obtenido de Inventor del chasis diseñado y del basculante. Se representa este valor con las siglas CM.

Peso del chasis.



Figura 42. Peso del Chasis.

Peso del Basculante

The screenshot shows the 'iProperties de Basculante.ipt' window with the 'Propiedades físicas' tab selected. The 'Sólidos' section has 'La pieza' selected. The 'Material' is 'Acero, carbono'. The 'Densidad' is '7,850 g/cm^3' and 'Precisión solicitada' is 'Baja'. The 'Propiedades generales' section displays the following values:

Centro de gravedad	
Masa	5,276 kg (Error relativ)
Área	607316,810 mm^2 (E)
Volumen	672101,462 mm^3 (E)
X	68,632 mm (Error rel)
Y	-0,890 mm (Error rel)
Z	0,248 mm (Error rel)

*Figura 43. Peso del basculante.****Peso propio total***

En la tabla 7 se detalla el peso aproximado de los componentes que constituyen la moto eléctrica.

Tabla 7.

El peso aproximado de los componentes que constituyen la moto eléctrica.

Cantidad	Denominación	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)
1	Motor Hub	25	25
1	Bateria	55	55
1	Controlador Electrónico	6	6
1	Chasis	12,3	12,3
1	Basculante	5,3	5,3
2	Llantas delanteras	12	24
3	Suspensión	5	15
1	Sistema eléctrico	5	2
1	Sistema de dirección	10	10
1	Varios	25	25
	Total		179,6 kg

Determinación carga viva.

La carga por trasladar se establece con el peso de dos personas de 70Kg. Se considera un 20% más del valor de la sobre carga.

$$CV = CT + SC$$

Ec 16

Datos.

CT= Carga a transportar

SC= Sobrecarga

CV= Carga viva

$$CV = 70 \text{ (Kg)} + 0.2 * 70 \text{ (Kg)}$$

$$CV = 84 \text{ (Kg)}$$

Carga de viento.

La resistencia de viento para vehículos se determina mediante:

$$Ra = \frac{1}{2} * Cx * \rho * Af * V^2$$

Ec 17

Datos.

Ra= Resistencia Aerodinámica (N)

ρ = Densidad del aire (Kg/m³)

V = Velocidad (m/s)

Af = Superficie frontal del vehículo (m²)

C_x = Coeficiente aerodinámico del vehículo

Valores

$C_x = 0.4$ (Tomado del libro (Luque, 2004))

$\rho = 1.059 \text{ kg/m}^3$

$V = 90 \text{ (km/h)} = 25 \text{ (m/s)}$

Alto de la moto = 1,1 m

Ancho de la moto = 260 mm. $\rightarrow 0.26 \text{ m}$

$A_f = 1.1 \times 0.26 \text{ (m}^2\text{)} = 0.286 \text{ (m}^2\text{)}$

La moto no posee de un recubrimiento en la parte frontal por lo que se utiliza un 30 % de esta área.

$A_f = 0.3 * A_f$

$A_f = 0.3 * (0.286 \text{ m}^2) = 0.0858 \text{ m}^2$

Remplazando los datos en la ecuación:

$$R_a = \frac{1}{2} * C_x * \rho * A_f * V^2$$

Ec 18

$$R_a = \frac{1}{2} * (0.4) * \left(1.059 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * (0.0858 \text{ m}^2) * (25)^2$$

$R_a = C_f = 11.35 \text{ kg.}$

Carga de diseño.

Por último, se obtiene la carga de diseño (C_d)

$$c_d = C_M + C_V + C_f$$

$$cd = 179.6kg + 84kg + 14.02 kg$$

$$cd = 277.62 \rightarrow 278 kg \rightarrow 2724.4 N$$

Reacciones sobre las ruedas del vehículo.

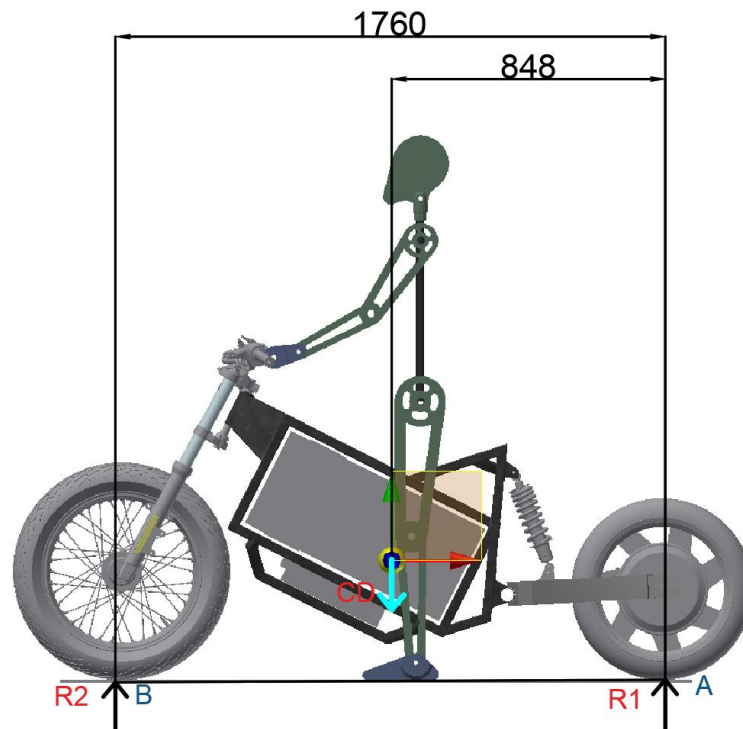


Figura 44. Diagrama de cuerpo libre de las reacciones en las ruedas.

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_1 + R_2 = cd$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$Cd(0.848m) - R_2(1.76 m) = 0$$

$$(278 kg) \cdot (0.848 m) - R_2(1.76 m) = 0$$

$$R_2 = 133,9 kg$$

$$R_1 = cd - R_2$$

$$R_1 = 278 kg - 133.9 kg = 144.1 kg$$

Peso transferido a porcentajes, parte delantera será 48% y la parte posterior 52%

Fuerza motriz.

Es importante determinar la fuerza a vencer para poder calcular la potencia mínima requerida por el motor, utilizando la segunda ley de newton.

1. Aceleración del vehículo

$$\mathbf{V = V_o + a * t}$$

Ec 20

Datos.

$$V_o = 0 \left(\frac{km}{h} \right) = 0 \left(\frac{m}{s} \right);$$

$$V = 90 \left(\frac{km}{h} \right) = 25 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$t = 10 \text{ (s)}$ (Tiempo necesario para llegar a los 90 km/h según (Biggar, 2019))

$$a = \frac{v}{t}$$

$$a = \frac{25 \frac{m}{s}}{10 s} = 2.5 \frac{m}{s^2}$$

2. Peso

$$\mathbf{We = m * g}$$

Ec 21

3. Fuerza motriz para la potencia en un plano sin inclinación

Datos.

$m_1 = 144.1 \text{ kg}$; $We_1 = 1441 \text{ N}$

$m_2 = 133.9 \text{ kg}$; $We_2 = 1339 \text{ N}$

$M_t = 278 \text{ kg}$

$a = 2.5 \text{ m/s}^2$

$0.7 = u$ para elementos rozamiento neumáticos en asfalto seco (Tabla 7.4 Prontuario)

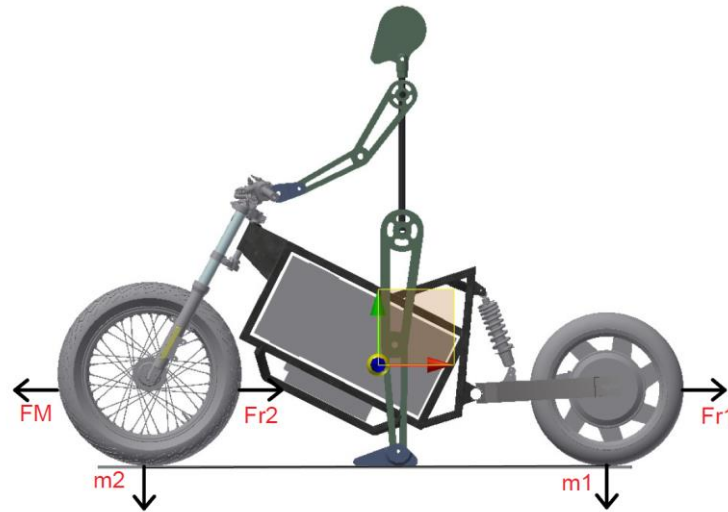


Figura 45. Diagrama de cuerpo libre de la fuerza motriz sin inclinación.

$$\Sigma F = m * a$$

$$\Sigma F_x = m * a \text{ (N)}$$

$$FM - Fr_1 - Fr_2 = m * a$$

$$FM = F_1 + Fr_2 + m * a$$

$$FM = (1441 \text{ N})(0.7) + (1339 \text{ N})(0.7) + 278 \text{ kg} * 2.5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$FM = 2718.28 \text{ (N)}$$

4. Fuerza motriz para la potencia en un plano con inclinación máxima 45°

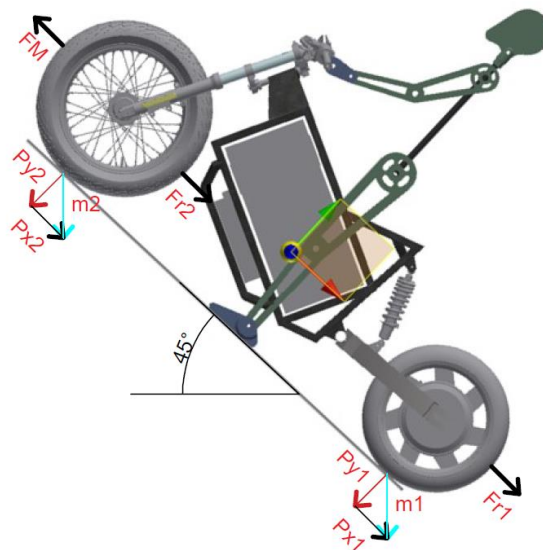


Figura 46. Diagrama de cuerpo libre de la fuerza motriz con inclinación de 45°.

$$Py_1 = \cos 45^\circ * We_1$$

$$Py_1 = \cos 45^\circ * 1441 \text{ (N)} = 1018.9 \text{ (N)}$$

$$Px_1 = \sin 45^\circ * We_1$$

$$Px_1 = \sin 45^\circ * 1441 \text{ (N)} = 1018.9 \text{ (N)}$$

$$Py_2 = \cos 45^\circ * We_2$$

$$Py_2 = \cos 45^\circ * (1339 \text{ N}) = 946.8 \text{ (N)}$$

$$Px_2 = \sin 45^\circ * We_2$$

$$Px_2 = \sin 45^\circ * (1339 \text{ N}) = 946.8 \text{ (N)}$$

$$\Sigma F = m * a$$

$$FM_1 - Fr_1 - Fr_2 - Px_1 - Px_2 = m * a$$

$$FM_1 = Fr_1 + Fr_2 + m * a + Px_1 + Px_2$$

$$FM_1 = Py_1 * \mu + py_2 * \mu + m * a + px_1 + px_2$$

$$FM_1 = (1018.9N)(0.7) + (946.8N)(0.7) + 278kg * 2.5 \frac{m}{s^2} + (1018.9N) + (946.8N)$$

$$FM_1 = 4036.7 \text{ N (En plano inclinado)}$$

La fuerza FM_1 es la fuerza máxima que requiere la moto para alcanzar una velocidad de 90km/h en un tiempo de 10s partiendo del reposo.

Potencia de motor.

$$H = Q * V$$

Ec 22

Datos.

$$R = 0.287 \text{ (m) Rueda R17 } \phi 0.574 \text{ (m)}$$

$$V = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 27.7777 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

Carga sin inclinación

$$FM = 3586.5988 \text{ (N)} \rightarrow 365.60 \text{ kg}$$

Carga con inclinación

$$FM_1 = 5314.8163 \text{ N} \rightarrow 541.77 \text{ kg}$$

Cálculos:

a) Torque. En un plano sin inclinación

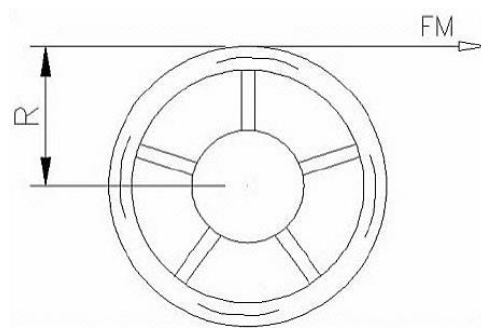


Figura 47. Diagrama de cuerpo libre sobre la rueda.

$$T = FM * R$$

$$T = (3586.5988 \text{ N})(0.287 \text{ m})$$

$$T = 1029.3538 \text{ (N * m)}$$

b) Torque max. En un plano con inclinación máxima 45°.

$$T_{\text{max}} = FM_1 * R$$

$$T_{\text{max}} = (5314.8163 \text{ N})(0.287 \text{ m})$$

$$T_{\max} = 1525.3522 \text{ (N * m)}$$

c) Potencia teórica del motor (W) En un plano sin inclinación.

$$H = Q * V$$

Ec 23

$$H = (365.60 \text{ kg}) (13.888 \text{ m/s})$$

$$H = 5077.4528 \text{ Watts}$$

d) Potencia teórica del motor (W) En un plano con inclinación máxima 45°.

$$H = (541.7753) (8.3333 \text{ m/s})$$

$$H = 4514.794167 \text{ Watts}$$

e) Potencia real del motor (W)

$$H_r = \frac{H}{\eta}$$

Potencia teórica η = eficiencia motora. (0.84)

Tabla 8.
Resultado del presente estudio.

	Plano sin inclinación	Plano con inclinación de 45°
Fuerza (N)	4087.13 (N)	5314.8163 (N)
Potencia (W) Teórica	5077.4528 Watts	4514.794167 Watts
Potencia (W) Real	6044.58 Watts	5374.75 Watts
eficiencia 84 %		

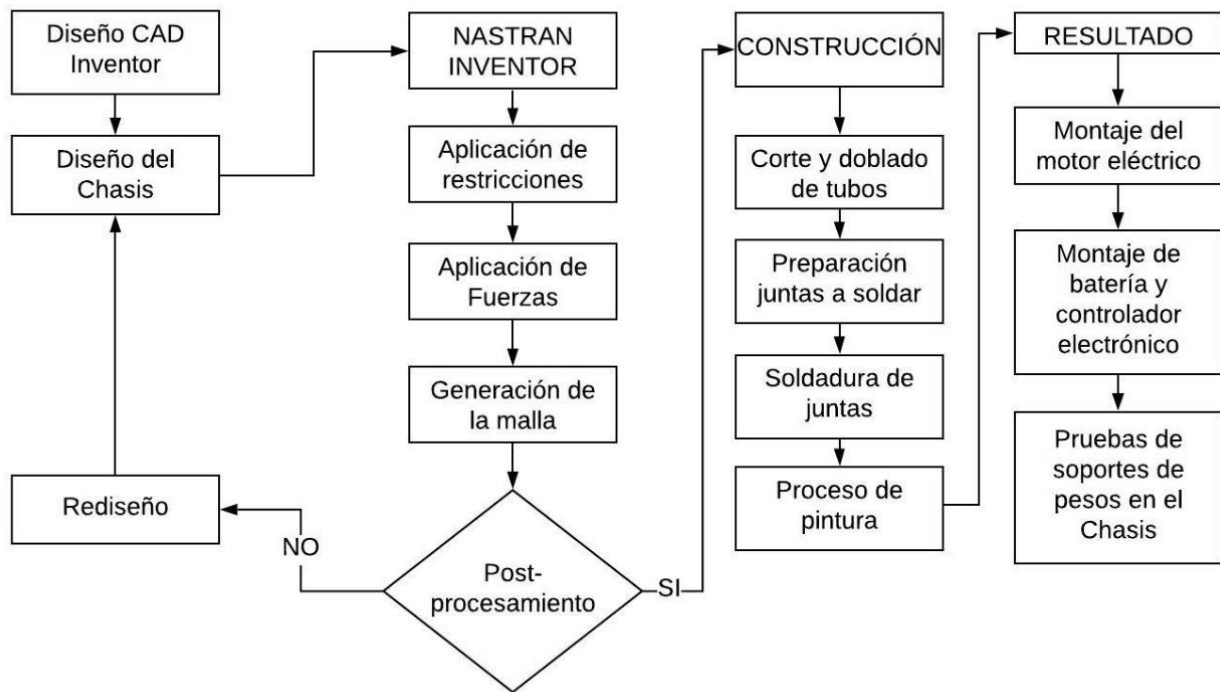
Diseño preliminar de la moto del presente proyecto

Figura 48. Metodología de diseño, simulación y construcción del chasis.

Diseño del Basculante.

El basculante constituye una de las piezas principales de una motocicleta, ya que las fuerzas de arranque e impulso del motor se transmiten directamente a este. Por este motivo, la geometría y resistencia mecánica definen la funcionalidad de la moto. Esta pieza es la que une el chasis con la suspensión trasera y la rueda motriz. En el presente proyecto, el objetivo es diseñar y fabricar un basculante que permita el montaje y desmontaje del motor hub GS, además de que sea económicamente factible. El diseño del basculante es una de las tareas fundamentales al diseñar una moto (SanRoman, 2018).

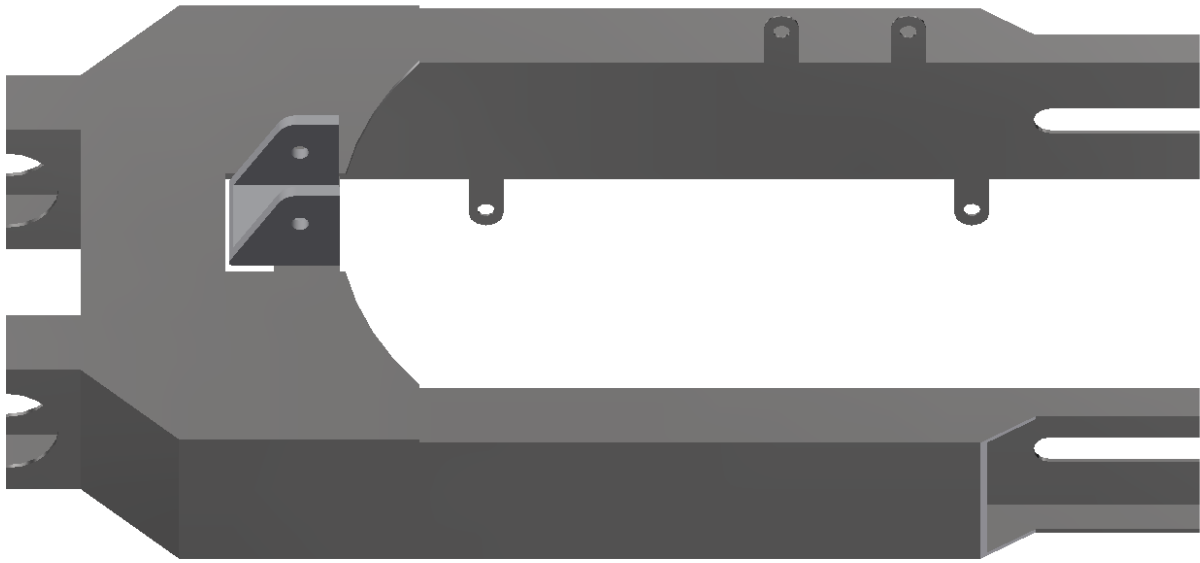


Figura 49. Diseño virtual del basculante

Cargas.

El basculante está sujeto a dos tipos de esfuerzos: uno de flexión o momento flector y el otro de torsión generado por las fuerzas perpendiculares a la rueda que se producen cuando la motocicleta está tomando la curva. El siguiente esquema muestra las cargas aplicadas al basculante:

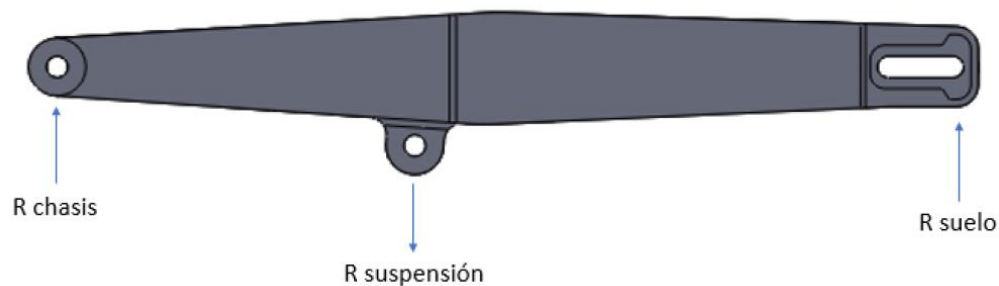


Figura 50. Cargas aplicadas al basculante

Fuente: (SanRoman, 2018).

Proceso de diseño del chasis.

Luego de que se ha definido los componentes principales y sus dimensiones, se procede a realizar el boceto del chasis el cual consta de varios bocetos en dos dimensiones y un boceto en tres dimensiones para las partes más complejas. Este proceso de diseño por bocetos 2D permite una modificación de dimensiones flexible y dinámica. A continuación, se presenta la vista isométrica del chasis final.



Figura 51. Vista isométrica del boceto de Chasis final.

El presente chasis tiene una forma bastante recta y cuadrada debido a la forma y tamaño de la batería, la cual es el componente que más espacio ocupa en toda la moto. En la parte superior se colocará el controlador electrónico, mismo que está cubierto por tubo doblados, en la posición donde se colocaría el tanque de combustible de una moto con motor de combustión. Las siguientes imágenes muestran algunas dimensiones del chasis para referencia.

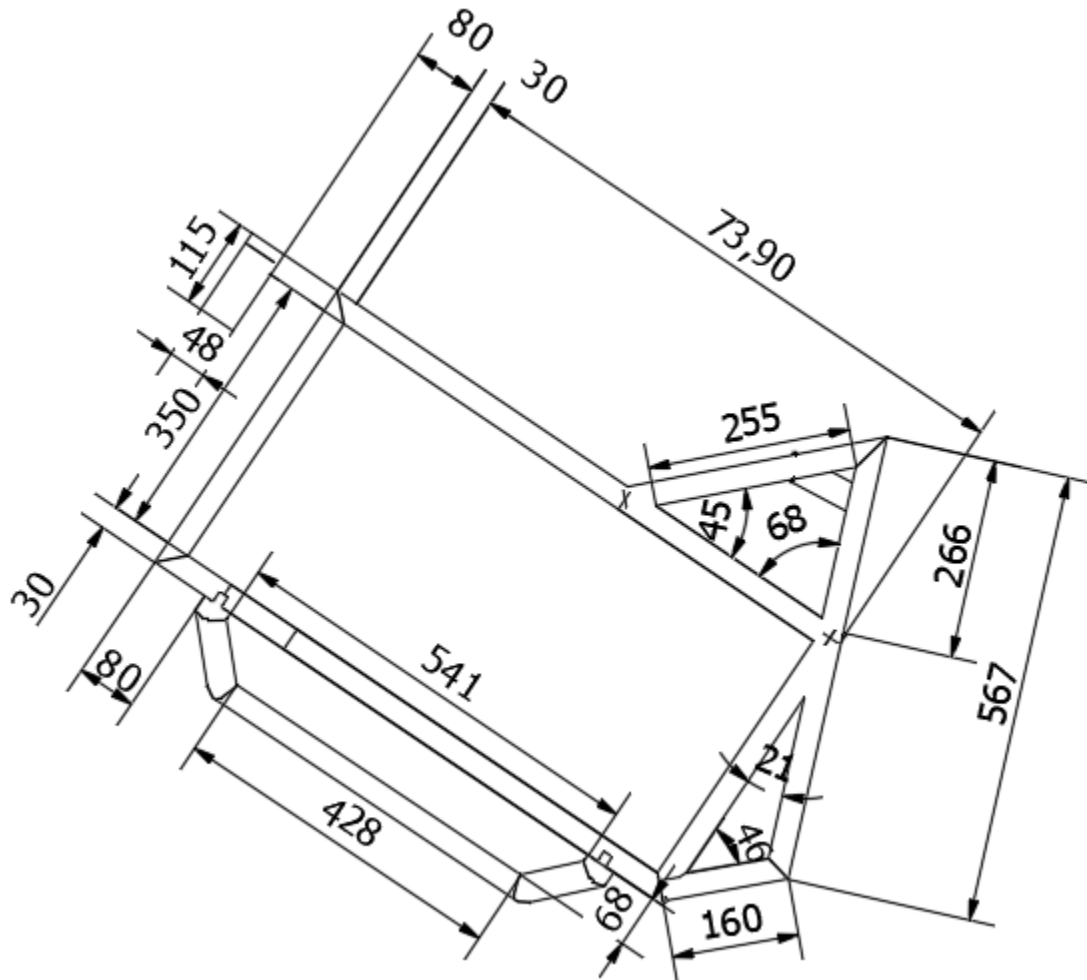


Figura 52. Vista lateral del boceto de Chasis final.

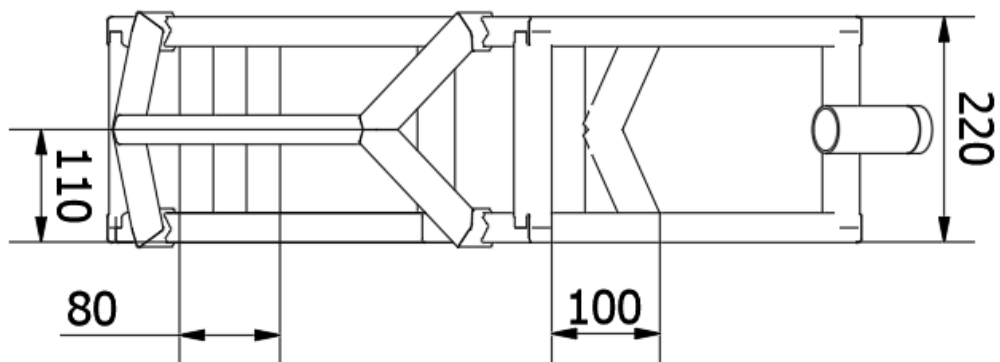


Figura 53. Vista superior del boceto de Chasis final.

Una vez que se ha acabado de diseñar el boceto del chasis, el siguiente paso es insertar tubos circulares en toda la estructura. Para esto se crea un nuevo archivo de ensamble y se inserta el boceto de chasis en el área de trabajo. Luego se escoge la opción “Insertar Estructura” y se selecciona el tipo de tubería que se va a utilizar en el chasis. Esta puede ser en norma ANSI, ISO, DIN, UNI, entre otras. Después se escoge la familia a la que pertenece este tipo de viga o tubo y finalmente el tamaño en diámetro y espesor como se muestra en la siguiente figura.

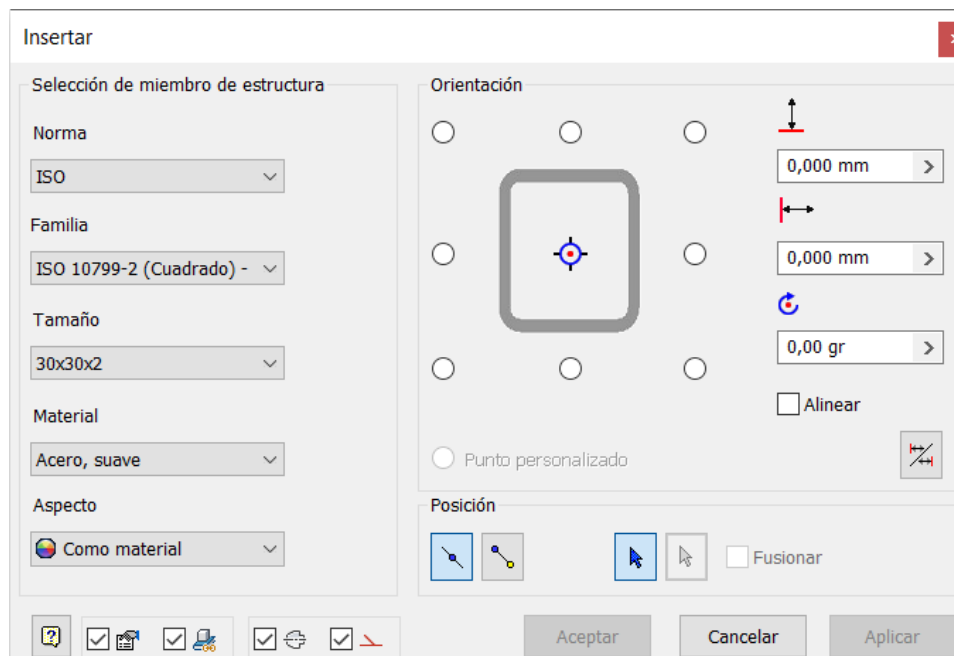


Figura 54. Proceso para insertar tubo cuadrado en el boceto de chasis.

Se puede seleccionar la figura completa dentro del área de trabajo o por partes si se desea que ciertas áreas tengan una tubería más robusta donde se ejerza mayor fuerza y en otras áreas una tubería más delgada donde no se requiera mayor esfuerzo mecánico como se indica en la figura a continuación.

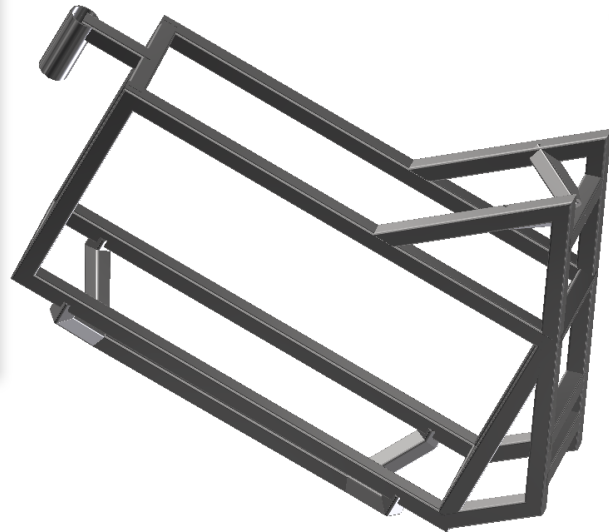
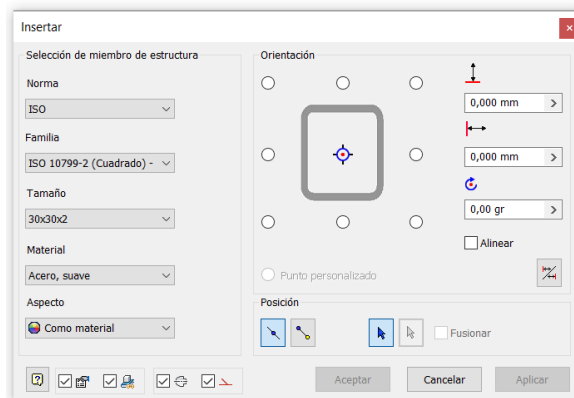


Figura 55. Chasis con tubos insertados.

Finalmente se muestra a continuación el chasis finalizado con los tubos seleccionados.

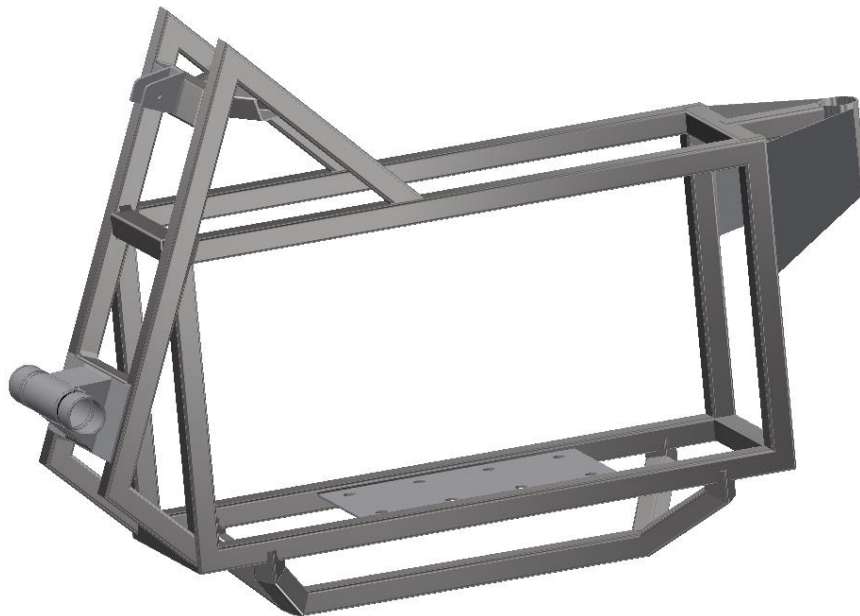


Figura 56. Vista isométrica del Chasis ensamblado.

Representación de soldaduras en Inventor.

El tamaño de la costura de soldadura afecta directamente el tamaño de la deformación de la soldadura, si el tamaño de la soldadura es grande, la carga de trabajo de soldadura será grande y la deformación de la soldadura también será grande. Si el espacio de contacto entre las piezas es diferente con diferentes espacios de contacto, la cantidad de soldadura y la distorsión de la soldadura también son diferentes. (Xing, 2015)

La siguiente figura muestra una junta en T soldada virtualmente entre dos tubos del chasis, de los cuales 1 es una viga horizontal inferior y otro es una columna. Se utilizó soldaduras de ranura, las cuales se adaptan perfectamente a la geometría del tubo a soldar.

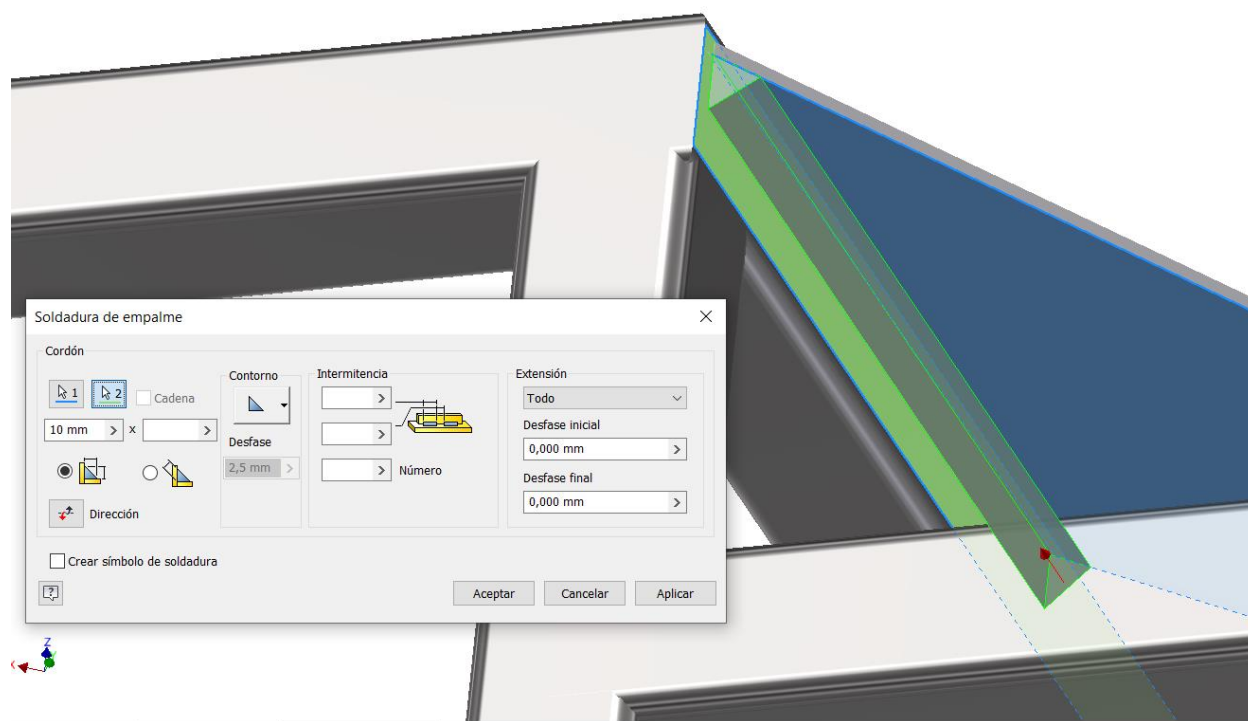


Figura 57. Soldadura de la placa de refuerzo del tubo de dirección con el chasis.

Se observa en la siguiente figura que el software realiza automáticamente el corte de la tubería a soldar de acuerdo con la geometría de la otra tubería que recibe al tubo. Es de suma importancia realizar estas juntas soldadas en todas las uniones que se tiene en el chasis para que resistan al análisis de esfuerzos y vibraciones que se realizará posteriormente.

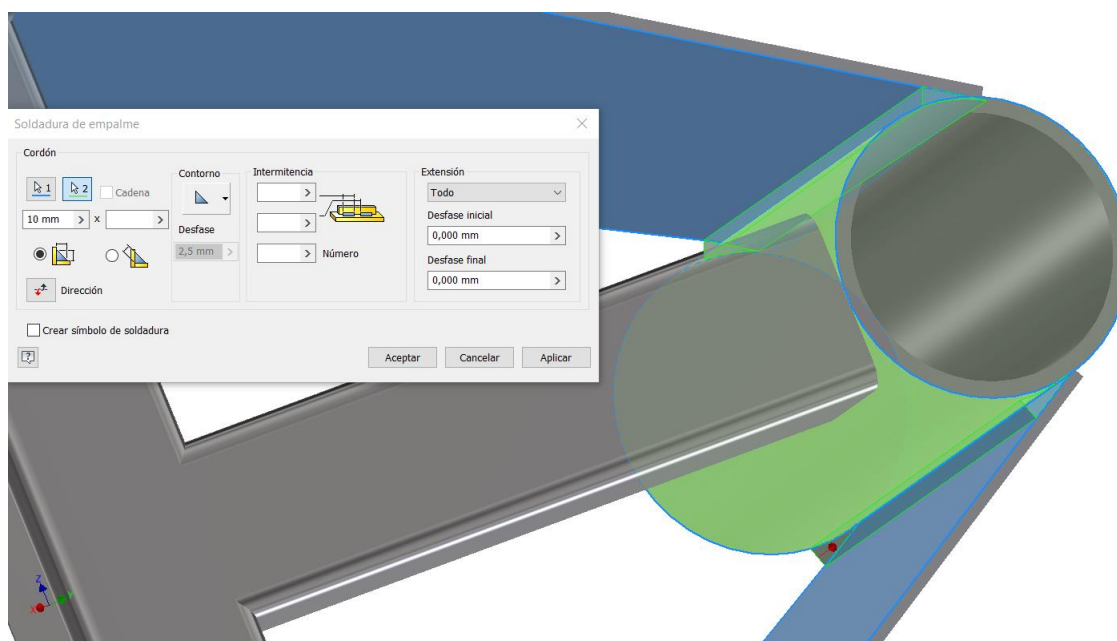


Figura 58. Soldadura de la placa de refuerzo con el tubo de dirección.

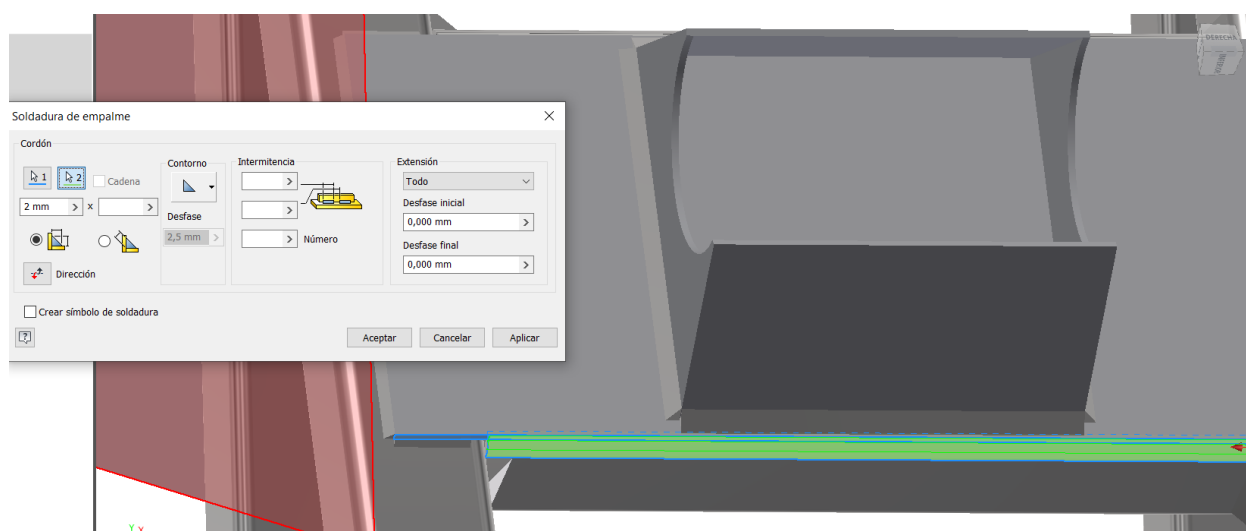


Figura 59. Soldadura de la placa de refuerzo de la base del eje basculante.

Procedimiento global de fabricación del chasis.

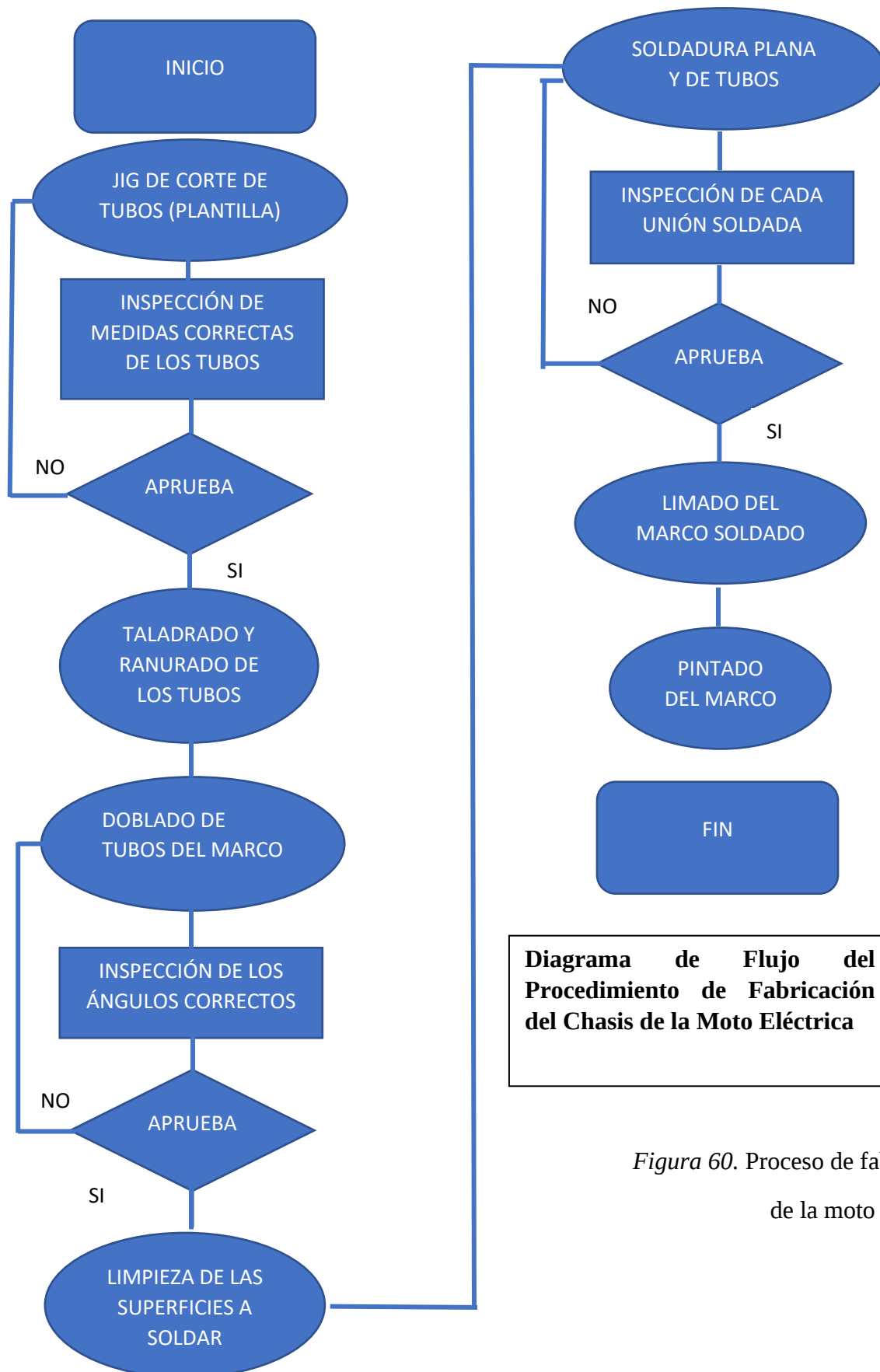


Diagrama de Flujo del Procedimiento de Fabricación del Chasis de la Moto Eléctrica

Figura 60. Proceso de fabricación de la moto eléctrica.

Procedimiento.

Utilización de un Jig de Corte de tubos (Plantilla).



Figura 61. Ejemplo de un Jig para corte de los tubos del chasis
Fuente: (Migwelding, 2016)

Una plantilla de marco es una de las herramientas de construcción de marcos más útiles se utilizan. Una plantilla de para el marco de su picadora es lo que mantiene el tubo ligeramente en su lugar, en los ángulos correctos, mientras lo suelda.

Inspección de medidas correctas de los tubos.

Se va verificando que las dimensiones de los tubos cortados están dentro del rango de tolerancia especificado en los planos de taller de cada miembro del chasis.

Realización de ranuras o taladros a los tubos.



Figura 62. Jig para taladrar los tubos y hacer ranuras
Fuente: (Our warehouse, 2015)

Por medio de equipos especiales de sujeción de los tubos y taladros de columna se va realizando los respectivos agujeros según las especificaciones de los planos de taller.

Doblado de tubos del marco según dimensiones.



Figura 63. Máquina dobladora de tubos
Fuente: (G, 2019)

Es posible doblar la tubería a mano si la tubería es larga y no le importa demasiado la forma exacta. Todo lo que necesitas es algo para acuñar la tubería. Sin embargo, está buscando algo con mucha más precisión que funcione en tuberías ya cortadas. Debe ser algo específicamente diseñado para doblarse como tubos, no algo que doble las tuberías.

Inspección de los ángulos correctos y alineación.

Se va verificando que las dimensiones de los tubos cortados están dentro del rango de tolerancia especificado en los planos de taller de cada miembro del chasis.

La clave es construirlo antes de soldar. Verifique las medidas: asegúrese de que el tubo encaja, asegúrese de que el motor y la transmisión encajen, etc. Ahora aquí hay una secuencia de construcción de cuadros.

Los tubos descendentes medidos y doblados se pueden colocar en la plantilla: asegúrese de que ahora estén en el mismo ángulo para obtener un marco terminado perfectamente cuadrado. Marque con un lápiz dónde debe estar la muesca. Después de hacer muescas, verifique nuevamente antes del rectificado final o del acabado manual.



Figura 64. Alineación y ensamblaje de tubo en el marco
Fuente: (Tyler, 2019)

Limpieza a fondo de los tubos antes de soldar.

Existen 2 tipos de limpiezas del material base a ser soldado:

1) Limpieza química

La eficiencia de la limpieza química es alta y la calidad es estable. Es adecuado para la limpieza del alambre de soldadura, la pieza de trabajo de tamaño pequeño y la producción por lotes. Se pueden utilizar dos tipos de métodos de limpieza y lavado por inmersión. Deshielo utilizando los disolventes orgánicos, como acetona, gasolina, queroseno.



Figura 65. Limpieza química de las juntas a soldar y de las juntas soldadas
Fuente: (Erco, 2019)

2) Limpieza mecánica

La limpieza mecánica se utiliza a menudo cuando el tamaño de la pieza de trabajo es grande, el período de producción es largo y la contaminación se produce después de la soldadura de múltiples capas o la limpieza química. Primero use acetona, gasolina y otros solventes orgánicos para limpiar la superficie para eliminar el aceite, luego use directamente un cepillo de alambre de cobre con un diámetro de 0.15 mm a 0.2 mm o un cepillo de acero inoxidable para revelar el brillo metálico.

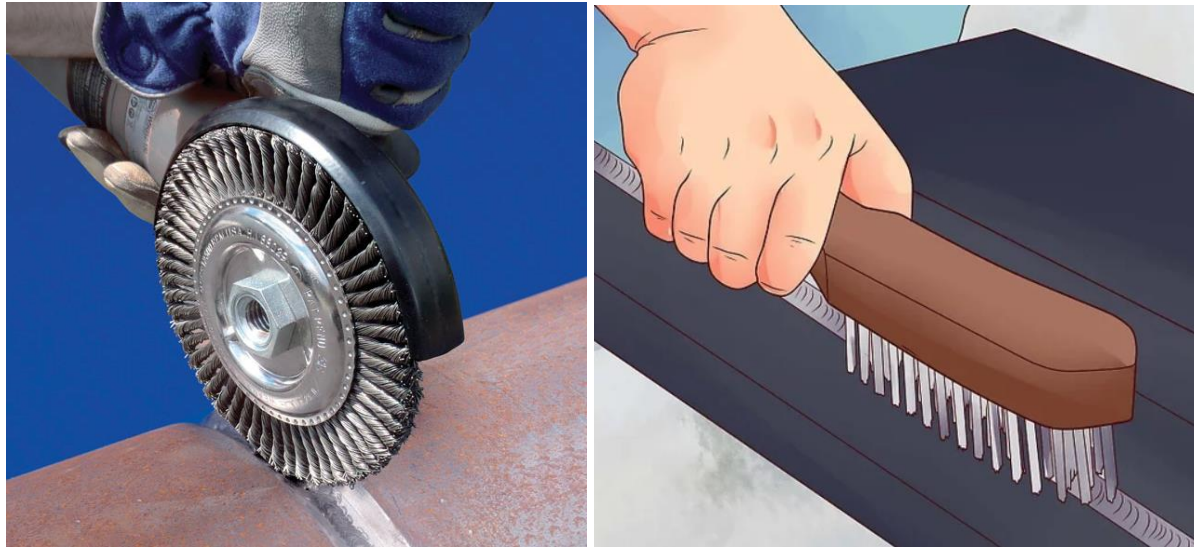


Figura 66. Limpieza mecánica de juntas a soldar y de las juntas soldadas
Fuente: (Thompson, 2018).

Soldadura plana y de tubos en plantilla del marco.

La preparación del marco y la soldadura es vital. Las piezas por soldar deben encajar suavemente antes de soldarse. Tenga en cuenta que hay contracción durante la soldadura (está derritiendo y rehaciendo el metal), así que permita una pequeña cantidad adicional.

Al soldar, emplee un patrón tal como lo haría al montar una rueda de automóvil, apretando las tuercas alternativas. Suelde con tachuelas todo el cuadro en su lugar, luego, cuando esté satisfecho, comience con un cuarto de soldadura en cualquier junta en particular, luego cambie a la junta correspondiente en el lado opuesto de la bicicleta y haga el cuarto correspondiente.

El objetivo es equilibrar la soldadura a medida que avanza para minimizar cualquier giro o movimiento del marco. Esto se puede hacer dentro o fuera de la plantilla, según el tipo de plantilla y su preferencia personal.



Figura 67. Soldadura TIG de los tubos en el Chasis
Fuente: (Tyler, 2019).

Inspección de cada unión soldada y alineación del marco.

Por medio de una hoja de inspección, el supervisor va verificando que las soldaduras de los tubos por medio de inspección visual y midiendo la altura del cordón en diferentes zonas para que cada soldadura esté dentro del rango de tolerancia especificado en los WPS.

Welding Procedure Specification (WPS)

Welding Procedure No: Superduplex TIG/GTAW

Consumables		Base Material	
Welding process (root):	TIG / GTAW	Parent Material:	Superduplex. (UNS S32750 & S32760).
- Consumable:	Zeron 100X		ASME IX: P or S number (QW422) =
- Specification:	BS EN 12072: W 25 9 4 N L		10H group 1.
Welding process (fill):	TIG / GTAW	Thickness:	18.26mm (Schedule 160)
- Consumable:	Zeron 100X	Outside Diameter:	6 inch NB
- Specification:	BS EN 12072: W 25 9 4 N L		
Joint Details		Joint Position	
Joint Type:	Single side butt	Welding Position:	ASME 6G
Manual/Mechanised:	Manual		
Joint Sketch		Welding Sequences	
		Split layers (2 beads per layer) from runs 4/5 onwards.	

Figura 68. Especificación del proceso de soldadura WPS
Fuente: (Learning, 2015)

Limado del marco soldado.

Se procede a limar todas las superficies que han sido soldadas para eliminar rebabas o salpicaduras propias del proceso de soldadura y así eliminar concentradores de esfuerzos.

Pintado del chasis.

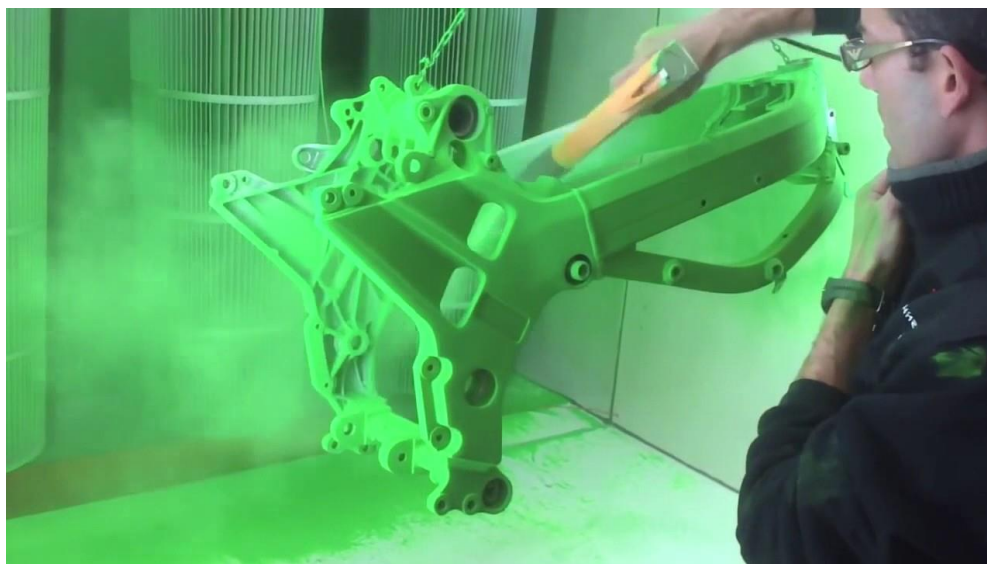


Figura 69. Pintado manual del chasis de una motocicleta
Fuente: (Melano, 2017).

Pintar el chasis de una moto como de un auto ya no es un proceso manual como puede serlo en un taller de chapa y pintura donde se hace una reparación en alguna zona concreta. Hoy en día son los robots los encargados de pintar el coche. Incluso una icónica marca como Aston Martin, ha dejado de pintar sus coches a mano hace algún tiempo.

En el caso de SEAT, en su cadena de producción la misión de pintar el coche la llevan a cabo 84 robots. Los robots emplean 6 horas para pintar un coche. Gracias a eso, son capaces de pintar en la cadena 2.400 coches en un día, para lo que utilizan 5.000 litros de pintura (certifiedfirst, 2018).



Figura 70. Pintado por medio de robots del chasis de un auto
Fuente: (Seat, 2018)

Soldadura del chasis

Definición de los parámetros

En la siguiente sección se explica detalladamente los parámetros involucrados en el proceso de soldadura del chasis para el desarrollo del presente proyecto. La selección se basa en el cumplimiento de los objetivos principales y criterios técnicos basándose en la norma AWS D1.1.

En el anexo 1 se encuentra los WPS utilizados para el proceso de soldadura del chasis en el cual se especifica todos los parámetros y dimensiones principales.

Material Base

Se utilizará el material ASTM A36, el cual es uno de los aceros más utilizados y comerciales en el Ecuador para proyectos que no requieran de un material de alta resistencia. Es

un acero ferrítico-perlítico de bajo contenido de carbono que presenta una buena soldabilidad, lo cual facilita la realización del proyecto, además de ser asequible y de bajo costo.

A continuación, se indican dos tablas una con la composición y otra con las propiedades del Acero A36 tomadas de la norma ASTM A36.

Tabla 9.
Composición del Acero ASTM A36.

Material	Carbono %	Manganesio %	Fosforo %	Azufre %	Silicio %	Cobre %
ASTM A36	0,26	0,65-1,2	0,04	0,05	0,4	0,2

Fuente: (ASTM, 2019)

Tabla 10.
Propiedades del Acero ASTM A36.

Material	Resistencia tracción MPa	Resistencia Fluencia MPa	Alargamiento % en 50mm
ASTM A36	400-550	250	23%

Fuente: (ASTM, 2019)

Material de Aporte

Para el proceso de soldadura de las probetas se utilizará el alambre electrodo AWS ER70S-6 de diámetro 1.2mm, el cual es muy utilizado en la industria ecuatoriana y presenta alta tasa de deposición. Es un electrodo continuo de material acero de bajo carbono con revestimiento de una delgada capa de cobre. Presenta una buena soldabilidad cuando se utiliza mezclas de CO₂ o Ar/CO₂ como gas de protección.

Tabla de la Composición química típica del alambre ER70S-6 tomado del catálogo de Indura.

Tabla 11.

Propiedades del Acero ASTM A36.

	INDURA	Especificación AWS
Carbón	0,09%	0,06/0,15
Manganeso	1,45%	1,40/1,85
Silicio	0,95%	0,80/1,15
Fósforo	<0,02%	0,025 máx.
Azufre	<0,02%	0,035 máx.

Fuente: (Indura, 2015)

Propiedades del material de aporte

A continuación, se muestra dos tablas con las propiedades del material de aporte para soldadura MIG ER70S-6 utilizado en el presente proyecto.

Tabla 12.

Propiedades del metal de aporte ER70S-6.

	Medida	Alambre gas aplicado 100% CO2	Alambre gas aplicado 75% Ar 25% CO2	Alambre gas aplicado 80% Ar 20% CO2	Especif. AWS gas aplicado 100% CO2
Resist. tracción	MPa	520	535	530	480
Resist. Fluencia	MPa	440	450	450	400
Alargamiento	% en 50mm	28%	31%	32,8%	22% min

Fuente: (Indura, 2015)

Tabla 13.

Parámetros recomendados por el fabricante del electrodo.

Diámetro (mm)	Entrega de material (mm)	Corriente (Amps)	Voltaje (Volts)	Velocidad alambre (m/min)	Flujo gas (l/min)
0,8	0,6	30-50	16-17	1,3-1,8	8-10
	0,8	35-60	16-17,5	1,3-2,0	8-11
	0,9	40-70	17-18	1,5-3,0	9-11
0,9	1,3	70-90	18-19	3,0-3,6	10-12
	1,6	80-110	19-20	3,3-3,8	11-13
	2,0	120-130	20-21	3,6-4,1	11-14

Fuente: (Indura, 2015)

Gases de protección

Los gases de protección que se utilizarán en el presente proyecto son el Argón, el Dióxido de carbono y la mezcla de ambos en un solo cilindro. Estos han sido seleccionados por su alta aplicación en el proceso GMAW y su amplia comercialización en el Ecuador. Los dos gases por separado proporcionan características específicas en la apariencia y el proceso de conformación del cordón de soldadura.



Figura 71. Cilindro de la mezcla de gas de protección Argón-Dióxido de carbono.

Preparación de la superficie a soldar

Para las probetas que se utilizarán en las juntas en filete es necesario realizar el siguiente proceso:

- Limado de la superficie de la probeta vertical en contacto con la superficie horizontal.
- Rectificado de la superficie a soldar en la probeta vertical.
- Rectificado de la superficie horizontal.

Resultados

Resultado Método CRITIC

Para iniciar el análisis con el método CRITIC se identifica los criterios, tabla, que serán analizados y así posterior al análisis se obtiene el peso de cada criterio analizado.

Tabla 14.
Información inicial.

Denominación	Material	Módulo Elástico (N/mm ²)	Módulo de Poisson	Costos (USD) /1m	Densidad (kg/m ³)	Esfuerzo de (N/mm ²) tracción	Esfuerzo a la fluencia (N/mm ²)
1	AISI 1020	200000	0.33	3.15	7900	420.51	351.57
2	Aluminio 6063-T6	69000	0.32	3.62	2700	240	215
3	Acero AISI 4340	205000	0.32	4.25	7850	1110	710
4	Acero Inoxidable 304	187500	0.30	3.83	8000	415	690
5	Acero A 36	200000	0.26	2.60	7850	475	250
6	Acero AISI 4130	200000	0.28	4.18	7833	460	434

La tabla 14 se muestra una ordenación y ponderación en función de todos los criterios establecidos. Por ende, se determina el valor máximo, mínimo y rango para cada criterio y estos valores se presentan en la tabla 15.

Tabla 15.

Máximos, mínimos y rango de cada criterio

Denominación	Módulo Elástico	Módulo de Poisson	Costos	Densidad	Esfuerzo de tracción	Esfuerzo a la fluencia
1	200000	0.29	3.52	7900	420.5	351.57
2	69000	0.33	3.62	2700	240	215
3	205000	0.32	4.25	7850	1110	710
4	187500	0.30	3.83	8000	415	690
5	200000	0.26	3.16	7850	475	250
6	200000	0.28	4.18	7833	460	434
Max	205000	0.33	4.25	8000	1110	710
Min	69000	0.26	3.16	2700	240	215
Rango	136000	0.07	1.09	5300	870	495

Los resultados de la tabla 15, se normaliza para obtener el rango por cada criterio.

Tabla 16.

Información normalizada por el rango.

Denominación	Módulo Elástico	Módulo de Poisson	Costos	Densidad	Esfuerzo de tracción	Esfuerzo a la fluencia
1	1,0	0,4	0,3	1,0	0,2	0,3
2	0,0	1,0	0,4	0,0	0,0	0,0
3	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0
4	0,9	0,6	0,6	1,0	0,2	1,0
5	1,0	0,0	0,0	1,0	0,3	0,1
6	1,0	0,3	0,9	1,0	0,3	0,4

Una vez normalizados los datos se procede a calcular la desviación típica o estándar. Las desviaciones estándar de los tres criterios se presentan en la tabla 17.

Tabla 17.

Desviaciones estándar de los criterios.

Criterios	Desviación Estándar
Módulo Elástico	0,357018023
Módulo de Poisson	0,31194111
Costos	0,347051015
Densidad	0,364855291
Esfuerzo de tracción	0,315848115
Esfuerzo a la fluencia	0,395500872

Ya obtenido los valores de la desviación estándar, se calcula la correlación entre los criterios y los resultados se presentan en la tabla 18.

Tabla 18.

Coeficientes de correlación entre criterios.

	Módulo Elástico	Módulo de Poisson	Costos	Densidad	Esfuerzo de tracción	Esfuerzo a la fluencia
Módulo Elástico	1					
Módulo de Poisson	-0,62334	1				
Costos	0,16681	0,48131	1			
			0,172			
Densidad	0,99504	-0,60527	9	1		
			0,589			
Esfuerzo de tracción	0,50057	0,18958	2	0,4740	1	
			0,675			
Esfuerzo a la fluencia	0,47085	0,29912	0	0,5236	0,63379	1

Una vez conocida la desviación estándar y los coeficientes de correlación de los criterios, se procede a calcular la ponderación y normalización de cada criterio según la ecuación 1. Estos valores se presentan en la tabla 19.

Tabla 19.

Ponderaciones normalizadas de los criterios.

Ponderación de Variables		
Módulo Elástico	2,199879968	0,09639437
Módulo de Poisson	2,698926808	0,11826161
Costos	4,182809458	0,1832824
Densidad	2,959358491	0,12967321
Esfuerzo de tracción	5,084174385	0,22277843
Esfuerzo a la fluencia	5,696514938	0,24960997
SUMA	22,82166405	1

Resultados Método de Entropía

El método de la Entropía, se establece los criterios de los materiales a ser estudiados para analizar el peso de cada criterio que nos servirá en los posteriores análisis de MCDM.

Tabla 20.

Variables para el método de la entropía.

Denominación	Módulo Elástico (N/mm ²)	Módulo de Poisson	Costos (USD) /1m	Densidad (kg/m ³)	Esfuerzo de (N/mm ²) tracción	Esfuerzo a la fluencia (N/mm ²)
1	200000	0.29	3.52	7900	420.51	351.57
2	69000	0.33	3.62	2700	240	215
3	205000	0.32	4.25	7850	1110	710
4	187500	0.30	3.83	8000	415	690
5	200000	0.26	3.16	7850	475	250
6	200000	0.28	4.18	7833	460	434

La tabla 20 presenta las variables de entropía calculadas, a continuación, se debe normalizar por la suma, y estos resultados se encuentran en la tabla 21.

Tabla 21.

Criterios normalizados por la suma.

Denominación	Módulo Elástico	Módulo de Poisson	Costos	Densidad	Esfuerzo de tracción	Esfuerzo a la fluencia
1	0,188412624	0,16292135	0,15602837	0,187501483	0,134756819	0,13263939
2	0,065002355	0,18539326	0,16046099	0,064082785	0,076910505	0,08111463
3	0,193122939	0,17977528	0,18838652	0,186314765	0,355711086	0,26786691
4	0,176636835	0,16853933	0,1697695	0,18987492	0,132991082	0,26032136
5	0,188412624	0,14606742	0,14007092	0,186314765	0,152218708	0,09431934
6	0,188412624	0,15730337	0,18528369	0,185911281	0,147411801	0,16373837
Suma	1	1	1	1	1	1

Con los datos obtenidos en la tabla 21 se procede a calcular el logaritmo de los valores de los criterios los cuales están presentes en la tabla 22.

Tabla 22.

Logaritmos de los valores normalizados de los criterios.

Denominación	Módulo Elástico	Módulo de Poisson	Costos	Densidad	Esfuerzo de tracción	Esfuerzo a la fluencia
1	-0,72489	-0,78802	-0,80680	-0,72700	-0,87045	-0,87733
2	-1,18707	-0,73191	-0,79463	-1,19326	-1,11401	-1,09090
3	-0,71417	-0,74527	-0,72495	-0,72975	-0,44890	-0,57208
4	-0,75292	-0,77330	-0,77014	-0,72153	-0,87618	-0,58449
5	-0,72489	-0,83545	-0,85365	-0,72975	-0,81753	-1,02540
6	-0,72489	-0,80326	-0,73216	-0,73069	-0,83147	-0,78585

En la tabla 23 se realiza el cálculo del producto de los valores normalizados por sus logaritmos.

Tabla 23.

Producto de los valores normalizados por sus logaritmos.

Denominación	Módulo Elástico	Módulo de Poisson	Costos	Densidad	Esfuerzo de tracción	Esfuerzo a la fluencia
1	-0,1366	-0,1284	-0,1259	-0,1363	-0,1173	-0,1164
2	-0,0772	-0,1357	-0,1275	-0,0765	-0,0857	-0,0885
3	-0,1379	-0,1340	-0,1366	-0,1360	-0,1597	-0,1532
4	-0,1330	-0,1303	-0,1307	-0,1370	-0,1165	-0,1522
5	-0,1366	-0,1220	-0,1196	-0,1360	-0,1244	-0,0967
6	-0,1366	-0,1264	-0,1357	-0,1358	-0,1226	-0,1287
Suma	-0,7578	-0,7768	-0,7759	-0,7576	-0,7262	-0,7356

Se procede a calcular el valor de k:

$$\text{El } \log_{10} 6 = 0.7781; k = \frac{1}{\log_{10} 6} = \frac{1}{0.7781} = 1.2850$$

Después, se calcula la entropía de los tres criterios que se obtuvo en las tablas anteriores y estos resultados son presentados en la tabla 24.

Tabla 24.
Cálculo de entropía.

Descripción	Entropía
Módulo Elástico	0,973789359
Módulo de Poisson	0,998156883
Costos	0,99707926
Densidad	0,973455166
Esfuerzo de tracción	0,933158798
Esfuerzo a la fluencia	0,945299625

Una vez obtenida la entropía, se calcula la diversidad y se la normaliza por la suma, estos resultados se presentan en la tabla 25.

Tabla 25.
Entropía y Diversidad de los criterios.

Descripción	Entropía	Diversidad	Diversidad normalizada
Módulo Elástico	0,973789359	0,026210641	0,146378354
Módulo de Poisson	0,998156883	0,001843117	0,010293242
Costos	0,99707926	0,00292074	0,016311433
Densidad	0,973455166	0,026544834	0,148244716
Esfuerzo de tracción	0,933158798	0,066841202	0,373287516
Esfuerzo a la fluencia	0,945299625	0,054700375	0,305484738
SUMA	-	0,179060908	1

Método Ordenación Simple

Consiste en ordenar los criterios de mayor a menor de acuerdo con su importancia en función al criterio del elector. Estos resultados se presentan en la tabla 26.

Tabla 26.
Ponderación de criterios por ordenación simple.

Descripción	Orden	Puntuación	Ponderación
Módulo Elástico	5	3	0,111111111
Módulo de Poisson	6	2	0,074074074
Costos	2	6	0,222222222

Densidad	4	4	0,148148148
Esfuerzo de tracción	3	5	0,714285714
Esfuerzo a la fluencia	1	7	0,259259259
		27	

Comparación de resultados de los métodos de Ponderación

Una vez que se obtienen los resultados de ponderación de los tres métodos aplicados como son CRITIC, Entropía y Ordenación Simple, el resultado de estos se presenta en la tabla 27. El método escogido de ponderación para realizar el análisis MCDM es el de la Entropía ya que según (Rodger Salazar. Javier Martinez-Gómez, 2019), el método de entropía para la determinación de pesos considera adecuadamente la información de los valores de todas las secciones de monitoreo provistas para equilibrar la relación entre los numerosos criterios a evaluar. Esto debilita el efecto negativo de algunos valores anormales y hace que el resultado de la evaluación sea más preciso y razonable

Tabla 27.
Resultados de la Ponderación de los criterios.

Descripción	Método CRITIC	Método Entropía	Método Ordenación Simple
Módulo Elástico	0,10	0,15	0,11
Módulo de Poisson	0,12	0,01	0,07
Costos	0,18	0,2	0,22
Densidad	0,13	0,15	0,15
Esfuerzo de tracción	0,22	0,37	0,71
Esfuerzo a la fluencia	0,25	0,31	0,26

Las características del material más importantes a considerar obtenidas de los resultados del análisis por los 3 métodos son el esfuerzo a la fluencia y el costo. Por tal motivo se escoge el material acero A36 ya que cumple con las propiedades mecánicas requeridas y tiene un bajo costo, además de ser de fácil adquisición comercial.

Se utilizará tubos de dimensiones 30*30 mm y un espesor de 2 mm, medidas recomendadas por varios fabricantes de motos a nivel internacional. Una vez realizado el diseño del chasis se obtuvo que se requiere 13,8 metros de longitud de tubería cuadrada, la cual será cortada y doblada en las diferentes medidas que entregue el diseño CAD del mismo, para posteriormente ser soldadas y ensambladas en la construcción del chasis.

Diseño de Chasis finalizado

Una vez seleccionado las partes que se necesitan incorporar a la motocicleta eléctrica, las cuales son las más importantes para el diseño del chasis, son: motor, controlador electrónico y la batería. Con estas dimensiones ya se logró realizar un primer diseño de la moto eléctrica de tres ruedas como se observa en la siguiente imagen:

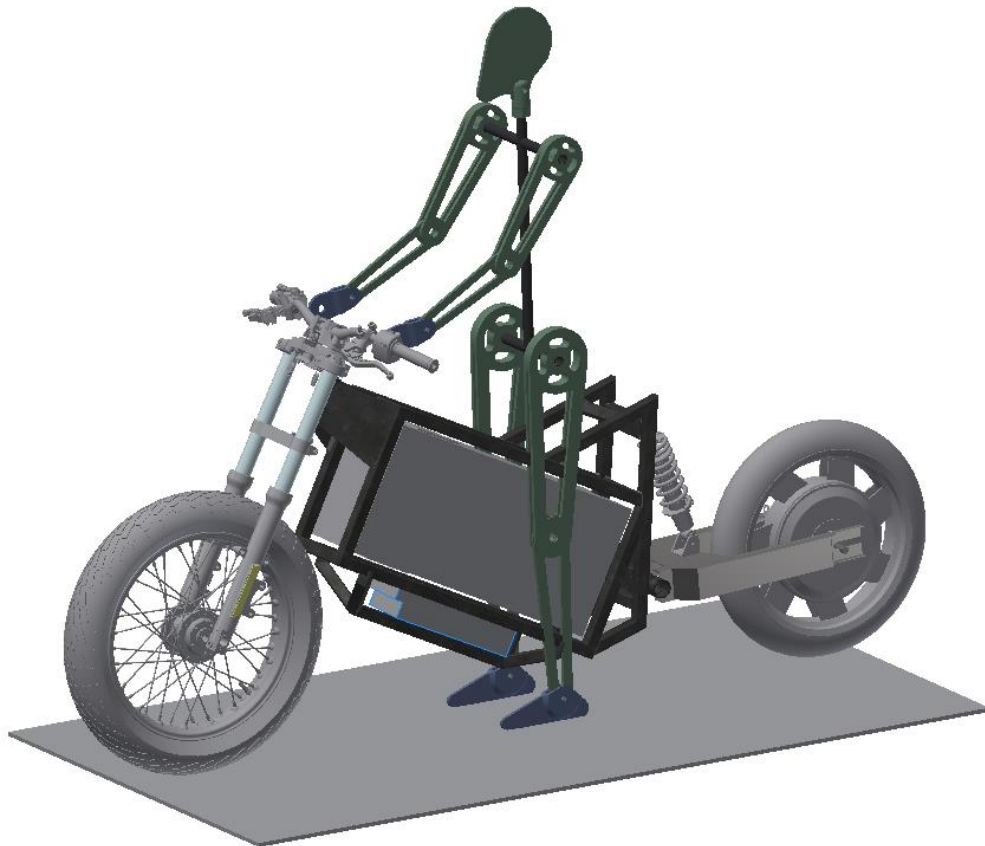


Figura 72. Vista isométrica de la moto eléctrica.



Figura 73. Dirección de la moto eléctrica.

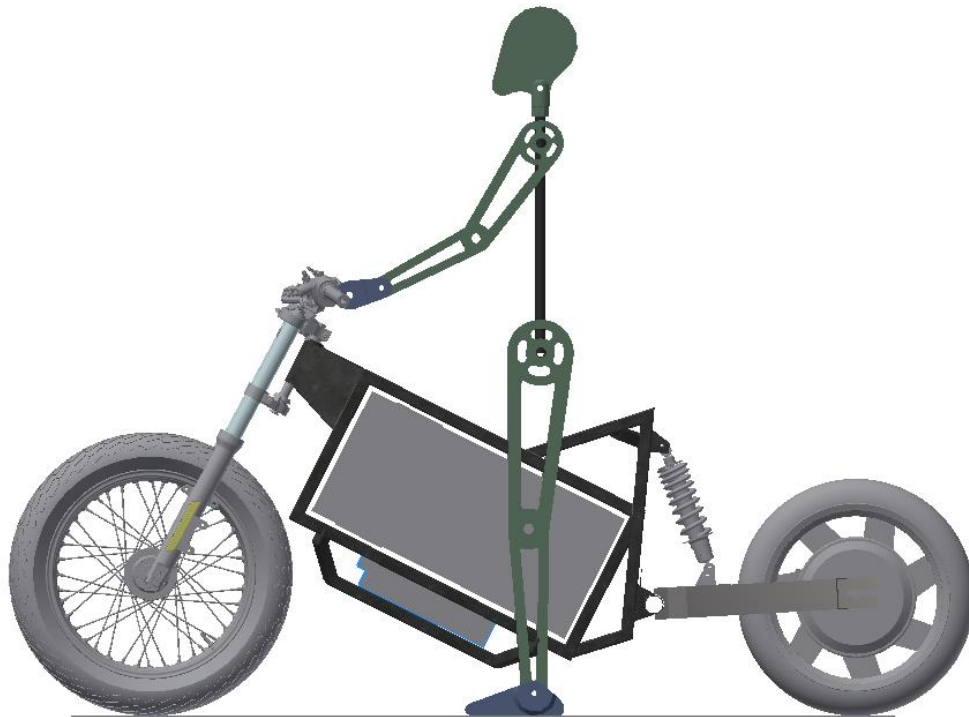


Figura 74. Vista lateral de la moto eléctrica.

Análisis estructural por elementos finitos

De acuerdo con varios estudios, los pasos importantes en el desarrollo de un nuevo chasis es la predicción de la vida útil de la fatiga y la carga de durabilidad del bastidor del chasis. El estudio de la fatiga y la predicción de la vida útil del chasis son importantes para verificar la seguridad de este chasis durante su funcionamiento. El análisis de estrés utilizando el método de elementos finitos (FEM) se puede utilizar para localizar el punto crítico que tiene el mayor estrés (Jeyapandiarajan et al., 2018).

Análisis estático de esfuerzos CAE

Para el análisis estático del chasis de la moto se ha utilizado el software de ingeniería asistida por computador CAE llamado Autodesk Nastran, el cual está incorporado como complemento en el software de diseño asistido por computador Inventor Profesional 2018, en el cual se realizó el diseño completo del chasis y los diferentes partes de la moto.

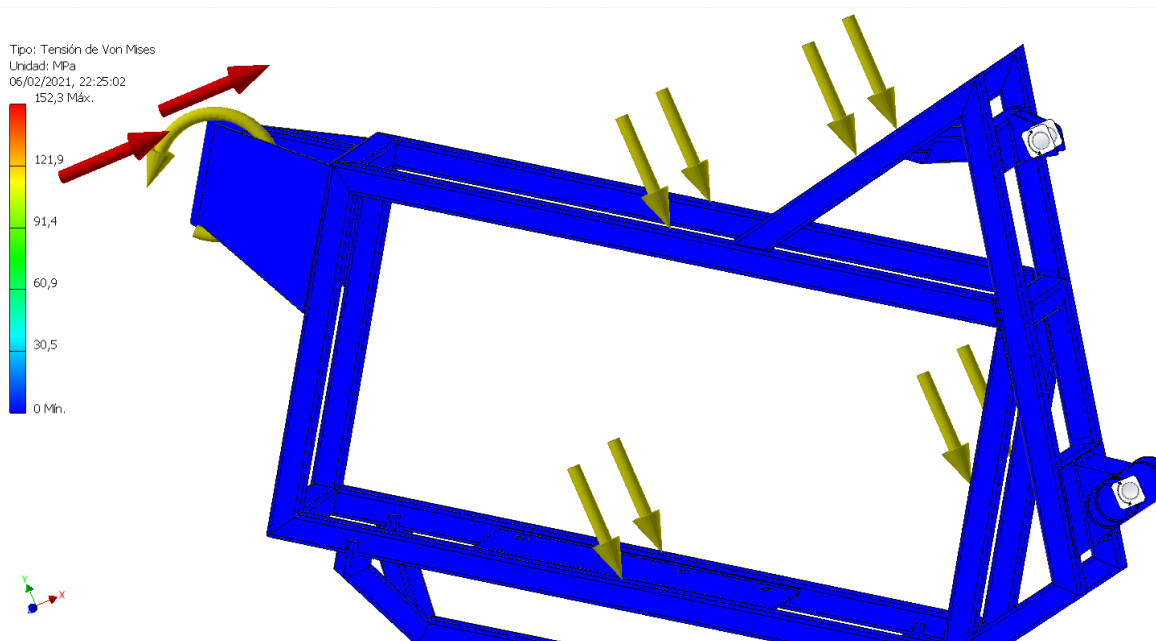


Figura 75. Tensión Normal

Condiciones de contorno para el análisis estático de esfuerzos

Se utiliza la aplicación de Autodesk Inventor Nastran, la cual es especializada en análisis por elementos finitos conocido como FEA. Este proceso consta de 4 pasos principales los cuales son: Asignación de restricciones, asignación de cargas, creación de contactos entre partes y generación de la malla.

Asignación de restricciones

El chasis está soportado por amortiguadores en la suspensión delantera y trasera, por tal motivo se tiene dos puntos de soporte. En la parte delantera se tiene un soporte fijo que va sujeto a la suspensión y en la parte trasera se tiene un apoyo por pasador que está unido al basculante el cual se muestra en la siguiente figura.

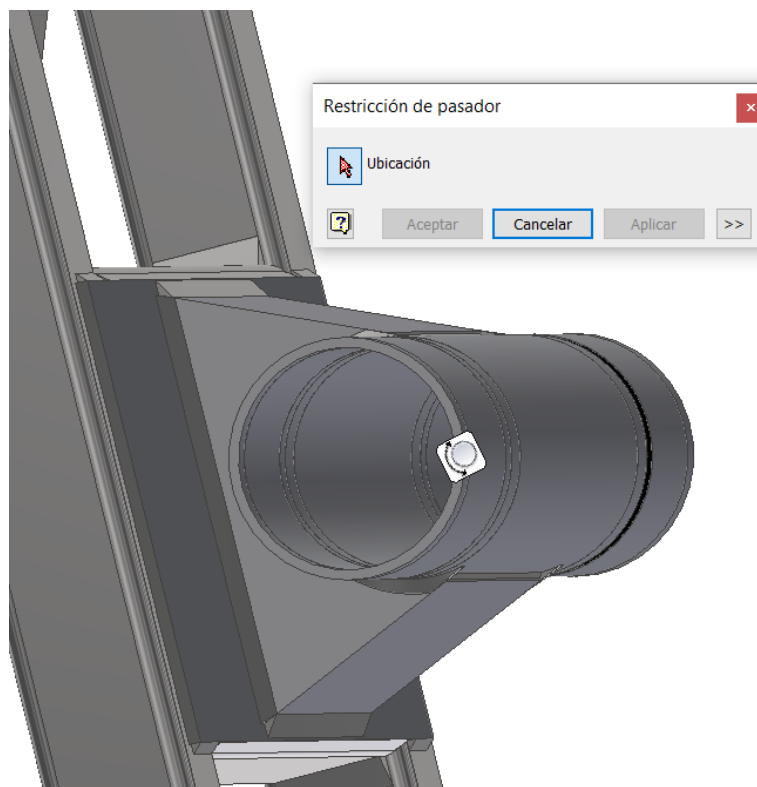


Figura 76. Restricción de pasador en el eje que conecta el chasis con el basculante.

La siguiente figura muestra el soporte por pasador del amortiguador trasero soldado al chasis.

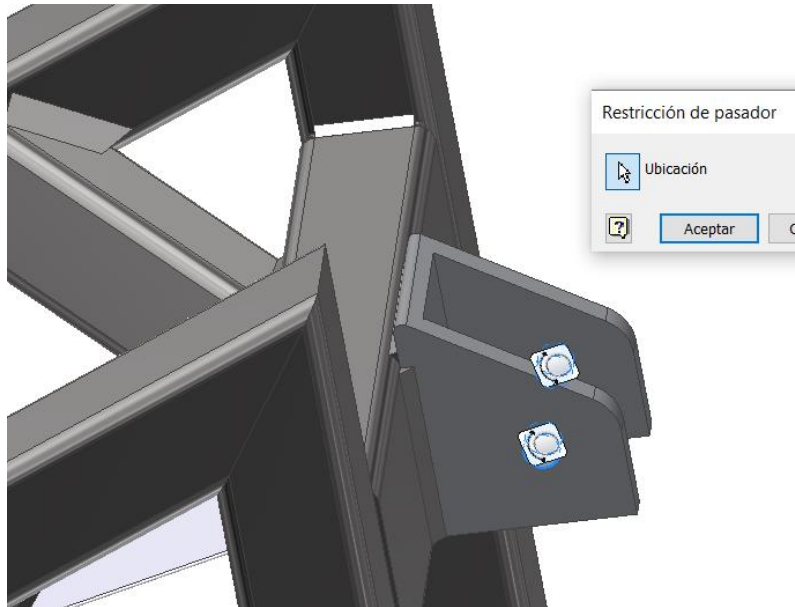


Figura 77. Restricción de pasador en el eje superior del amortiguador.

A continuación, se muestra el eje de la dirección, el cual es soldado al chasis en 3 áreas como son las platinas y el tubo cuadrado con el objetivo de reforzar esta unión importante.

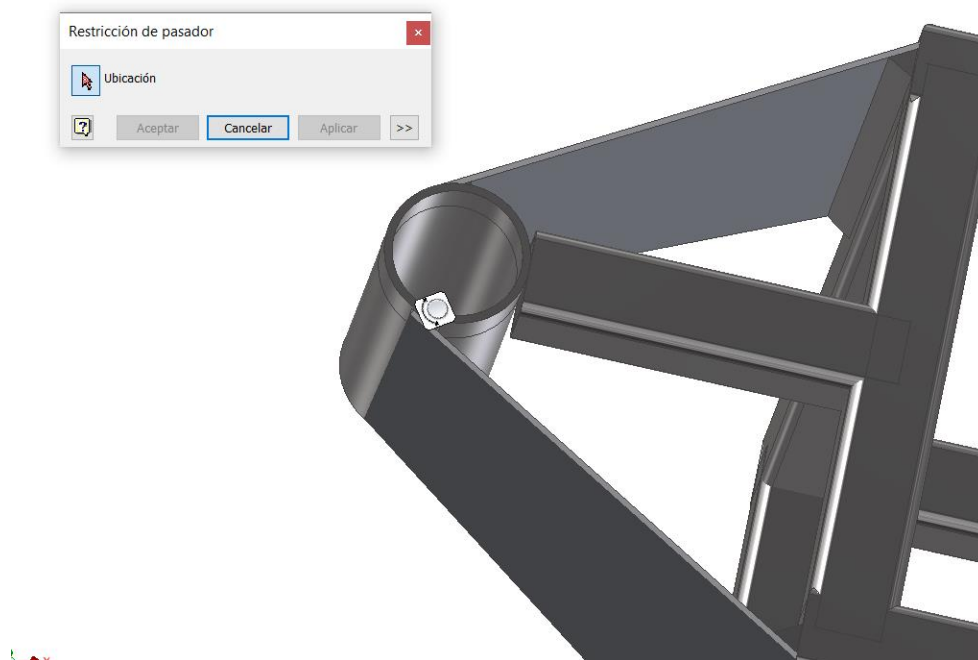


Figura 78. Restricción de pasador en el tubo de la dirección.

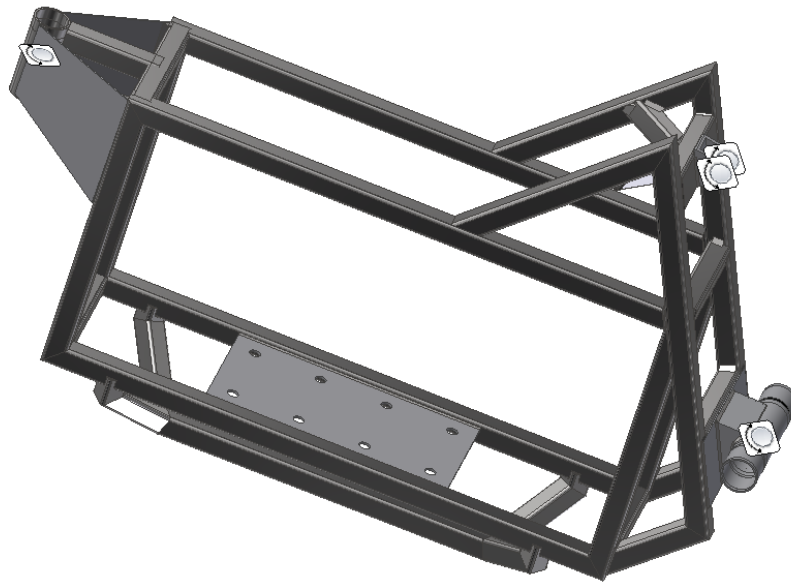


Figura 79. Definición final de restricciones.

Asignación de cargas.

Existen tres cargas principales que se han tomado en cuenta para este análisis de esfuerzos los cuales son: peso de la batería, peso del controlador electrónico y peso del conductor y pasajero. En las siguientes figuras se muestra la asignación de cada una de las cargas con su respectivo valor.

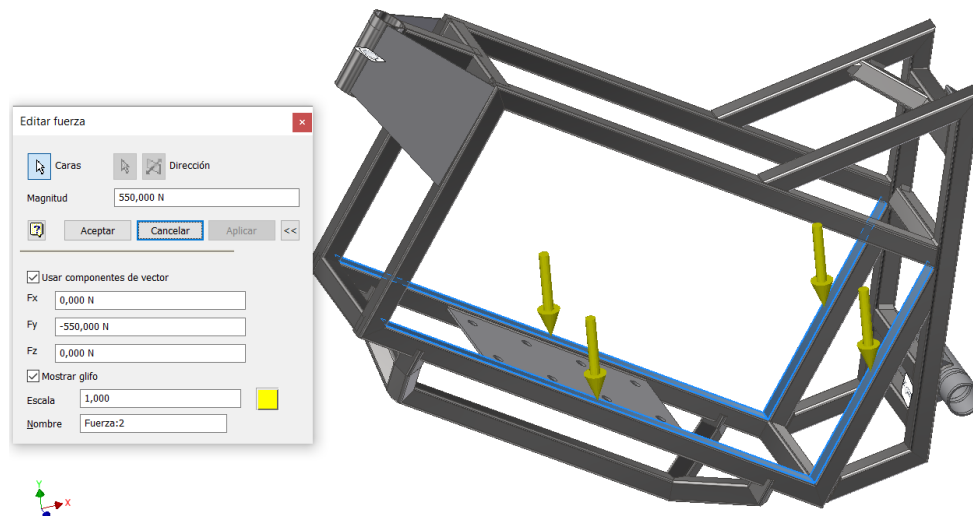


Figura 80. Peso de la batería.

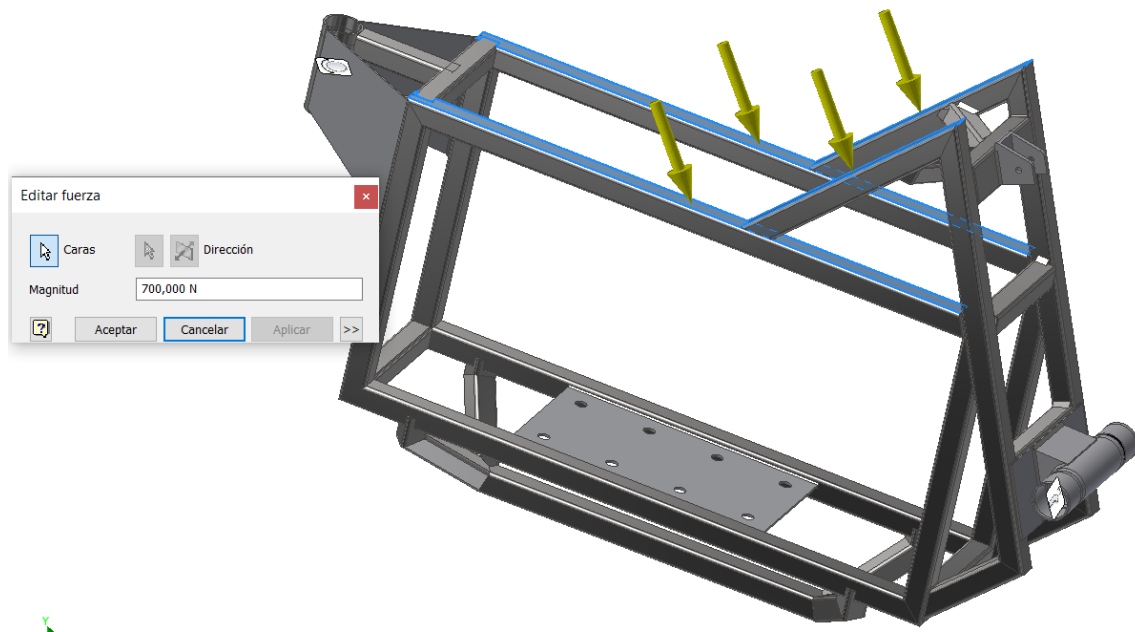


Figura 81. Peso del conductor y pasajero.

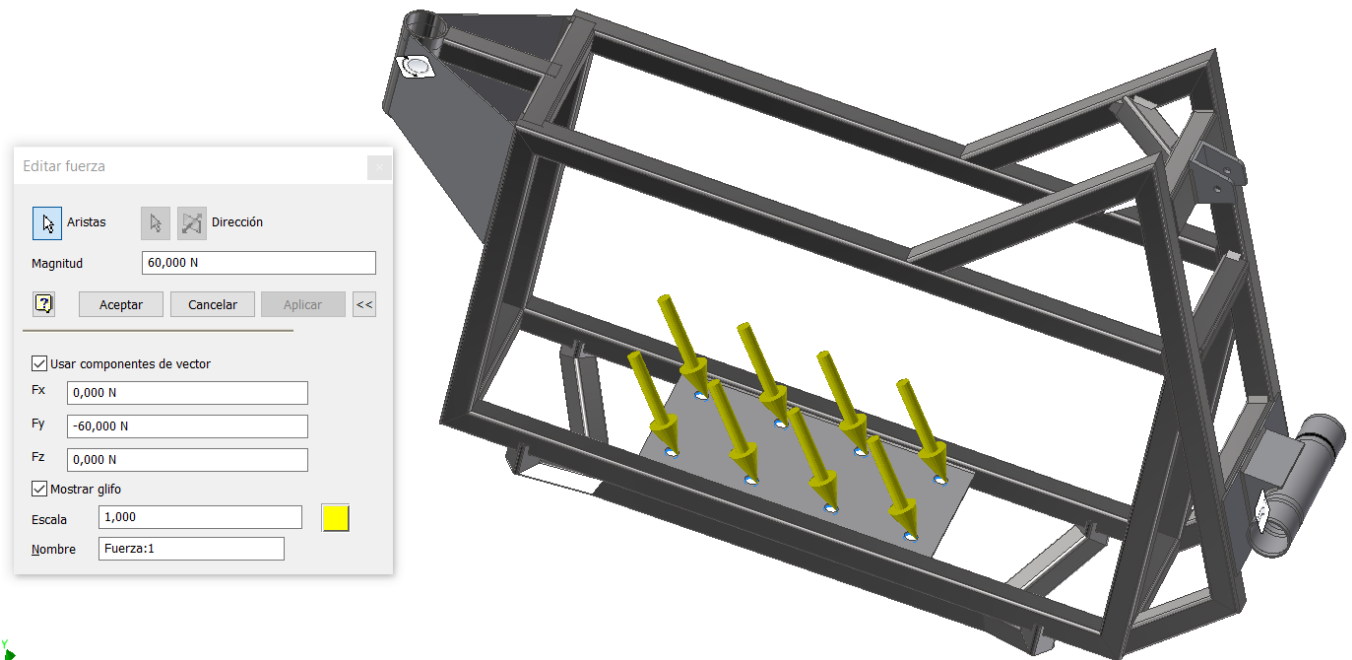


Figura 82. Peso del controlador electrónico.

Aplicación Fuerza de Frenado

Se aplicará el par de fuerzas producidas por el frenado en el tubo de la dirección, el cual es responsable de transmitir la fuerza desde los frenos de disco hacia las llantas y luego al volante. Se toma la fuerza de 2732.5 N, calculada en el libro de diseño de chasis de (Tony Foale, 2002)

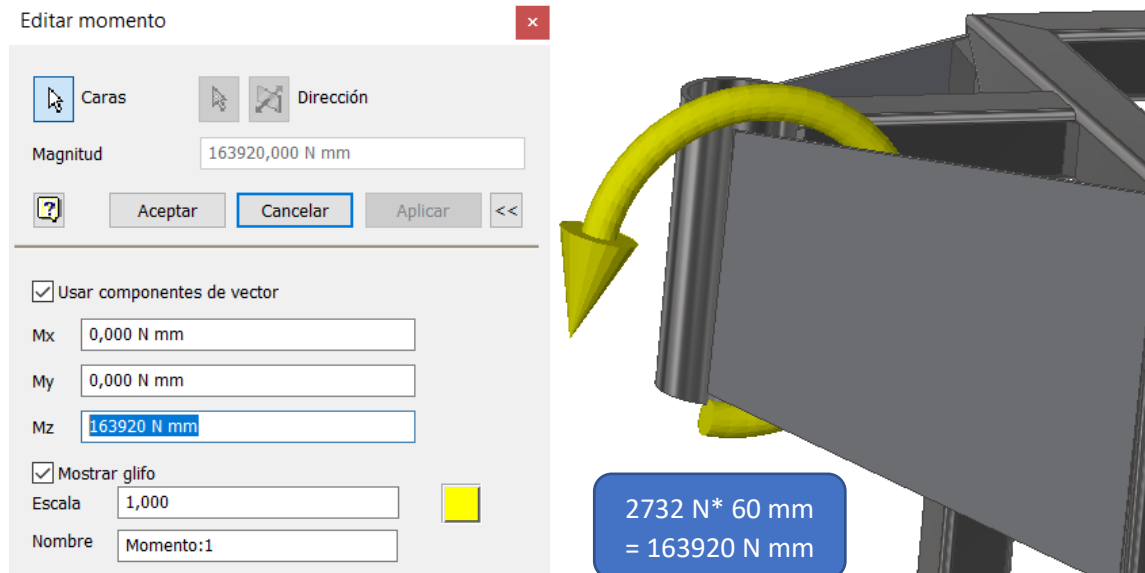


Figura 83. Fuerza de frenado.

Aplicación carga remota aplicado en los mangos del manubrio

Se realiza una aplicación de cargas ejercidas por el conductor al realizar el giro de la llanta delantera al tomar una curva. Esta carga se ha tomado como referencia de la tesis de maestría del señor Andrés (Torres, 2018), en la cual especifica una carga de 100 N a cada lado del manubrio.



Figura 84. Carga remota aplicado en los mangos del manubrio.

Creación de la malla.

La creación de la malla comienza con la configuración del tamaño medio del elemento. Se escogió ese tamaño de elemento ya que es el más fino y se adapta de las geometrías difíciles.

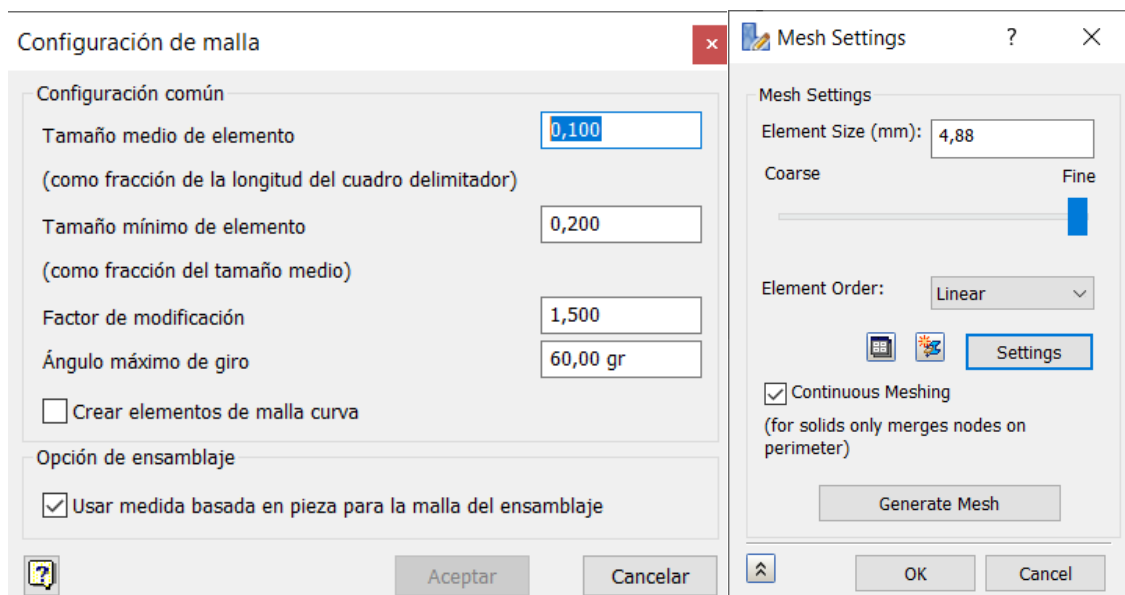


Figura 85. Configuración de malla.

Se seleccionó el tipo de elemento cuadrado debido a que los especialistas sugieren que son elementos deformables y que permite una mejor aproximación de resultados a la realidad.

Tipo de Mallado: Cuadrada.

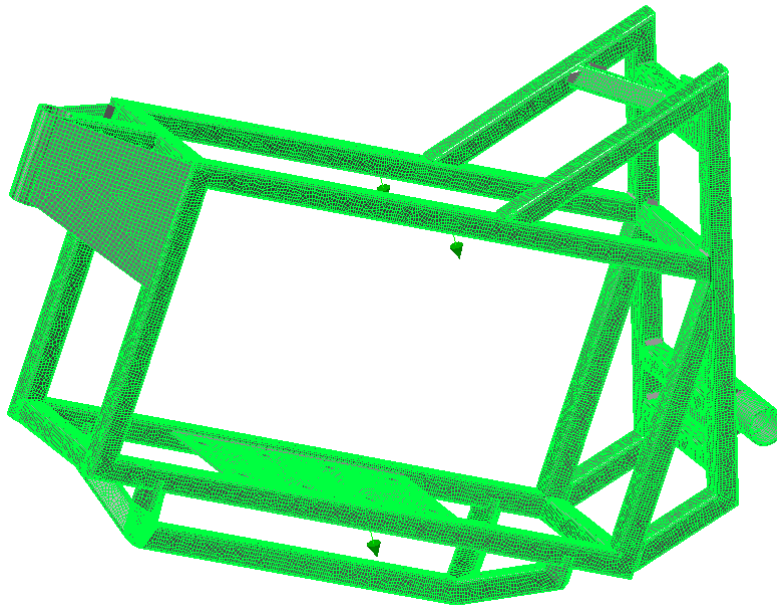


Figura 86. Especificación del tipo de malla.

La siguiente figura muestra la malla creada con una diferenciación en las uniones donde la malla se hace más pequeña para adaptarse de mejor manera a su geometría.

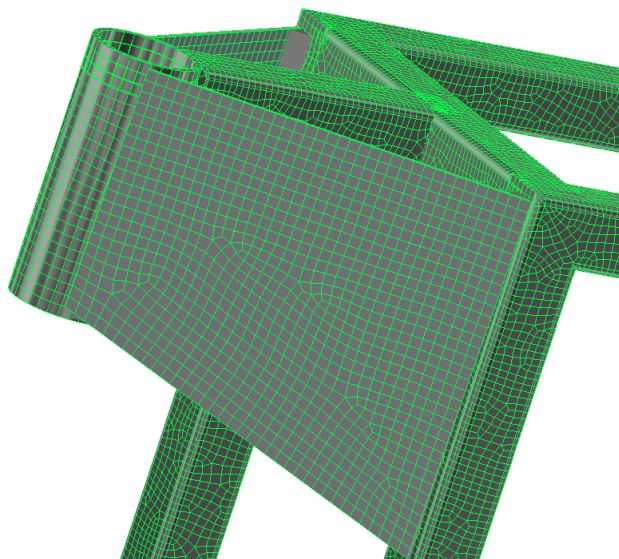


Figura 87. Malla en diferentes uniones.

Análisis de convergencia de la malla.

Es relativamente fácil que un análisis de elementos finitos produzca resultados. Pero, para que los resultados sean precisos, es necesario demostrar que los resultados convergen en una misma solución y son independientes del tamaño de la malla (Gómez-Ruiz et al., 2017). Por esto se ha realizado 10 simulaciones de análisis de esfuerzos y vibraciones para comprobar que el tamaño de malla utilizado produce una respuesta exacta. En la tabla 28 se muestra los datos de las 10 pruebas con diferente tamaño de malla con sus respectivos resultados de desplazamiento.

A continuación, en la figura 86 se muestra cómo va convergiendo los resultados conforme de va disminuyendo el tamaño de la malla y aumentando el número de elementos. Con esta gráfica se comprueba que a partir del tamaño de elemento 4345 se obtiene un valor de desplazamiento exacto, el cual no sigue aumentando si se aumenta el número de elementos finitos.

Tabla 28.
Datos de las 10 pruebas con diferentes tamaños de malla

	Tamaño medio elemento	Tamaño mínimo elemento	Nodos	Elementos	Desplazamiento
Prueba1	0,00625	0,0125	9996961,68	5805853,2	0,9525
Prueba2	0,0125	0,025	5553867,6	3225474	0,952
Prueba3	0,025	0,05	3085482	1612737	0,951
Prueba4	0,05	0,1	1542741	895965	0,947
Prueba5	0,1	0,2	427923	216243	0,955
Prueba6	0,2	0,4	260685	124312	0,9268
Prueba7	0,3	0,6	240983	115368	0,9358
Prueba8	0,4	0,8	231020	110727	0,9124
Prueba9	0,6	0,9	215248	103359	0,8758
Prueba10	0,8	1	209788	100944	0,8645

Con los datos obtenidos de las 10 simulaciones con diferente tamaño de elementos en el mallado se obtiene finalmente la siguiente curva de convergencia en la cual se observa que los

resultados empiezan a converger en la prueba 4 donde el tamaño medio de elemento es de 0,05 mm y el total de elementos es de 895965 donde como resultado final un desplazamiento de 0,95 mm.

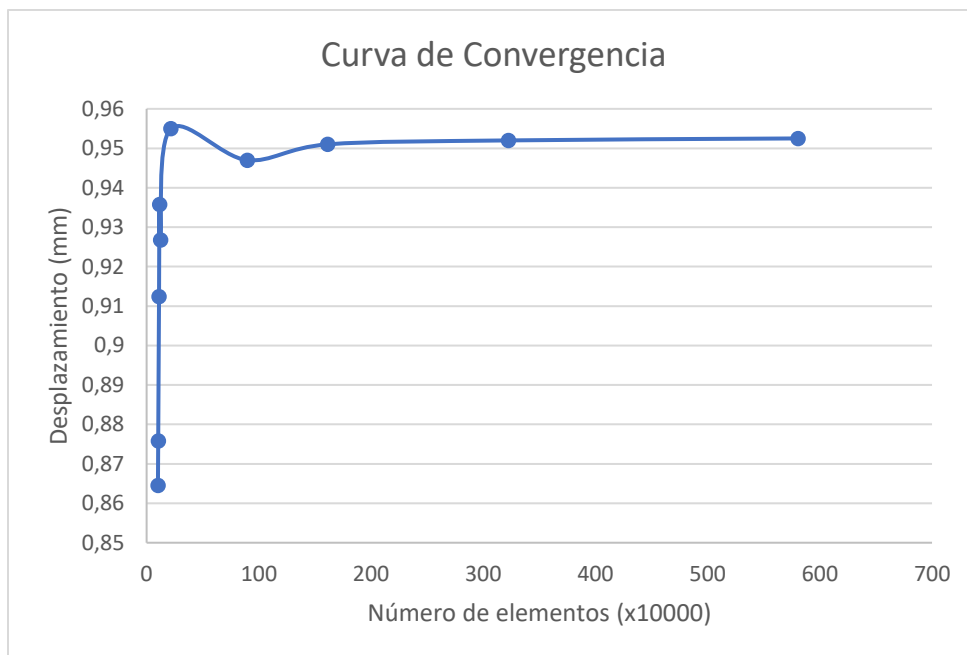


Figura 88. Curva de convergencia de los resultados de desplazamiento.

Análisis Estático de Esfuerzos: Deformación

Para este análisis se utilizó el tamaño medio de elemento de 0,05 mm, ya que se comprobó en el análisis de convergencia que a este tamaño los resultados convergen. La siguiente figura muestra los resultados de desplazamiento del análisis estático de esfuerzos. El desplazamiento máximo alcanzado en este análisis estático es de 0,54 mm en el eje de la dirección debido a la acción de la fuerza de frenada.

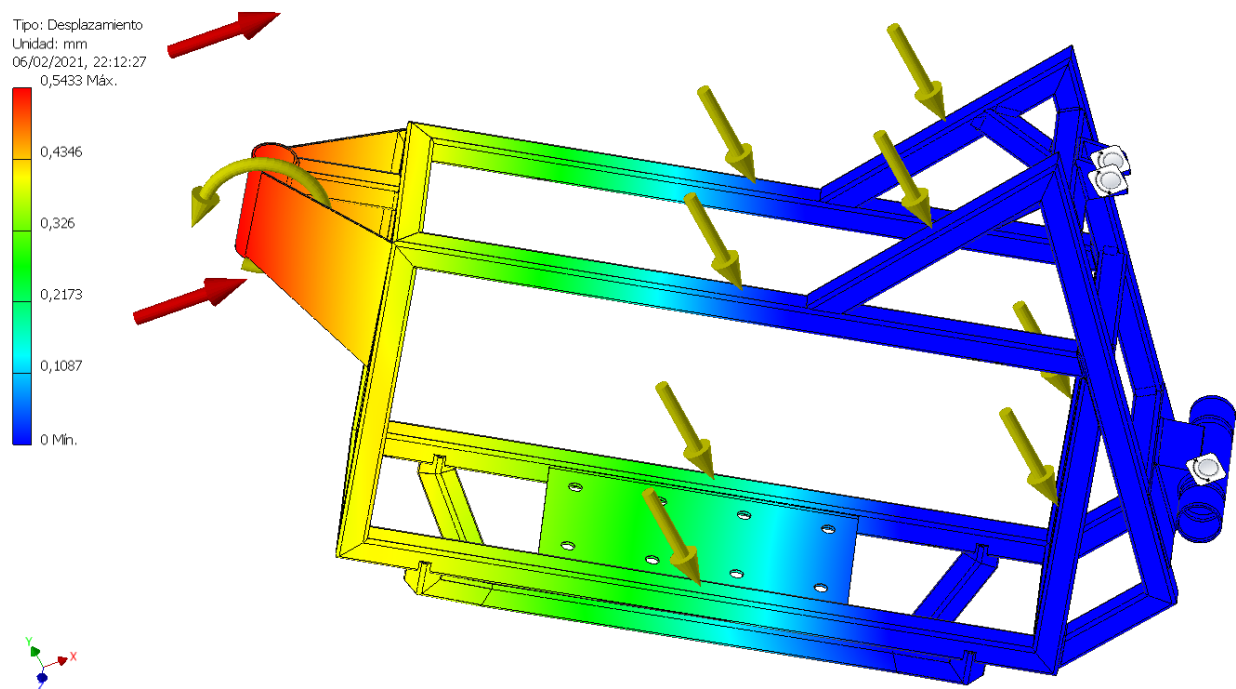


Figura 89. Desplazamiento máximo.

Análisis Estático de Esfuerzos: Esfuerzo Von Mises

El siguiente resultado del análisis estático de esfuerzos es el esfuerzo de Von Mises, el cual representa a todos los esfuerzos en los tres ejes coordenados. Este esfuerzo es parte de una de las teorías de falla en diseño de máquinas, la cual representa a la energía de distorsión máxima o criterio de plasticidad (Torrano, 2017). Para calcular este esfuerzo se tiene una ecuación que involucra los esfuerzos en los 3 ejes como se muestra a continuación:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)]}$$

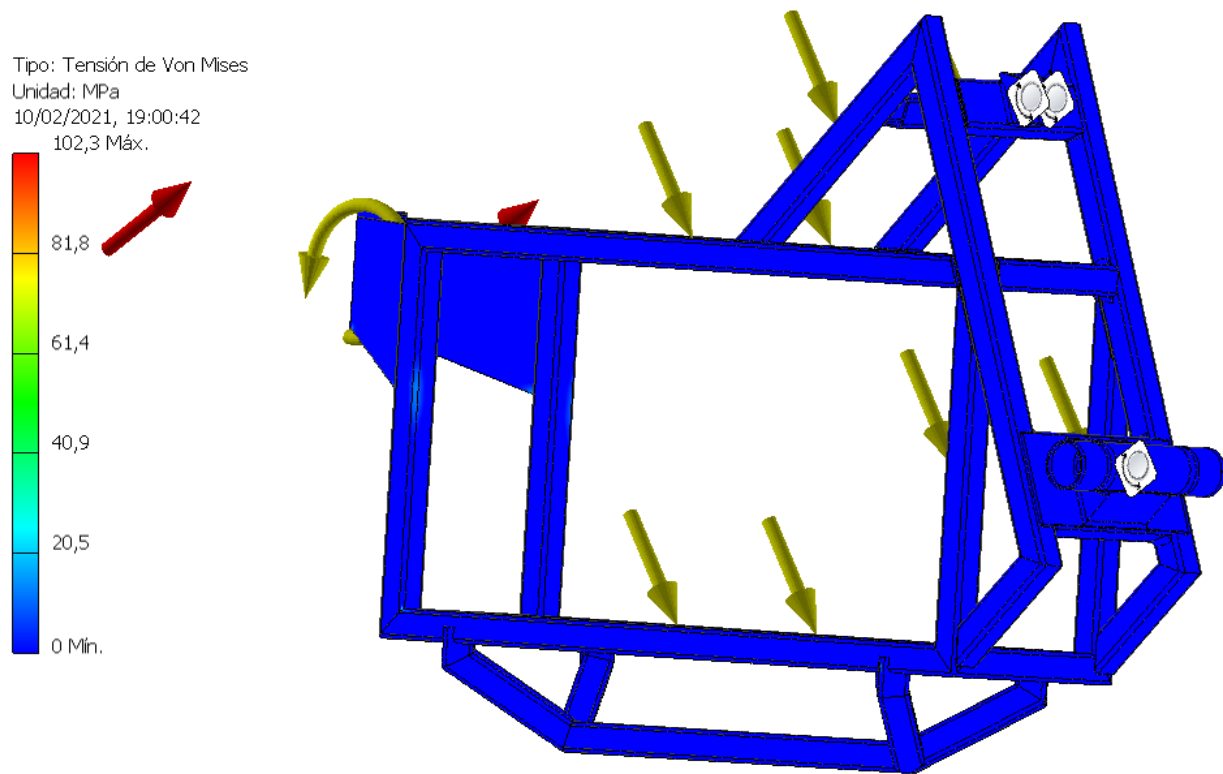


Figura 90. Tensión de Von Mises.

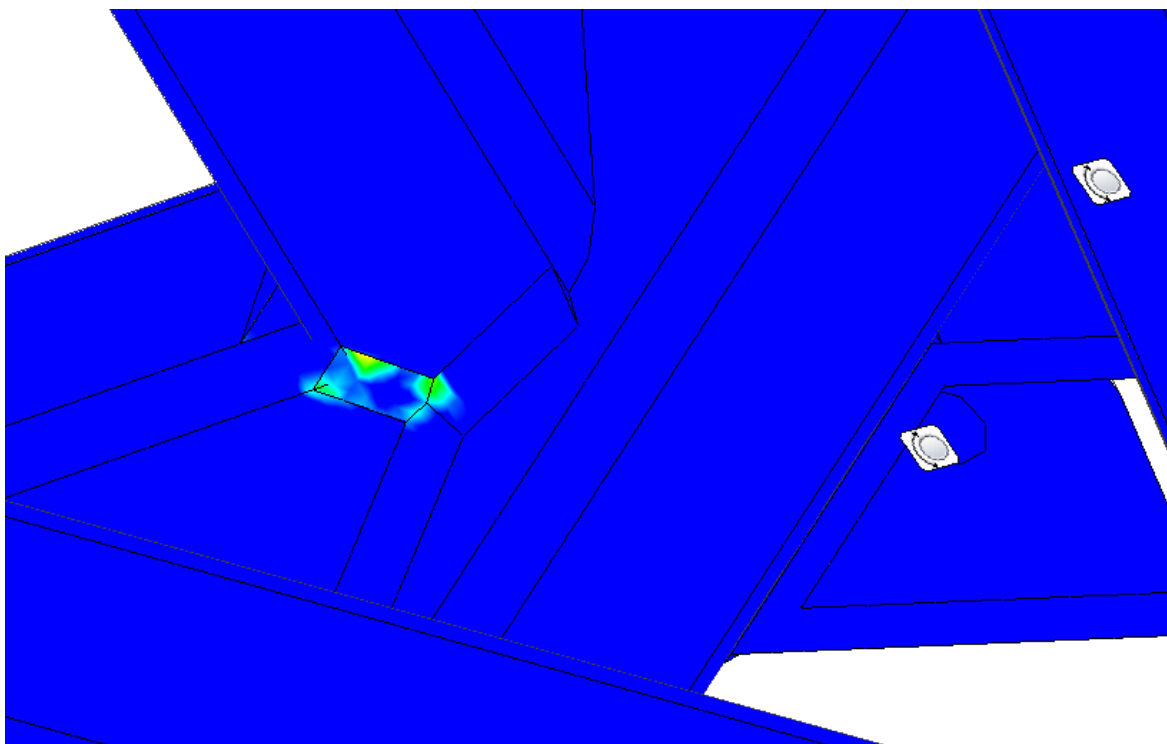


Figura 91. Acercamiento en la junta.

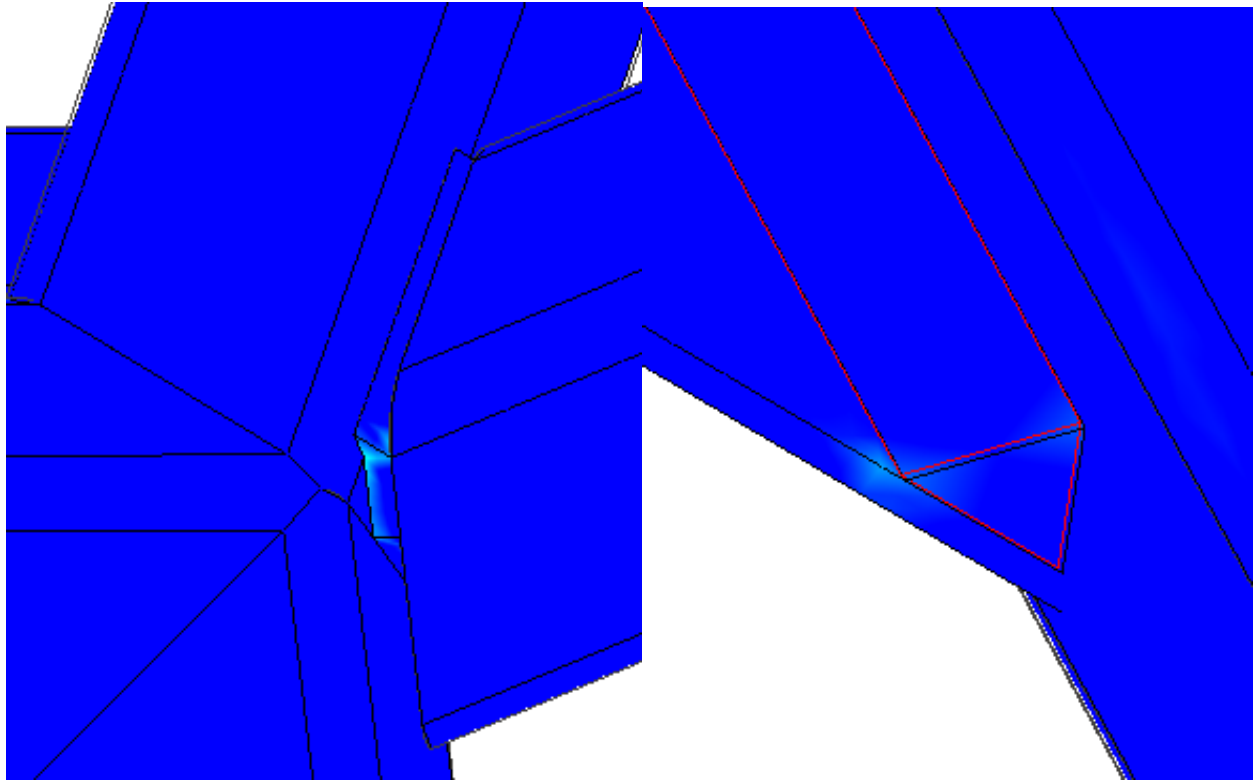


Figura 92. Juntas soldadas sometidas a tensión.

En el resultado anterior se observa que la mayoría de la estructura está de color azul y por lo tanto los valores son cercanos a cero, a excepción de ciertas áreas de las uniones o juntas soldadas donde se observa un color verde y celeste que representa a un valor de esfuerzo de aproximadamente 50 MPa.

Análisis modal o análisis dinámico de vibraciones

Análisis dinámico del Chasis.

La característica dinámica del cuadro de la motocicleta es un factor importante para su comodidad, actualmente no se presta suficiente atención a la influencia del motor en la característica dinámica del cuadro (Zhang, 2010).

Analizar las características dinámicas de la estructura, es decir, el análisis modal, es en realidad el proceso de resolución de los parámetros modales. Hay dos formas de lograrlo:

1) Método experimental, midiendo las respuestas dinámicas de entrada y salida de ciertos puntos de la estructura, según la frecuencia medida, la función de respuesta estima los parámetros modales.

2) Método analítico, que consiste en determinar la forma geométrica, las condiciones de contorno y las propiedades del material de la estructura, y expresar la distribución de masa, distribución de rigidez y distribución de amortiguamiento de la estructura con matriz de masa, matriz de rigidez y matriz de amortiguación respectivamente. Este cálculo de parámetros modales generalmente utiliza el método de elementos finitos (Zhang, 2010).

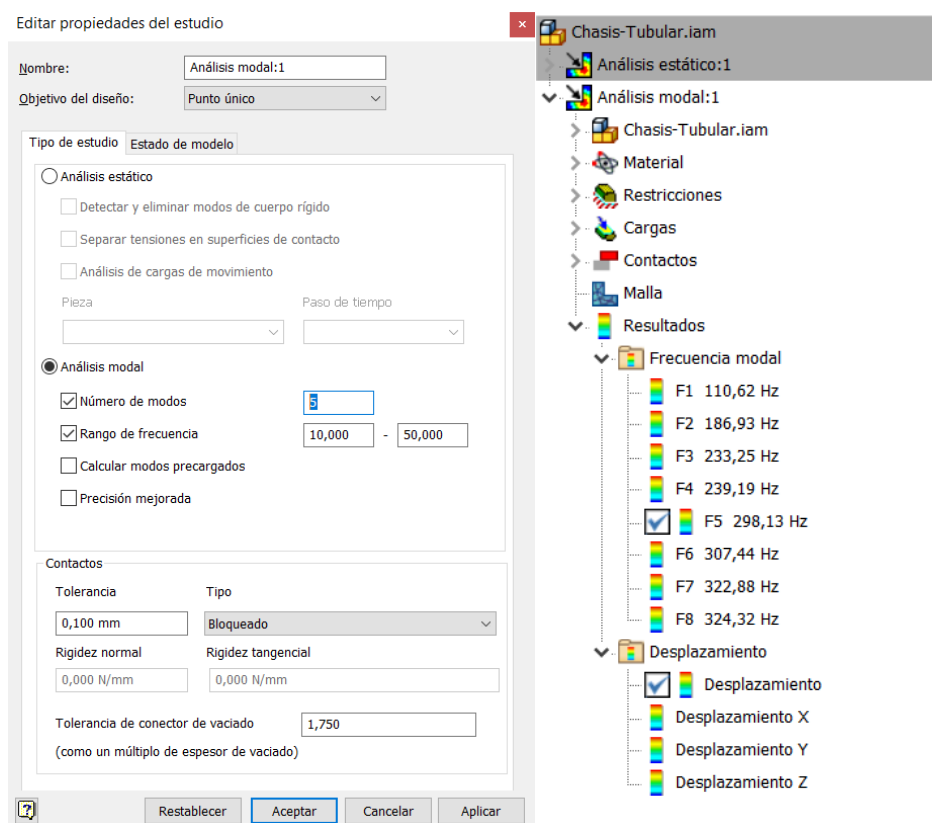


Figura 93. Creación de un nuevo estudio de análisis modal.

Análisis Modal: Frecuencia 105,89 Hz.

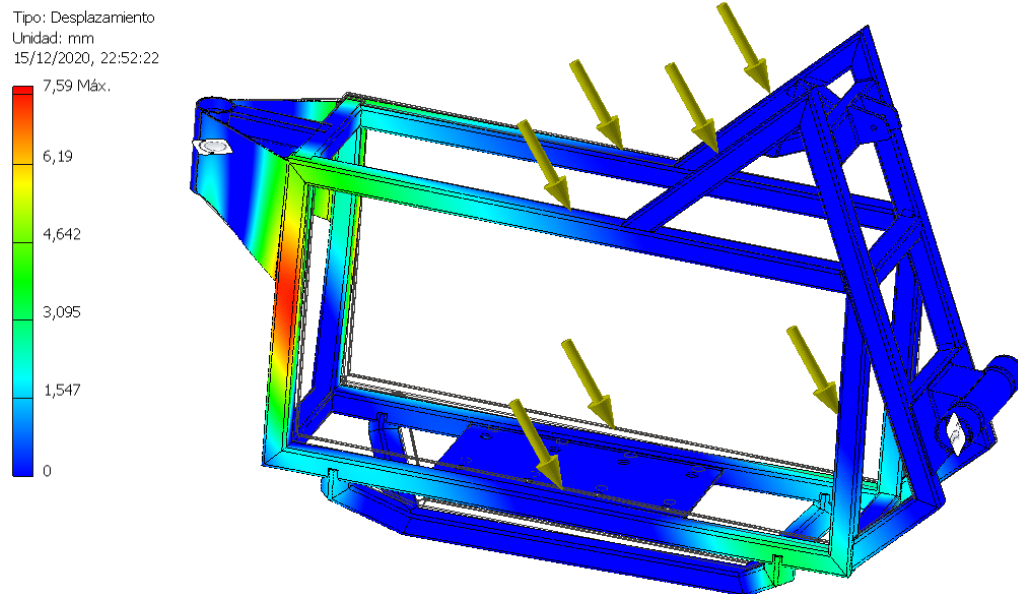


Figura 94. Desplazamiento máximo a la frecuencia 105,89 Hz.

Es el primer modo de vibración natural se observa un desplazamiento máximo de 6,8 mm en ciertas zonas de la estructura del chasis, pero gracias a las soldaduras resistentes no existe ruptura y está dentro del límite elástico del material.

Análisis Modal: Frecuencia 186,69 Hz.

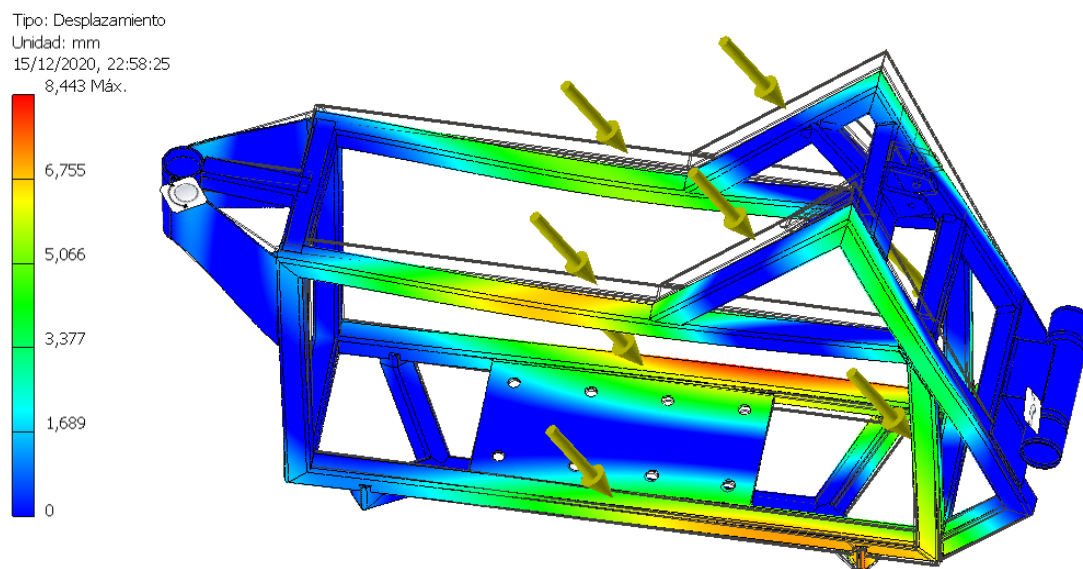


Figura 95. Desplazamiento máximo a la frecuencia 186,69 Hz.

Análisis Mod0a1l: Frecuencia 227,58 Hz.

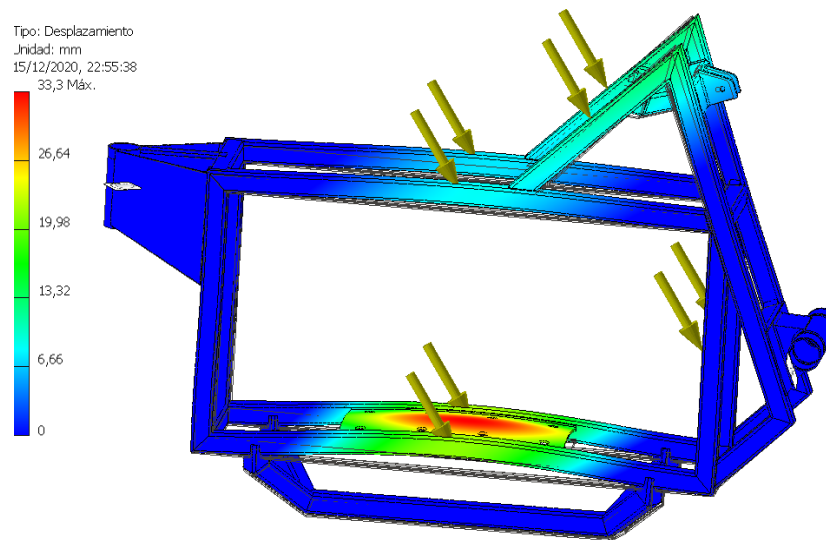


Figura 96. Desplazamiento máximo a la frecuencia 227,58 Hz.

En el tercer modo de vibración natural con una frecuencia de 227 Hz se observa una disminución en el desplazamiento máximo que es de 11 mm. Los resultados muestran que no existe ruptura en las soldaduras.

Análisis Modal: Frecuencia 232,90 Hz.

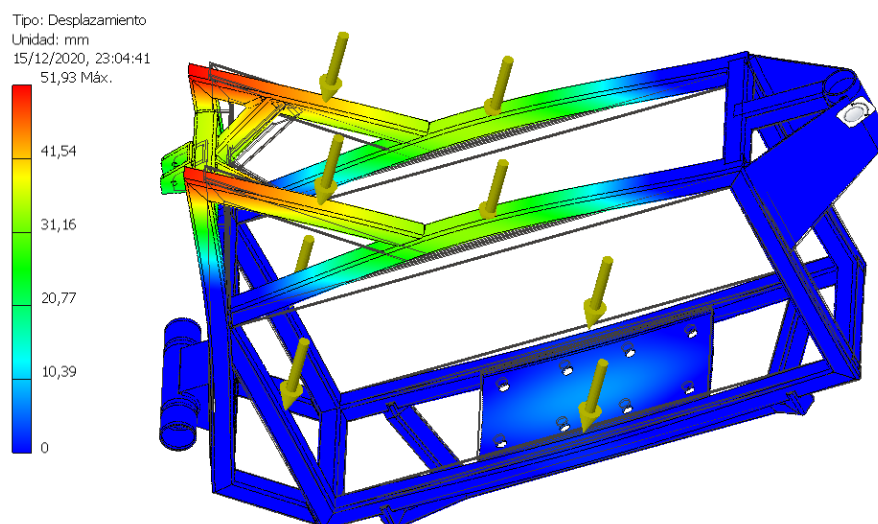


Figura 97. Desplazamiento máximo a la Frecuencia 232,90 Hz.

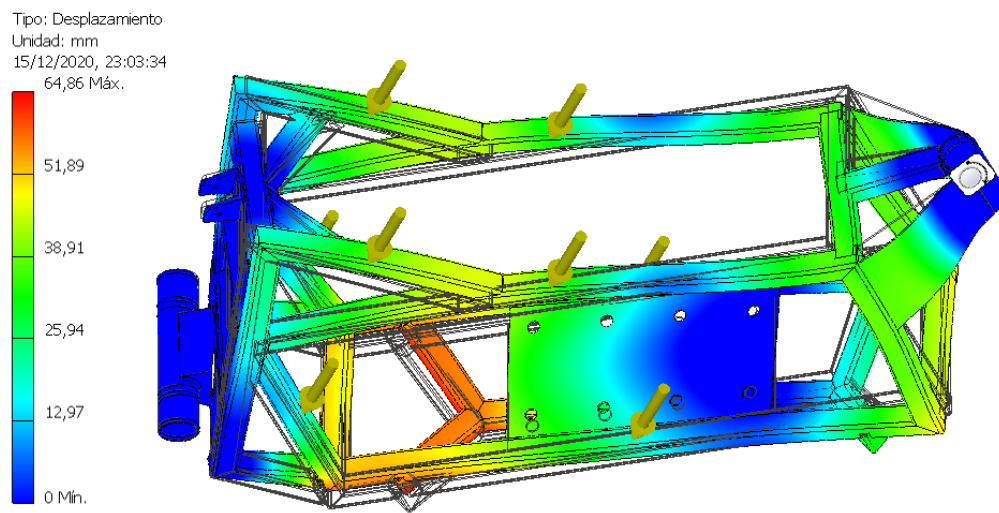
Análisis Modal: Frecuencia 298,13 Hz.

Figura 98. Desplazamiento máximo a la frecuencia 298,13 Hz.

Factor de seguridad.

La siguiente figura muestra un factor de seguridad mínimo de 2.6 en algunas zonas de color verde. Se observa que existe una transferencia de esfuerzos entre el eje de la dirección y el chasis por medio de las platinas soldadas en ambos extremos. Esto se debe al momento existido por la fuerza de frenado, el cual está aplicado directamente a este eje. Una estructura robusta bien diseñada debe tener un factor de seguridad mayor a 1.5, por lo tanto, esta estructura tiene un diseño adecuado y soporta perfectamente las cargas que se han considerado.

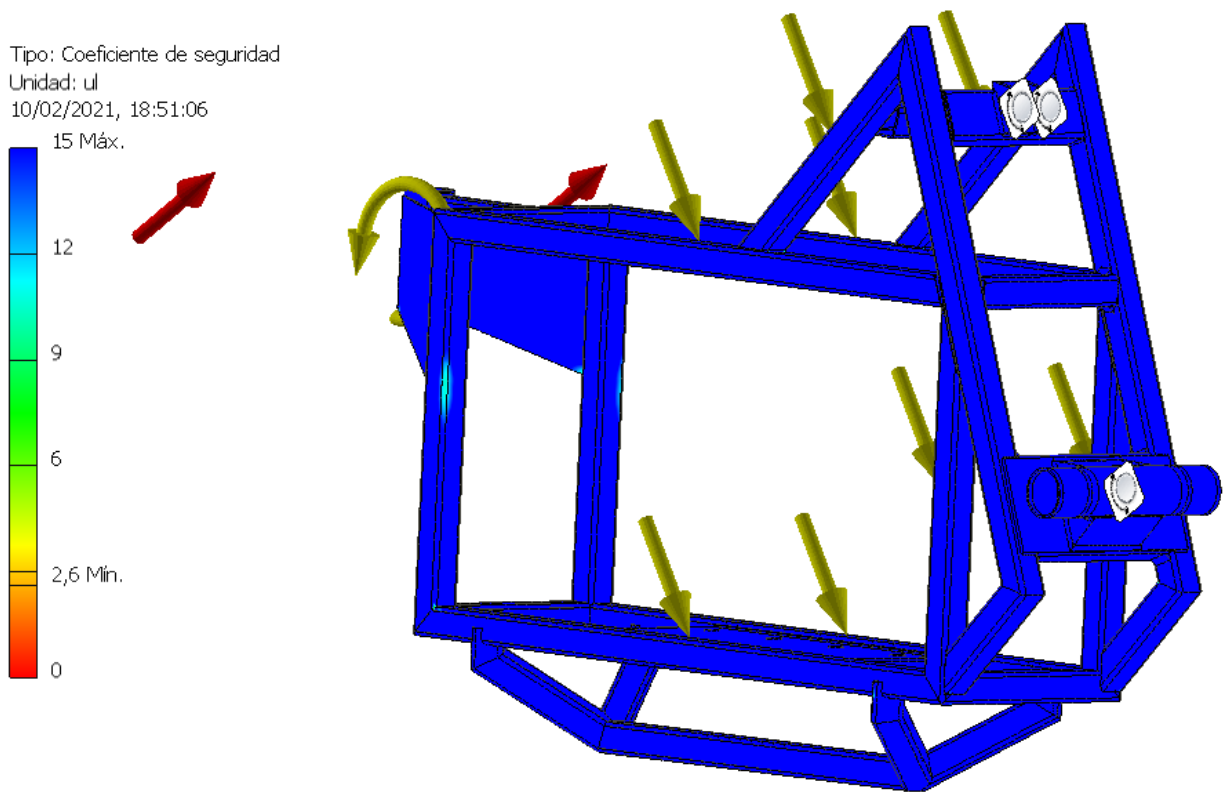


Figura 99. Gráfica de coeficiente de factor de seguridad.

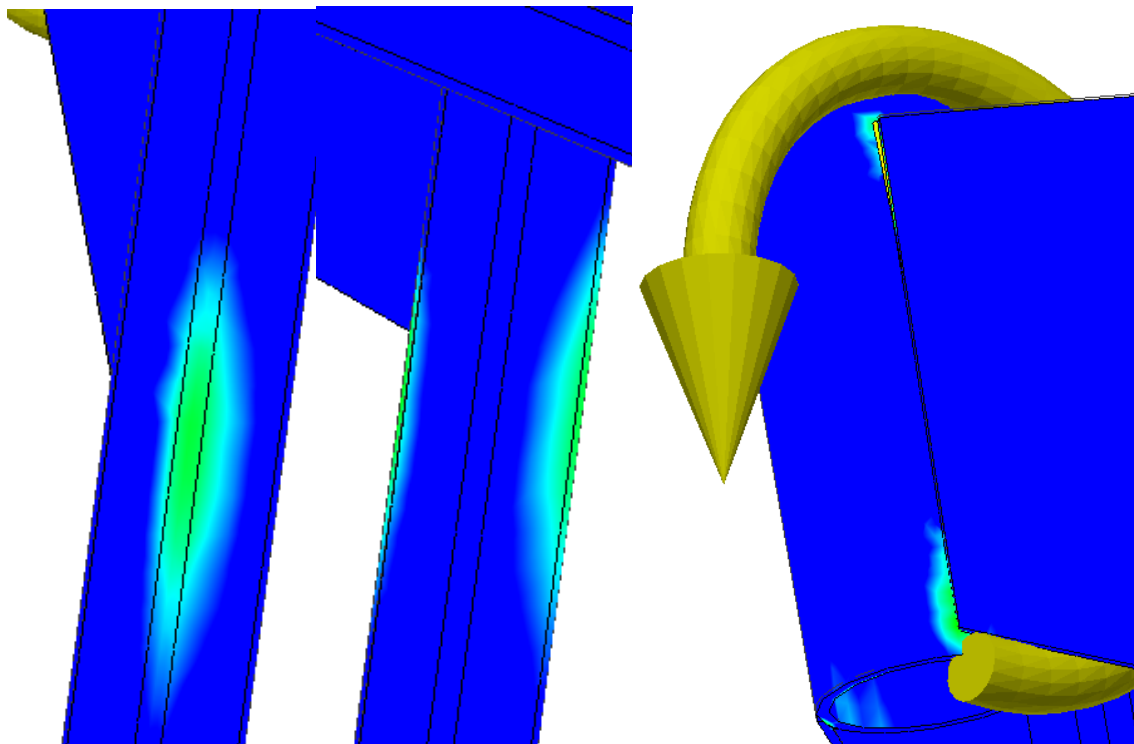


Figura 100. Acercamiento a los puntos críticos.

Validación de resultados de la simulación con el software Simsolid.

Con el objetivo de validar los resultados obtenidos de la simulación en el software de diseño asistido por computador Inventor, con su extensión Nastra in Cad para elementos finitos, se ha utilizado el software de la empresa Altair llamado Simsolid. SimSolid es un software que realiza análisis estructurales en ensamblajes CAD complejos en minutos, gracias a que elimina la preparación de la geometría y el mallado. Estos dos procesos son las dos tareas más laboriosas, con mayor experiencia y propensas a errores realizadas en una simulación estructural convencional. (Altair, 2021)

La siguiente figura muestra la asignación de cargas y restricciones sobre el chasis, las cuales son las mismas que se utilizó en el otro software Inventor. Esto con la finalidad de poder comparar los resultados obtenidos en ambos programas y obtener el error existente entre los valores de cada uno.

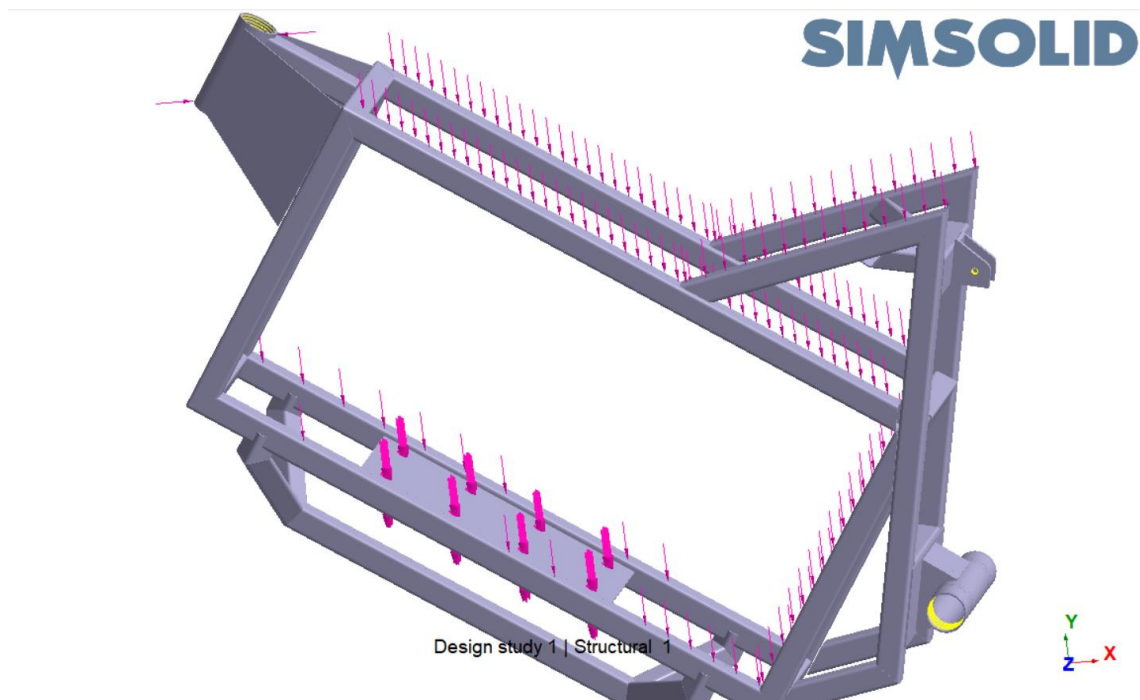


Figura 101. Asignación de cargas y restricciones en Simsolid.

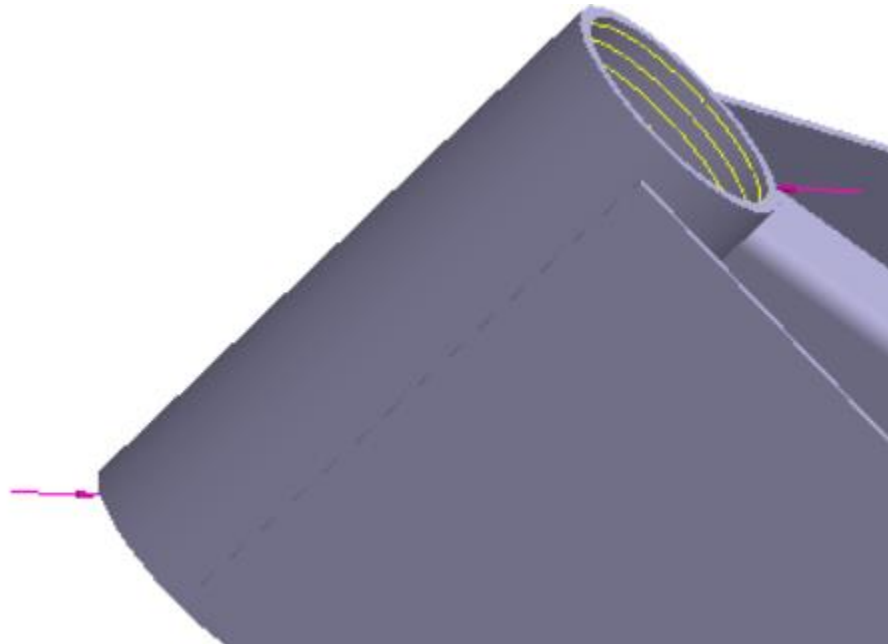


Figura 102. Aplicación del par de fuerzas producido por el frenado.

La siguiente figura muestra la aplicación de fuerzas debidas al peso del conductor y pasajero. Se han utilizado las mismas fuerzas en las áreas correspondientes al igual que en Inventor.

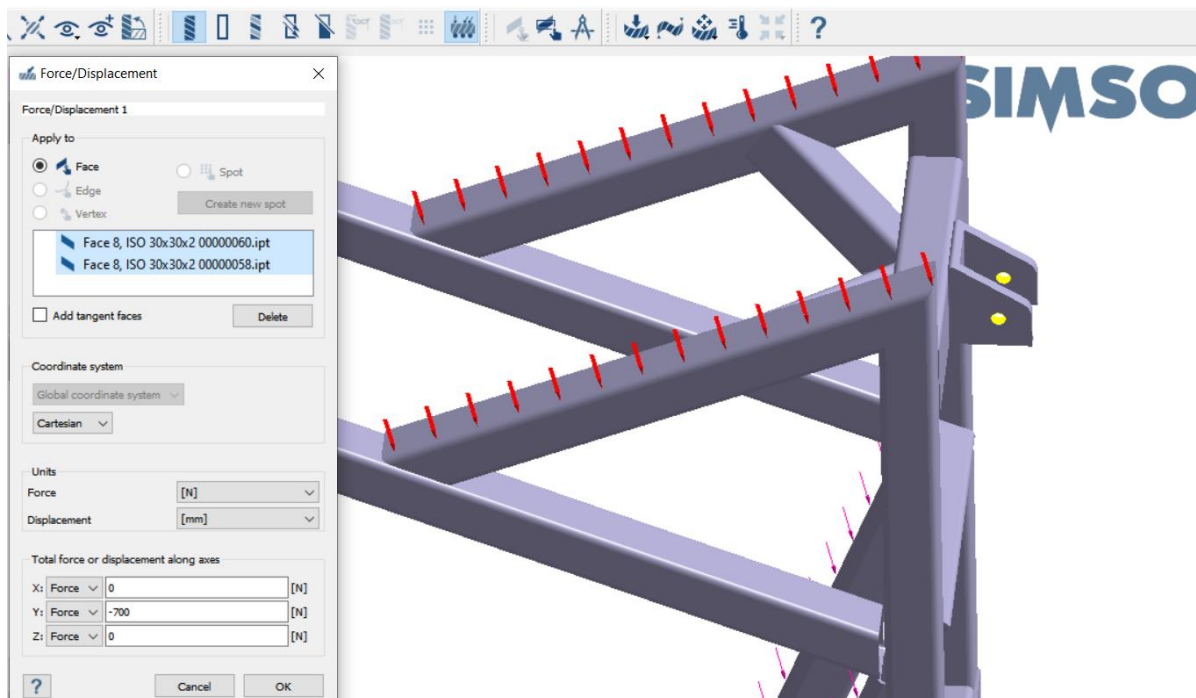


Figura 103. Aplicación de fuerzas sobre el asiento del chasis.

A continuación, se muestra el resultado de la magnitud del desplazamiento en toda la estructura con el código de colores que muestra los valores de mayor magnitud en color rojo y los de menor magnitud en color celeste oscuro. El valor máximo de desplazamiento es de 0,506 mm.

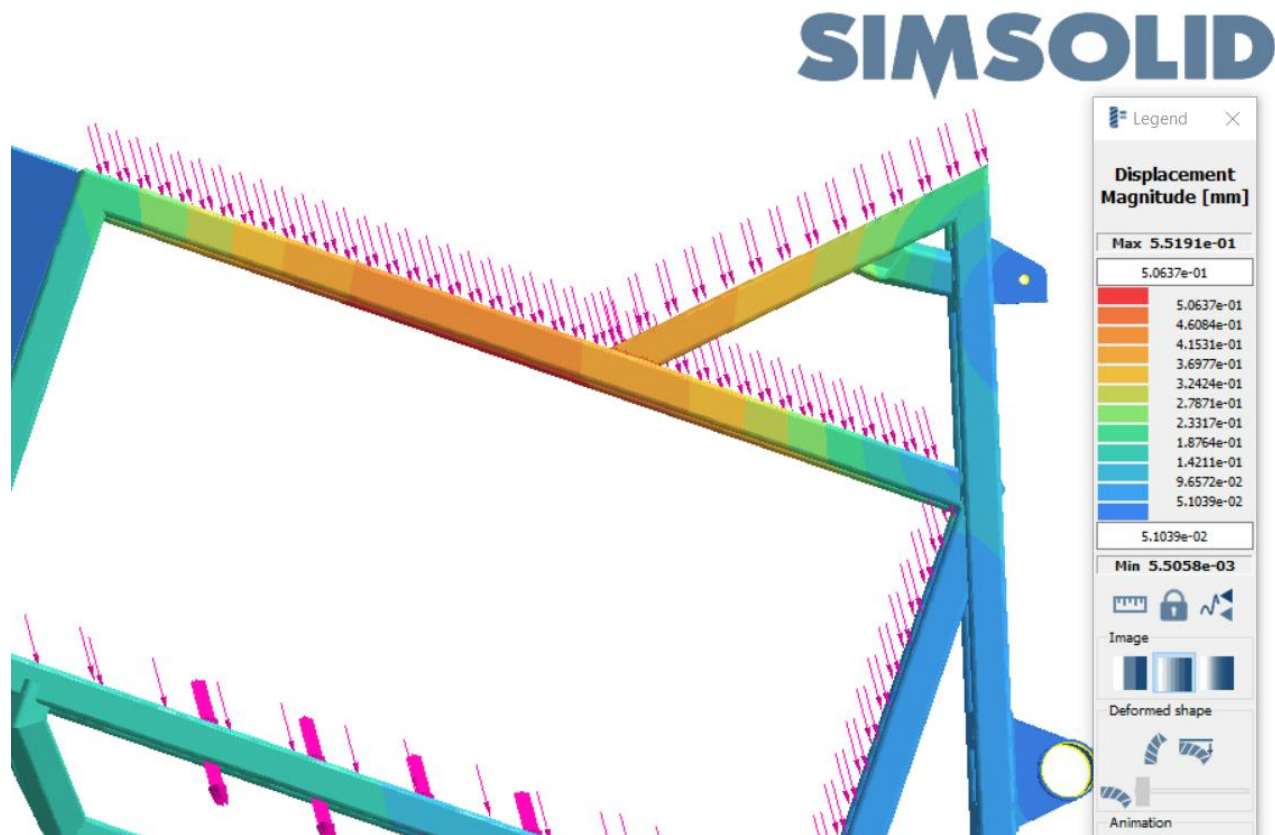


Figura 104. Gráfica desplazamiento.

La siguiente figura muestra los resultados de la simulación de análisis estático estructural con la magnitud del esfuerzo de Von Mises. Estos valores también nos sirven para compararlos con los resultados obtenidos con el otro software de análisis Inventor Nastran in Cad, y posteriormente calcular el error existente entre los dos valores.

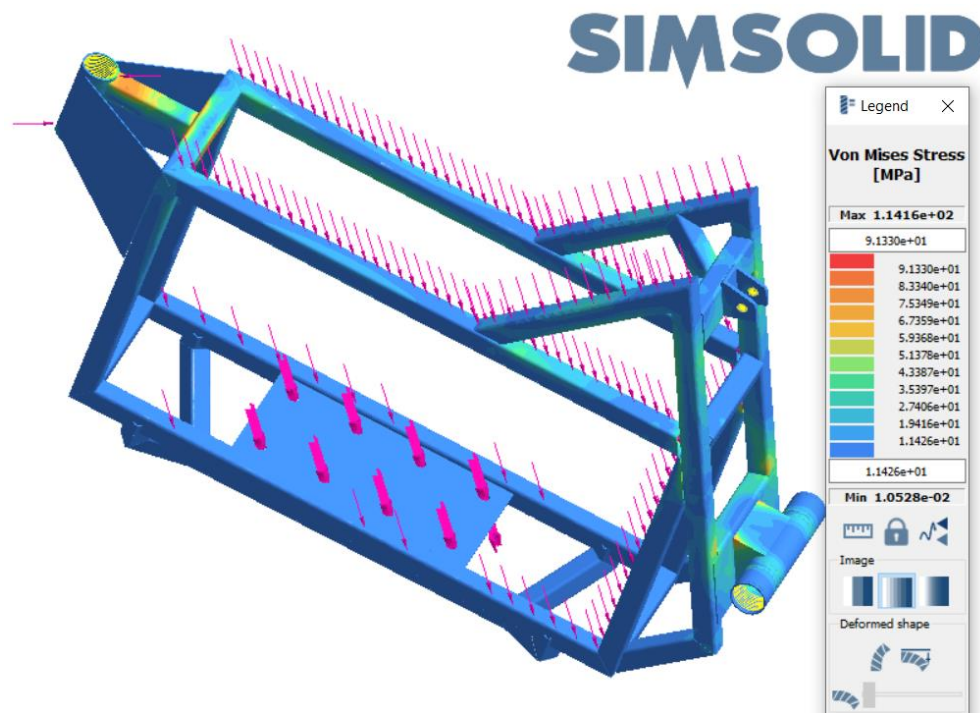


Figura 105. Gráfica Esfuerzo Von Mises.

Finalmente se muestra el resultado de factor de seguridad obtenido del software Simsolid, del valor mínimo de 2.9, siendo similar al valor obtenido del software Inventor Nastran.

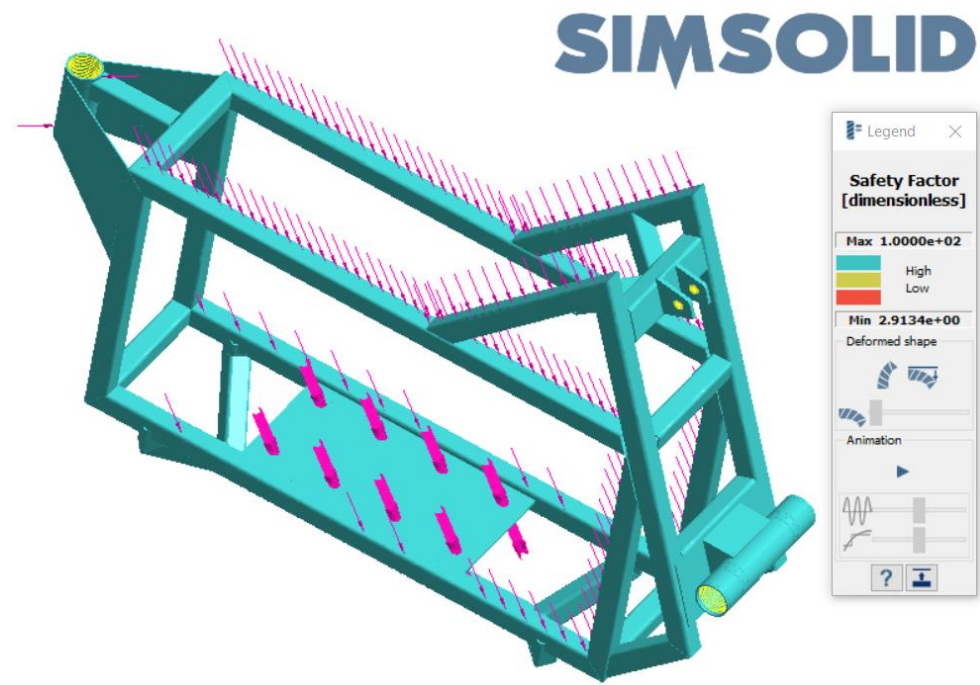


Figura 106. Factor de seguridad.

Construcción del prototipo final de chasis de la moto eléctrica

La última fase del presente proyecto es la construcción del chasis de la moto eléctrica anteriormente diseñado con ayuda del computador. Para esto es necesario comprar algunos de los componentes principales sobre los cuales va soportado el chasis como es el aro y llanta delantera, la suspensión delantera y trasera, el castillo de la dirección y el manubrio.



Figura 107. Compra del aro delantero, llanta delantera y del amortiguador trasero.



Figura 108. Barras de suspensión delantera y castillo de la dirección.

Como siguiente paso se procede a cortar los tubos cuadrados según la medida diseñada para construir el cubo donde va a ensamblarse la batería. Esta zona es la más grande debido al gran tamaño de la batería la cual tiene dimensiones de $(225 \pm 3) \times (690 \pm 2) \times (325 \pm 2)$ mm y un peso de 55 kg. Por lo tanto, esta zona dio la forma a la moto y debe construirse con bastante resistencia.



Figura 109. Construcción del primer cuadrado del chasis con sus ángulos rectos.

Se utilizó instrumentos de medida precisos y las flechas amarillas que se observan en la figura para obtener ángulos rectos de 90° . Se dio una tolerancia de 2 cm a cada lado con el objetivo de tener libertad para ensamblar la batería con holgura.



Figura 110. Construcción de los laterales rectos del cubo con ángulos de 90 grados.

La siguiente figura muestra el cubo de la batería terminado, el cual es la pieza principal del chasis de la moto, sobre el cual van a ir ensambladas el resto de los componentes como es el asiento, la suspensión, la dirección y el soporte del controlador electrónico.



Figura 111. Cubo de la batería terminado.

Se utilizó un basculante genérico de otra moto y lo modificó a las dimensiones del motor hub que te tenía en un principio como se observa en la siguiente figura.



Figura 112. Basculante ensamblado al motor hub.

Se realizó un dibujo con escuadras y ángulos en el piso del taller con el objetivo de tener una referencia geométrica de las dimensiones del chasis para cortar los cubos cuadrados a la medida y soldar al cubo de la batería.



Figura 113. Dibujo realizado en el piso con las medidas exactas del chasis.

Luego se cortó los tubos cuadrados que soportan la suspensión trasera y a soldarlos al cubo para seguir con la fabricación del chasis que soporta todos los componentes de la moto.



Figura 114. Soldadura de los tubos que soportan el asiento y la suspensión trasera.

Una vez soldados los tubos de soporte, se procede a soldar el eje en forma de chumacera sobre el cual va ensamblado el basculante como se observa de color amarillo en la siguiente figura.



Figura 115. Soldadura de la chumacera para el eje chasis-basculante.

La siguiente figura muestra un bosquejo de cómo va a ser ensamblado el basculante y el amortiguador de la suspensión trasera al chasis.



Figura 116. Bosquejo del ensamblaje entre el basculante, amortiguador y chasis.

El siguiente paso es ya ensamblar el basculante al chasis y proceder a soldar un tubo cuadrado entre el chasis y el eje de la dirección. Esto ya nos permite visualizar el chasis soportado por sus 2 llantas y poder afinar los ángulos para evitar interferencias entre los componentes.



Figura 117. Chasis ensamblado con los componentes delanteros y traseros.

A continuación, se procede a reforzar la unión entre el tubo de la dirección y el basculante, soldando una platina gruesa entre los tubos cuadrados del chasis y el tubo donde va ensamblado el castillo de la dirección y las barras de la suspensión. Es muy importante realizar este refuerzo ya que existen fuerzas que interactúan esta zona producidas por el giro de la rueda delantera en plena conducción al tomar las curvas de las calles y autopistas. La platina tiene un espesor de 3 mm y se realizó un cordón de soldadura a lo largo de toda la platina con electrodos 7018 de bajo contenido de hidrógeno y alta resistencia mecánica. La siguiente figura muestra esta soldadura del tubo de la dirección con el chasis.



Figura 118. Soldadura del tubo de la dirección con el chasis y refuerzo con platina.

Continuando con el ensamblaje del chasis con sus diferentes componentes, se realiza el soporte del amortiguador trasero con un refuerzo de tubos diagonales con el objetivo de aumentar la resistencia a los esfuerzos producidos por las irregularidades del suelo y las vibraciones.



Figura 119. Soldadura del soporte del amortiguador y refuerzos.

Una vez realizado la sujeción del amortiguador entre el chasis y el basculante, se procede a ajustar la longitud del amortiguador para obtener la altura del asiento diseñada para personas de estatura media ecuatoriana de alrededor de 1.60 m.



Figura 120. Calibración de la longitud del amortiguador.

Seguido de esto, se muestra la moto ya ensamblada con los componentes principales.



Figura 121. Moto ensamblada con base de asiento metálico.

Se procede a realizar pruebas de ergonomía sobre la moto ensamblada con el objetivo de ajustar las dimensiones acorde al diseño asistido por computador.



Figura 122. Prueba de ergonomía sentado sobre la moto

Como se puede observar en la anterior foto, el diseño de la motocicleta se asemeja más a una moto tipo turismo como se muestra en la siguiente figura



Figura 123. Tipo de moto turismo

Fuente: (Gaby, 2019)



Figura 124. Vista frontal del piloto sobre la moto ensamblada.



Figura 125. Vista lateral de la moto ensamblada con su respectivo asiento.

Proceso de Pintura

Una vez terminado la fabricación del chasis con todos sus elementos constructivos, el siguiente paso es el proceso de pintura el cual comienza con un lijado uniforme de todas las superficies con el objetivo de que la pintura se adhiera fácilmente al chasis y no existan materiales contaminantes en la superficie antes de pintar.



Figura 126. Vista lateral del chasis después de haber sido lijado completamente.

Las siguientes 2 figuras muestran a detalle el acabado del proceso de lijado en diferentes ángulos para quitar toda la oxidación que se produjo en los procesos de soldadura.



Figura 127. Vista inferior del chasis después de haber sido lijado completamente.



Figura 128. Vista isométrica del chasis después de haber sido lijado completamente.

El proceso de pintura continúa primeramente aplicando una capa de pintura de color gris tenue que sirva como base para posteriormente pintar cualquier color que se desee. Como se observa en la siguiente figura, el señor pintor está utilizando un compresor con soplete y pintura esmalte. Es necesario utilizar mascarilla o cubre boca con filtro al momento de pintar ya que la pintura es tóxica y puede afectar a la salud si se la respira directamente.



Figura 129. Proceso de pintura con soplete.

A continuación, se muestra el basculante pintado por separado con el mismo color gris del chasis para posteriormente pintar todo el conjunto de color negro.



Figura 130. Basculante después del proceso de pintura.

Para finalizar el proceso de pintura se muestra el chasis pintado completamente



Figura 131. Chasis pintado en su totalidad.

Para terminar todo el proceso de fabricación del chasis de la moto, se pintó esta completamente de color negro como se muestra en la siguiente figura. Se encuentra ensamblado todos los componentes principales de suspensión y dirección. La moto está lista para ser colocada la batería y conectada al controlador electrónico para ser puesta en marcha.



Figura 132. Motocicleta pintada y ensamblada completamente.

Discusión de resultados

Discusión del material seleccionado

Una vez realizado los métodos multicriterio para la selección del material, en los cuales se tomó en consideración algunos factores importantes para la construcción del chasis resultante obtenido por medio del diseño y simulación asistido por computador, se determinó que las características más importantes a tomar en cuenta son el esfuerzo de tracción, esfuerzo de fluencia, soldabilidad y costo del material. En consecuencia, los materiales que más cumplían con estas propiedades o características resultaron ser el acero A36 y el acero AISI 1020, de los cuales se seleccionó el material A36, ya que es el más comercial, asequible y con mayor soldabilidad del mercado ecuatoriano. A continuación, se presenta una tabla con las propiedades de los dos materiales.

Tabla 29.

Propiedades de los materiales más adecuados.

Denominación	Material	Módulo Elástico (MPa)	Módulo de Poisson	Costos (USD) /1m	Densidad (kg/m ³)	Esfuerzo de (MPa) tracción	Esfuerzo a la fluencia (MPa)
1	AISI 1020	207000	0.33	3.15	7900	441	260
2	ASTM A36	200000	0.30	2.60	7850	400	248

Tabla 30.

Resultados de la simulación del análisis estático con los dos materiales.

Denominación	Material	Desplazamiento Máximo (mm)	Esfuerzo Máximo Von Mises (MPa)	Coeficiente de Seguridad
1	AISI 1020	0,51	99,9	2,8
2	ASTM A36	0,54	102,3	2,6

Los resultados de ambos materiales luego de la simulación son muy parecido, se escoge el A36.

Tabla 31.

Perfil mecánico cuadrado ASTM A36.

Especificaciones	Datos
Norma	ASTM A36
Norma de fabricación	INEN 2415
Largo nominal	6 m
Recubrimiento	Negro
Espesor	2 mm
Medidas	30 * 30 mm
Peso	1.35 kg/m
Precio	2,60 \$/m
Unidades	3
Límite Elástico	248 MPa
Resistencia a la tracción	400 MPa

Fuente: IPAC

Discusión del esfuerzo máximo de Von Mises en el chasis

En el presente proyecto se realizó la simulación mecánica de análisis de esfuerzos estáticos al chasis diseñado asumiendo una carga principal de 140 kg correspondiente al peso promedio de 2 personas sentadas en el asiento. Además, el segundo mayor peso que soportará el chasis es el de la batería, el cual es de 55 kg. Finalmente, como peso muerto se tiene al controlador electrónico que tiene un peso de 6 kg. En total se considera que el chasis estará soportando una fuerza de 2000 N en su estado estático. Ya en movimiento intervienen dos fuerzas principales que son la de frenado y la de movimiento de la dirección al tomar las curvas como se mencionó en capítulos anteriores. Estas fuerzan tienen un valor de 2732,5 N y 100 N a cada extremo del manubrio.

Luego de aplicarse la fuerzas antes mencionadas al chasis en la simulación de análisis de esfuerzos estática se obtuvo el valor del esfuerzo de Von Mises de 102,3 MPa. Si el valor del límite de fluencia del material seleccionado es de 250 Mpa, entonces el factor de seguridad

mínimo que tiene el chasis es de 2,5. Este factor de seguridad es mayor al recomendado por fabricantes de estructuras el cual es de 1,5, por lo tanto, soporta perfectamente la carga propuesta sin temor a que el material empieza a deformarse y peor aún a romperse.

En un estudio similar realizado en Colombia acerca del diseño y construcción de una motocicleta eléctrica se observa que la carga máxima que aplicaron al chasis de su moto es de 2040 N, similar a este estudio. El esfuerzo máximo de Von Mises que se calculó en este estudio es de 60,7 MPa y el límite de fluencia del material que utilizaron es de 175 MPa. En consecuencia, el factor de seguridad que obtuvieron en ese proyecto fue de 2,8. (Arteaga et al., 2014)

Con el objetivo de validar los resultados del presente estudio se calculará el error entre el factor de seguridad que se obtuvo en el presente proyecto y el factor del proyecto de la universidad colombiana.

$$\% \text{ error} = \left| \frac{\text{valor calculado} - \text{valor de referencia}}{\text{valor calculado}} * 100 \right|$$

$$\% \text{ error} = \left| \frac{2,5 - 2,80}{2,5} * 100 \right|$$

$$\% \text{ error} = 12\%$$

Discusión del desplazamiento máximo en el chasis

Respecto al desplazamiento máximo obtenido de la simulación de análisis de esfuerzos en el chasis se obtuvo en el presente proyecto un desplazamiento de 0,54 mm. Si se compara con una investigación realizada en Pamplona – España por el autor (Larrauri, 2012), se observa que ellos obtuvieron un valor muy similar de 0,47 mm. Con esto se comprueba que los resultados

obtenidos en la presente investigación están dentro del rango de otras investigaciones internacionales de alto prestigio.

A continuación se calculará el porcentaje de error entre los dos valores de desplazamiento máximo.

$$\% \text{ error} = \left| \frac{\text{valor calculado} - \text{valor de referencia}}{\text{valor calculado}} * 100 \right|$$

$$\% \text{ error} = \left| \frac{0,54 - 0,47}{0,54} * 100 \right|$$

$$\% \text{ error} = 12,96\%$$

Discusión del Chasis

Un proyecto realizado en los Estados Unidos por una empresa de energías renovables llamada Renewable Systems Technology de la mano del experto en motocicletas eléctricas (Biggar, 2019) sirvió de guía para el presente proyecto ya que ellos utilizaron un motor hub de 8000 watts de potencia continua y una batería de similares características que el presente proyecto de 72 V y 60 Ah capaz de brindar una autonomía de 100 km y una velocidad máxima de 120 km/h.

Las siguientes figuras muestran el diseño CAD de la motocicleta, el chasis y su modelo final.

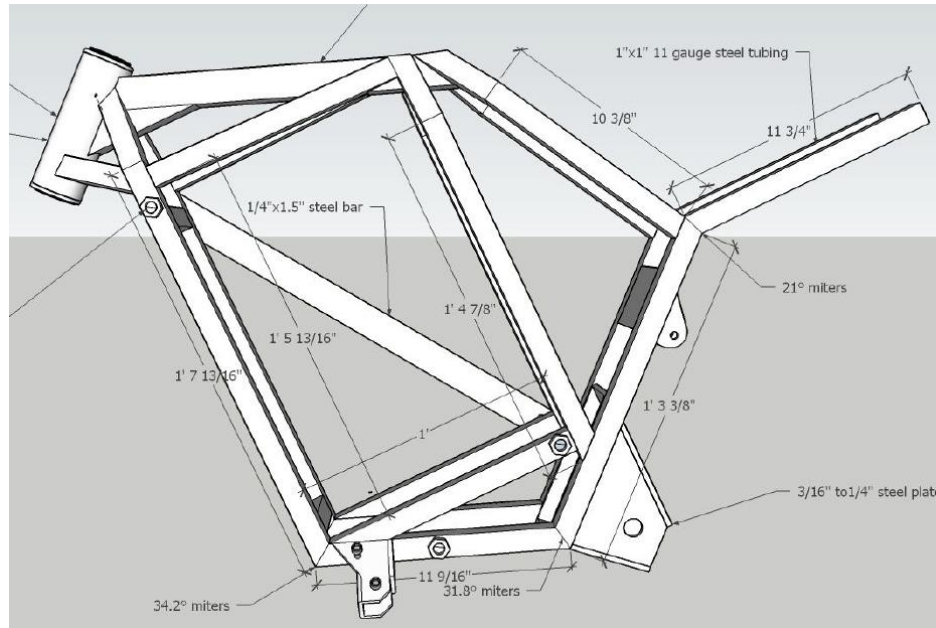


Figura 133. Diseño del chasis de la investigación de referencia (Biggar, 2019)

Esta es la motocicleta que sirvió de modelo a seguir para el presente proyecto. Ya que el alcance de esta investigación fue construir el chasis de la moto, se recomienda terminar la moto.



Figura 134. Moto eléctrica construida por la empresa de energía renovables (Biggar, 2019)

Como se puede observar en las anteriores figuras, la configuración de la batería está en forma inclinada para aprovechar el espacio entre las ruedas y disminuir el largo total de la moto. Este diseño de chasis es el más apropiado para contener la batería de gran dimensión y peso necesaria para obtener el mejor rendimiento de un motor tan potente como estos motores hub. En el presente proyecto se diseñó el chasis de forma que la batería ingrese por un lado y sea asegurado con tornillos y una barra al otro lado como se muestra en la siguiente figura.

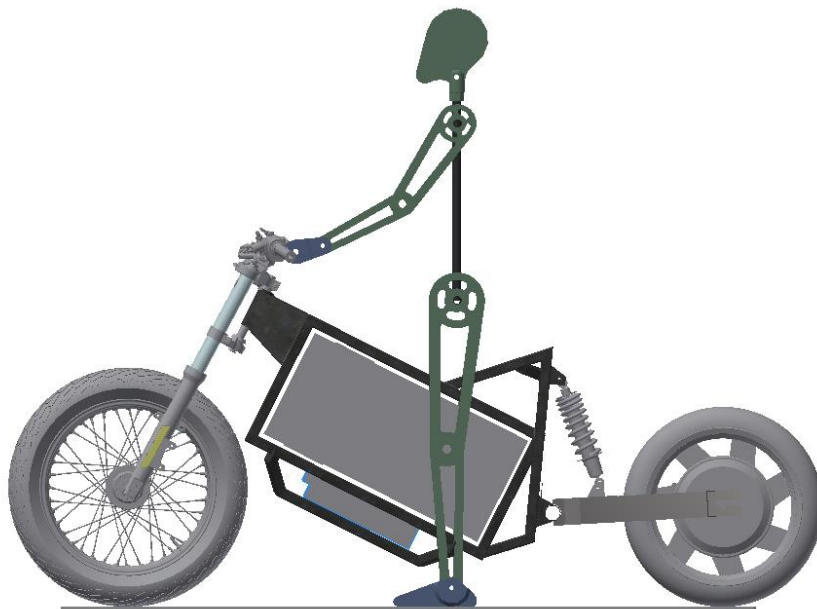


Figura 135. Vista lateral del diseño de moto propio

Se muestra el chasis de la moto construido según el diseño CAD anterior listo para montar la batería y demás componentes electrónicos. Ya que no se ha comprado la batería por parte de la universidad, no se ha podido poner en funcionamiento la moto. Se espera que un futuro en la facultad de ingeniería mecánica le puedan hacer pruebas de funcionamiento.



Figura 136. Fotografía de la moto eléctrica construida en este proyecto

Discusión de la validación de resultados

Finalmente se realizará una discusión referente a la validación de resultados obtenidos de la simulación en los dos softwares de ingeniería asistida por computador Inventor Nastran y Simsolid. A continuación, se ha tabulado los datos más importantes de los resultados del análisis de esfuerzos estático de ambos programas.

Tabla 32.

Resultados finales de los dos programas de simulación.

	Desplazamiento Máximo (mm)	Esfuerzo Máximo Von Mises (MPa)	Factor de Seguridad
Inventor Nastran	0,543	102,30	2,6
Simsolid	0,506	91,33	2,9
% Error	6,81%	10,72%	11,53%

La tabla muestra que los valores de los resultados son similares en ambos programas de simulación, llegando a un porcentaje de error máximo 11,5%, el cual es menor al 15% recomendado por los especialistas para validar valores resultantes en simulaciones. Por lo tanto, se puede decir que los resultados se acercan a la realidad y de la fabricación del chasis se obtendrá una estructura estable y segura.

Conclusiones

- Se realizó el diseño del chasis y basculante de la moto eléctrica de acuerdo con la tabla de medidas antropométricas de nuestro país vecino Colombia debido a que en Ecuador no existe un estudio específico de este tipo de medidas. Se utilizó la altura promedio de los hombres la cual es de 1,69 metros.
- Se tomó en consideración los ángulos principales de la postura del conductor con el objetivo de brindar comodidad en la conducción de la moto por periodos prolongados de tiempo similares a los ángulos de una moto de turismo. Se procuró que la espalda permanezca recta para evitar fatiga y problemas lumbares.
- Se incorporó en el chasis una bornera para realizar la conexión entre el motor eléctrico y el controlador electrónico, ya que los cables de conexión son muy cortos y no alcanzan hasta el controlador.
- La fabricación del chasis se realizó en su mayoría con tubos cuadrados de acero estructural A36, ya que es el más asequible del mercado, de bajo costo y excelente soldabilidad.
- En el estudio simular realizado en Colombia se obtuvo un factor de seguridad de 2.8, similar al valor del presente proyecto que fue de 2.5. Por lo tanto, el error entre los dos valores fue de 12%.
- El desplazamiento máximo obtenido en el presente proyecto fue de 0,54 mm. Si se compara con una investigación realizada en Pamplona – España por el autor (Larrauri, 2012), se observa que ellos obtuvieron un valor muy similar de 0,47 mm. Con lo cual el error entre los dos valores es de 12.96%.

Recomendaciones

- Se sugiere en futuros proyectos realizar el diseño de componentes plásticos que cubran el chasis herméticamente, en especial las conexiones eléctricas y guarda fangos delantero y trasero. Esto con materiales compuestos biodegradables.
- Sería importante realizar el diseño de elementos protectores para todo el chasis que cumplan con la normativa de aislamiento IP 68, con el objetivo de evitar que esté en contacto el agua lluvia con la batería y otros circuitos electrónicos.
- Se propone realizar la construcción del mismo diseño con otros materiales como aluminio o acero inoxidable, con el objetivo de realizar una tabla comparativa de costos de fabricación y facilidad de construcción.
- Se recomienda hacer el diseño de una moto de tres llantas que tenga mayor estabilidad y puede ser manejado por una mayor cantidad de personas con alturas menores a la utilizada en el presente proyecto.
- Se recomienda poner atención a todas las juntas soldadas en el software antes de realizar la simulación, para evitar obtener resultados erróneos con ruptura en las juntas.
- Realizar siempre una validación de resultados de un software de simulación con otro software utilizando los mismo parámetros de fuerzas y restricciones.
- Se recomienda realizar el análisis de las soldaduras de la estructura en un tema de tesis complementario al presente proyecto.

Referencias

Aliexpress. (20 de Octubre de 2019). Obtenido de

https://es.aliexpress.com/item/4000092185543.html?ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_0,searchweb201603_0,ppcSwitch_0&algo_pvid=4d54d0b8-5457-44d8-bb29-590f1f308069&algo_expid=4d54d0b8-5457-44d8-bb29-590f1f308069-21

Altair. (14 de 01 de 2021). *Altair*. Obtenido de <https://www.altair.com.es/simsolid/>

Arteaga, L., Delgado, C., Pantoja, M., & Pantoja, A. (2014). Diseño y construcción de una motocicleta eléctrica: una alternativa para el transporte sostenible. *El Hombre y La Máquina*, 45, 88–97.

Avila Chaurand, R., Prado Leon, L. R., & Gonzalez Muñoz, E. L. (2015). Dimensiones antropométricas de población latinoamericana. In *ResearchGate* (Issue May 2015). https://www.researchgate.net/publication/31722433_Dimensiones_antropometricas_de_la_poblacion_latinoamericana_Mexico_Cuba_Colombia_Chile_R_Avila_Chaurand_LR_Prado_Leon_EL_Gonzalez_Munoz

Aznar, J. (2011). *Valoracion multicriterio*.

Balyi, I., Way, R., & Higgs, C. (2005). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における関連指標に関する共分散構造分析Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 12 Suppl 1(9), 1–29. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7990-1>

Becton, M. K., & Becton, M. K. (2011). *Building an Electric Motorcycle : Design and Construction of a Zero Roadside Emissions Vehicle By.*

Biggar, J. (2019). *12 kW Electric Motorcycle*.

Brodsky, P., Fan, G., & Canova, M. (2016). Battery pack design and optimization for the OSU Buckeye current 2016 electric racing motorcycle. *2016 International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles and International Transportation Electrification Conference, ESARS-ITEC 2016*.
<https://doi.org/10.1109/ESARS-ITEC.2016.7841436>

Casajús, L. (2012). Tipos de chasis de motocicleta. *Revista Técnica*, 51(1), 1–4.

Ch, E. K. (n.d.). 画非 丰. 17–20.

De, D., Jianming, H., Gang, L., & Song, C. (2010). *Diseño de optimización dinámica de la estructura del cuadro de la motocicleta*. 119–123.

Espinosa, J. (2016). Metodologías multicriterio para la valoración de bienes inmuebles urbanos en una zona piloto de la ciudad de Quito. *Escuela Superior Politécnica Del Ejercito*, 103.

Gómez-Ruiz, N. J., Vergara-Paredes, M. J., & Alvarado-Contreras, J. A. (2017). Estudio De Convergencia Por Análisis De Elementos Finitos En Tejido Óseo Cortical. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, 21(2), 85–103.
<https://www2.uned.es/ribim/volumenes/Vol21N2Octubre2017/V21N2A07.pdf>

Grajales, Q. (2013). Los Métodos Y Procesos Multicriterio Para La Evaluación. *Luna Azul*, 36.
<https://doi.org/10.17151/luaz.2013.36.14>

Hale, A., Pelowski, D., & Bhise, V. (2007). Commonality and differences between cruiser, sport, and touring motorcycles: An ergonomics study. *SAE Technical Papers*, 724.
<https://doi.org/10.4271/2007-01-0438>

- Hsiao, S. W., Chen, R. Q., & Leng, W. L. (2015). Applying riding-posture optimization on bicycle frame design. *Applied Ergonomics*, 51, 69–79.
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.04.010>
- Larrauri, A. (2012). *ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS Titulación : Tutor : Pedro María Villanueva Roldán.*
- Liu, K. (2000). 托架度量介析. 8–10.
- Liu, W., & Cui, J. (2008). Entropy Coefficient Method to Evaluate the Level of Sustainable Development of China 's Sports. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 02(02), 72–78.
- Martinez, J., Macías, B., & Rodriguez, M. (2020). *Proyecto Motor Eléctrico de Motocicleta.*
- Molano, D., & Alvarado, J. C. (2018). Comparación y Validación del método critic. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 2(□□□□ □).
<https://doi.org/10.1051/matecconf/201712107005>
- Molina, R. (2019). Universidad Internacional SEK. In *Panorama.*
- Ramón, M. (n.d.). *Ergonomía del puesto de conductor en motocicletas.* 1–183.
- Rege, S., Khatri, C., Nandedkar, M., & Wagh, N. (2017). Design and analysis of frame for electric motorcycle. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 6(10), 19500–19507. <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2017.0610039>
- Ruíz, A. A. B. (2015). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における 健康関連指標に関する共分散構造分析Title. 3(2), 54–67. <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>

SanRoman, D. (2018). *Diseño del chasis de una motocicleta de competición*.

Sharp, R. S., Evangelou, S., & Limebeer, D. J. N. (2004). Advances in the modelling of motorcycle dynamics. *Multibody System Dynamics*, 12(3), 251–283.

<https://doi.org/10.1023/B:MUBO.0000049195.60868.a2>

Song, C., & Xin, H. (2007). 陈松, 黄欣 *Dynamic Analysis of the Motorcycle by FEM*

Abstract :

Stedmon, A. W., Brickell, E., Hancox, M., Noble, J., & Rice, D. (2011). MotorcycleSim: A user-centred approach in developing a simulator for motorcycle ergonomics and rider human factors research. *Advances in Transportation Studies*, 27(27), 31–48.

Teoh, S. J., Bakar, R. A., & Gan, L. M. (2013). Computational analysis on plug-in hybrid electric motorcycle chassis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 50(1).

<https://doi.org/10.1088/1757-899X/50/1/012042>

Tony Foale. (2002). Motorcycle Handling and Chassis Design. *Motorcycle Handling and Chassis Design*, 267–316.

<https://drive.google.com/file/d/1AVD4AmhGwZsfZiF6xYG6x2irKqvi5iyx/view>

Torrano, S. (2017). *Teorias de fallo estatico*. 23–37.

Torres, A. A. (2018). *Propuesta De Diseño De La Estructura De Un Cuadro De Bicicleta*

Impulsada Por Un Motor Eléctrico, Con Un Estudio Y Análisis Que Determine El Material Altamente Adecuado Existente En El País. 132.

<http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2767>

Veselinović, I. (2014). MULTI-CRITERIA METHODS AND MODELS FOR DECISION Ivana

Veselinović. *Facta Universitatis*, 11(3), 261–279.

Xiao, D., Liu, X., Du, W., Wang, J., & He, T. (2012). Application of topology optimization to design an electric bicycle main frame. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 46(6), 913–929. <https://doi.org/10.1007/s00158-012-0803-7>

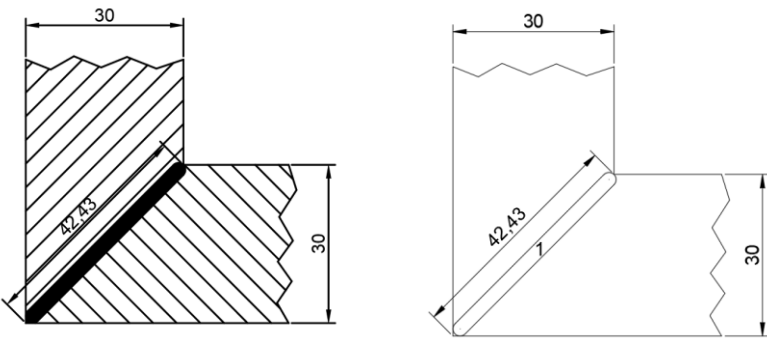
Xing, Z. (2015). *A Study on the Welding Deformation of Motorcycle Frame*.

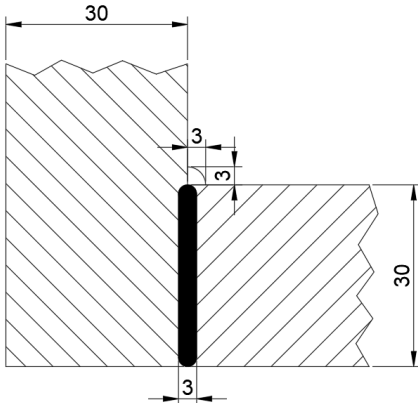
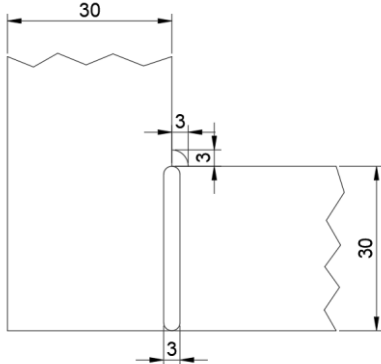
Zhang, Z. (2010). *Analysis on Structure Dynamic Characteristic of Motorcycle Frame with Engine*. 1–6.

Zhi-hong, Z. (2006). *Study on Dynamic Performance Optimization of Motorcycle Frame*. 3.

Anexos

Anexo 1. WPS Juntas soldadas en el chasis

Nombre Compañía: EPN PQR No.: xxxxxxxx Según norm0061: AWS D1.1		No. Identificación: WPS-C10D Fecha: 25/11/2020 Realizado por: Ing. Juan Carlos Segovia. Organización: Escuela Politécnica Nacional	
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: Tope Abertura raíz: N/A Talón: N/A Angulo de ranura: N/A Placa de respaldo: si ☐ no ☒ Preparar bisel: si ☐ no ☒ Método: N/A		Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de soldadura: GMAW Técnica: Recto ☒ Oscilado ☐ Tipo de Soldadura: Manual ☐ Semiautomática ☐ Automática ☒ Soldadura a: Un lado ☒ Dos lados ☐ Cordón de respaldo: si ☐ no ☒ Distancia libre del electrodo (stick out): 1/2-1" Limpieza: Pase raíz : Amoladora Pases siguientes : N/A	
Artículo III. Metal Base Especificación: ASTM A 36 Espesor: 2 mm Tubo cuadrado: 30*30 mm		Artículo IV. Metal de Aporte Modo de transferencia: Corto circuito ☒ Globular ☐ Spray ☐ Pulsada ☐ Corriente: AC ☐ DC EP ☒ DC EN ☐	
Artículo V. Metal de Aporte Diámetro: 1.2 mm Denominación AWS: ER 70S-6 Casa comercial: LINDE Denominación comercial: ER 70 S-6		Artículo VI. Posición de Soldadura Posición de Soldadura: Plana Progresión: izquierda- derecha Técnica: Un pase ☒ Varios pases ☐	
Artículo VII. Protección del gas Tipo de gas: Ar / CO2 Composición : 10% CO2- 90% C02 Flujo de gas: 15 - 20 lt/min		Precalentamiento N/A Tiempo entre pases N/A Artículo VIII. Notas Verificar limpieza de la superficie de soldadura.	
Detalle de la Junta		Escala: 1:2	
			

No de pase	Metal de aporte		Corriente		Velocidad de alimentación del alambre (m/min)	Tensión de trabajo (Voltios)	Velocidad de avance (mm/min)
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad.	Intensidad (Amperios)			
1	ER 70S-6	1.2	DC ⁺	220	7	24.5	400
Nombre Compañía: EPN PQR No.: xxxxxxxxxx Según norma: AWS D1.1					No. Identificación: WPS-C10F Fecha 25/11/2020 Realizado por: Juan Carlos Segovia. Organización: Escuela Politécnica Nacional		
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: Tipo T Abertura raíz: N/A Talón: N/A Angulo de ranura: N/A Placa de respaldo: si ☐ no ☒ Preparar bisel: si ☐ no ☒ Método: N/A					Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de soldadura: GMAW Técnica: Recto ☒ Oscilado ☐ Tipo de Soldadura: Manual ☐ Semiautomática ☐ Automática ☒ Soldadura a: Un lado ☒ Dos lados ☐ Cordón de respaldo: si ☐ no ☒ Distancia libre del electrodo (stick out): 1/2-1” Limpieza: Pase raíz : Amoladora Pases siguientes : N/A		
Artículo III. Metal Base Especificación: ASTM A 36 Espesor: 8 mm Tubo cuadrado: 30*30 mm					Artículo IV. Metal de Aporte Modo de transferencia: Corto circuito ☒ Globular ☐ Spray ☐ Pulsada ☐ Corriente: AC ☐ DC EP ☒ DC EN ☐		
Artículo V. Metal de Aporte Diámetro: 1.2 mm Denominación AWS: ER 70S-6 Casa comercial: LINDE Denominación comercial: ER 70 S-6					Artículo VI. Posición de Soldadura Posición de Soldadura: Plana Progresión: izquierda- derecha Técnica: Un pase ☒ Varios pases ☐		
Artículo VII. Protección del gas Tipo de gas: Ar / CO2 Composición : 10% CO2- 90% C02 Flujo de gas: 15 - 20 lt/min					Artículo VIII. Notas • Verificar limpieza de la superficie de soldadura		
Artículo VIII. Notas • Verificar limpieza de la superficie de soldadura					Precalentamiento N/A Tiempo entre pases N/A		
Detalle de la Junta Escala: 1:2  							
	Metal de aporte		Corriente				

No de pase	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad.	Intensidad (Amperios)	Velocidad de alimentación del alambre (m/min)	Tensión de trabajo (Voltios)	Velocidad de avance (mm/min)
1	ER 70S-6	1.2	DC ⁺	220	7	24.5	400

Anexo 2. Plano del chasis

