

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO DE UN MARCO DE MOTOCICLETA TRIAL
UTILIZANDO DIMENSIONES ANTROPOMÓRFICAS DEL PILOTO
Y TECNOLOGÍAS DE LAS BICICLETAS DOWNHILL
PARA REDUCIR EL PESO DEL MISMO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

WILLY CUSQUISIBAN ZULOETA

ASESOR

ING. IVÁN DANTE SIPIÓN MUÑOZ

Chiclayo, 2019

DEDICATORIA

Dedicado a todas aquellas personas que contribuyeron directa e indirectamente en mi desarrollo académico.

*“Me enseñaron que el camino del
progreso no es ni rápido ni fácil”*

Maria Salomea Skłodowska

RESUMEN

La modalidad de trial consta de sobrepasar obstáculos naturales o artificiales mediante saltos sin rampa en condición estacionaria sin bajarse de la motocicleta, por lo tanto, estas tienen que tener un elevado torque y tener el menor peso posible para su fácil maniobrabilidad. Siendo este último el mayor responsable en ganar un campeonato o no.

Las partes más pesadas en una motocicleta son, el motor y el marco, siendo este último el menos investigado en comparación con los demás componentes de la motocicleta, llegando a pesar hasta 6kg aun siendo diseñados con aleaciones de titanio. Por lo tanto, reducir el peso del marco es clave para ganar una competición.

Se acoto el marco acorde a las dimensiones antropomórficas del piloto para el uso exacto de material, teniendo como base el canon de 7.5 cabezas, utilizado en arquitectura para dimensionar el cuerpo humano. Posteriormente se realizó un modelamiento matemático del comportamiento dinámico de los desplazamientos existentes en los sistemas relevantes de la motocicleta, suspensión, deformación de los neumáticos, etc.

Con el modelamiento y el uso de las tecnologías de las bicicletas de downhill, tales como la suspensión con recamaras de aire; se obtuvo las fuerzas que está sometido el marco en un impacto en caída en competición. Estas fuerzas se utilizaron para el cálculo de los espesores de los elementos del marco haciendo uso de MatLab y SimuLink, siendo validado los resultados con SolidWorks Simulation.

Diseñando el marco con base en lo anterior mencionado se logró reducir el peso de la motocicleta en un 25.1% y el costo del marco en un 50%, en comparación a las motocicletas existentes en el mercado. Por lo tanto, un piloto usando esta motocicleta será más competitivo frente a los demás con las motocicletas del mercado.

Palabras Claves: *Motocicleta trial, Análisis estático, Análisis dinámico, Análisis de fatiga, Matemática computacional, Marco personalizado.*

ABSTRACT

The trial mode consists of overcoming natural or artificial obstacles by jumping without a ramp in a stationary condition without getting off the motorcycle, therefore, these must have a high torque and have the lowest possible weight for easy maneuverability. The latter being the biggest responsible in winning a championship or not.

The heaviest parts in a motorcycle are the engine and the frame, the latter being the least investigated compared to the other motorcycle components, weighing up to 6kg even being designed with titanium alloys. Therefore reducing the weight of the frame is key to winning a competition and reducing costs makes it more affordable for pilots. The framework was adapted according to the anthropomorphic dimensions of the pilot for the exact use of material. Subsequently, a mathematical modeling of the dynamic behavior of the displacements existing in the relevant motorcycle systems, suspension, tire deformation, etc. was performed.

With the modeling and use of downhill bicycle technologies, such as suspension with air chambers; the forces that the frame is subjected to in a fall impact in competition were obtained. These forces were used to calculate the thicknesses of the frame elements using MatLab and SimuLink, the results being validated with Solidworks simulation.

Designing the frame based on the aforementioned mentioned, it was possible to reduce the weight of the motorcycle by 25.1% and the cost of the frame by 50%, compared to the motorcycles existing in the market. Therefore a rider using this motorcycle will be more competitive compared to others with the motorcycles on the market.

Keywords: *Motorcycle trial, Static analysis, Dynamic analysis, Fatigue analysis, Computational mathematics, Custom framework.*

ÍNDICE

DEDICATORIA	2
RESUMEN	4
ABSTRACT.....	5
ÍNDICE	6
LISTA DE TABLAS	10
LISTA DE FIGURAS	11
TABLA DE ECUACIONES	13
I. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Objetivos.....	15
a. Objetivo General.....	15
b. Objetivos Específicos	15
1.2. Justificación	16
1.3. Formulación del problema	17
1.4. Formulación de la hipótesis	17
II. METODOLOGÍA DEL DISEÑO	18
III. MARCO TEÓRICO	19
4.1. Estado Del Arte.....	19
a. Historia de las motocicletas	19
- Las motocicletas y la guerra	20
- Las motocicletas hoy en día	20
b. Tipos de motocicletas	21
- Moto GT	21
- Motocross	21
- Enduro	22
- Trail	22
- Trial	23
c. Tipos de marcos de motocicletas	23
- Cobas	23
- Tubular de cuna	24
- Monocasco.....	24
- Tubular de cobas.....	25
- Multitubular	25
d. Proyectos Similares Existentes	26

- Proyecto 1: “Diseño y desarrollo de un chasis de una motocicleta de 250cc para la “II Competición Internacional MotoStudent”.”	26
- Proyecto 2: “Motorcycle Handling and Chassis Design the art and science”	27
e. Problemática Actual:	28
f. Planteamiento del Problema	28
4.2. Marco conceptual	29
a. Canon de 7 cabezas y media	29
b. Esfuerzo y deformación	29
- Deformación y esfuerzos axiales	30
- 4.2.2.2. Deformación y esfuerzos flectores	31
c. Sistemas mecánicos dinámicos traslacionales y rotacionales	32
- Primera ley de Newton	32
- Segunda ley de Newton	32
- Tercera ley de Newton	33
- Masa	33
- Resorte	34
- Amortiguamiento	34
- Modelo matemático dinámico traslacional	35
d. Matlab-simulink	36
e. Análisis por elementos finitos	36
f. Fatiga de elementos mecánicos	36
V. EL MARCO	37
5.1. Elección del tipo de marco	37
5.2. Elección del tipo de material	40
5.3. Dibujo asistido por computadora (CAD)	40
a. Otros componentes	42
- Horquilla	42
- Monoshock	42
- Basculante	43
- Motor	43
b. El ensamble	43
VI. DIMENSIONAMIENTO DEL MARCO	44
6.1. Medidas y proporciones del piloto	44
6.2. Postura del piloto	45
6.3. Tabla de diseño	46

VII. MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO ELÁSTICO DEL MARCO DE TRIAL	49
7.1. Diagrama de cuerpo libre.....	49
a. Sumatoria de fuerzas en el eje “Y”	50
b. Sumatoria de fuerzas en el eje “X”	50
c. Sumatoria de momentos en “P”	50
d. Cálculo de la inercia de área	53
7.2. Análisis dinámico	54
a. Ecuaciones dinámicas del sistema	55
b. Cálculo de h	57
c. Cálculo de G	57
VIII. SIMULACIÓN MATEMÁTICA COMPUTACIONAL.....	58
8.1. Código en MatLab	58
8.2. Modelo en SimuLink	59
a. Bloque de SimuLink del marco	60
IX. CONSIDERACIONES DEL PREDISEÑO	62
9.1. El piloto.....	62
a. Constantes elásticas y amortiguador	63
9.2. Componentes de la motocicleta	65
a. Horquilla	65
b. Motor	65
c. Monoshock.....	66
d. Basculante	66
e. Llanta	66
f. Otros	67
X. SIMULACIÓN ESTRUCTURAL FEA	68
10.1 Análisis estático	69
a. Malla	69
b. Caso 1	70
- Optimización	70
Región 1	71
Región 2	72
Región 3	73
Región 4	74
- Actualización de modelo	75
c. Caso 2	76

d.	Caso 3	77
e.	Caso 4	78
f.	Caso 5	79
10.2	Análisis de fatiga	80
a.	Curva S-N de fatiga	80
b.	Sucesiones.....	80
c.	Detalles del estudio de fatiga.....	81
XI.	COTIZACIÓN	82
XII.	RESULTADOS	84
XIII.	CONCLUSIONES	86
XIV.	RECOMENDACIONES.....	87
XV.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
XVI.	ANEXOS	92
	ANEXO 1: Ecuaciones para el dimensionamiento del piloto.....	92
	ANEXO 2: Modelos de bloques en SimuLink.....	93
	ANEXO 3: Código de MatLab	97
	ANEXO 4: Graficas de desplazamiento	98
	ANEXO 5: Tabla de diseño en Excel	102
	ANEXO 6: Planos.....	103

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Comparación de los tipos de marcos	37
Tabla 2: Composición química y física del acero AISI 4130	40
Tabla 3: Ecuaciones correspondiente a cada parte del cuerpo.....	45
Tabla 4: Código de MatLab	58
Tabla 5: Constantes elásticas y de amortiguamiento de las rodillas.....	62
Tabla 6: Constantes elásticas y de amortiguamiento de las rodillas.....	63
Tabla 7: Características de Fox 36 FIT4.....	65
Tabla 8: Características de Fox DHx2.....	66
Tabla 9: Peso de accesorios.	67
Tabla 10: Detalle de malla.	69
Tabla 11: Detalles del estudio de fatiga.....	81
Tabla 12: Código de MatLab	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Shock ÖHLINS TTX GP	16
Figura 2: Shock FOX FLOAT DPX2	16
Figura 3: Bicicleta de vapor creada por Sylvester Howard Roper	19
Figura 4: 1885 Daimler Reitwagen.....	19
Figura 5: Motocicleta Harley-Davidson en la primera guerra mundial.....	20
Figura 6: Moto GT.....	21
Figura 7: Motocicleta de cross.....	21
Figura 8: Motocicleta de enduro.....	22
Figura 9: Motocicleta de trail.....	22
Figura 10: Motocicleta de trial.....	23
Figura 11: Marco tipo caba de la HONDA COTA 300RR	23
Figura 12: Marco tipo tubular de cuna de la GASGAS TXT 300 PRO	24
Figura 13: Marco tipo monocasco de la BETA EVO FACTORY	24
Figura 14: Marco tipo tubular de caba de la OSSA 280 TI.....	25
Figura 15: Marco tipo multitubular de la VERTIGO COMBAT	25
Figura 16: HONDA COTA 300RR	28
Figura 17: HONDA CRF 250F.....	28
Figura 18: Canon 7 cabezas y media.	29
Figura 19: Representación de un sistema masa resorte amortiguador traslacional ...	35
Figura 20: Comparativa entre un marco de caba y tubular de caba	38
Figura 21: Comparativa entre un marco de caba y tubular de caba 2	39
Figura 22: El marco	40
Figura 23: Pipa de dirección	41
Figura 24: Anclajes para el motor.....	41
Figura 25: Anclajes para el monoshock.....	41
Figura 26: Horquilla de Downhill.....	42
Figura 27: Monoshock de Downhill	42
Figura 28: Basculante	43
Figura 29: Motor.....	43
Figura 30: Ensamble	43
Figura 31: Stack y Reach	44
Figura 32: Postura del piloto en la motocicleta de trial	45
Figura 33: Tabla de diseño.....	46
Figura 34: Medidas del marco de trial	46
Figura 35: Dimensiones corporales de Toni Bou	47
Figura 36: Impacto en caída.....	49
Figura 37: Análisis estático de impacto	49
Figura 38: Diagrama de cuerpo libre del marco	51
Figura 39: Análisis en el punto A	52
Figura 40: Corte en el punto A	53
Figura 41: Características del área transversal	53
Figura 42: Esquema dinámico de la moto	54
Figura 43: h y G	56
Figura 44: Valor de h	57
Figura 45: Valor de G	57

Figura 46: Modelo de bloques de Simulink.....	59
Figura 47: Interfaz gráfica del elemento scope.....	60
Figura 48: Bloque del marco de la motocicleta en SimuLink	60
Figura 49: sistema masa resorte amortiguado del piloto	63
Figura 50: motor horizontal de Honda SuperCub de 110cc	65
Figura 51: Llanta de una bicicleta de DownHill.....	66
Figura 52: Parámetros para el diseño.....	68
Figura 53: Relación de aspecto de malla.	69
Figura 54: Carga y sujeciones impacto en caída.....	70
Figura 55: FS impacto en caída.	70
Figura 56: Región 1.	71
Figura 57: solución 1.	71
Figura 58: Región 2.	72
Figura 59: Solución 2.....	72
Figura 60: Región 3.	73
Figura 61: Solución 3.....	73
Figura 62: Región 4.	74
Figura 63: Solución 4.....	74
Figura 64: FS actualizado.	75
Figura 65: Carga y sujeciones frenada.....	76
Figura 66: FS frenada.	76
Figura 67: Sujeción y carga torsional.	77
Figura 68: FS torsional.	77
Figura 69: Sujeción y carga lateral.	78
Figura 70: FS lateral.	78
Figura 71: Sujeción y carga vertical.	79
Figura 72: FS vertical.	79
Figura 73: S-N AISI 4130 normalizado a 870 °C.....	80
Figura 74: Sucesiones de cargas.	80
Figura 75: Costos unitarios.	82
Figura 76: Esfuerzos impacto en caída.	84
Figura 77: Resultados de estudio de fatiga.	84
Figura 78: Costo de marco GASGAS Rookie/ Cadet Rojo 2009-12.....	85
Figura 79: Dinámica del piloto	93
Figura 80: Dinámica de la moto	93
Figura 81: Dinámica de la llanta.....	94
Figura 82: Cálculo de FS y k4	94
Figura 83: Cálculo de h y G.....	95
Figura 84: Dinámica del marco	95
Figura 85: Diagrama de bloques en SimuLink	96
Figura 86: Desplazamiento de la flecha del marco.....	98
Figura 87: Desplazamiento de la llanta.....	98
Figura 88: Carrera del Shock	99
Figura 89: Cambio de longitud de G	99
Figura 90: Cambio de longitud de h	100
Figura 91: Fuerza P.....	100
Figura 92: Graficas	101

TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 1: Calculo del esfuerzo axial.....	30
Ecuación 2: Calculo de la deformación axial	30
Ecuación 3: Calculo del esfuerzo flector	31
Ecuación 4: Calculo de la flecha en viga.....	31
Ecuación 5: Primera ley de Newton	32
Ecuación 6: Segunda ley de Newton	32
Ecuación 7: Segunda ley de Newton rotacional	32
Ecuación 8: Tercera ley de Newton.....	33
Ecuación 9: Fuerza ejercida por la masa	33
Ecuación 10: momento par ejercido por la masa en rotación.....	33
Ecuación 11: Fuerza ejercida por el resorte.....	34
Ecuación 12: Fuerza ejercida el amortiguador viscoso	34
Ecuación 13: Ecuación diferencial del sistema masa resorte amortiguado	35
Ecuación 14: Canon 7 ½ cabezas.....	44
Ecuación 15: Ecuación stack	47
Ecuación 16: Fuerza interna de reacción	48
Ecuación 17: Sumatoria de fuerzas en el eje Y	50
Ecuación 18: Sumatoria de momentos en P.....	50
Ecuación 19: Fuerza resultante en F'	50
Ecuación 20: Fuerza resultante en P'	50
Ecuación 21: Porcentaje de peso del piloto en la llanta posterior	50
Ecuación 22: Fuerza resultante de la llanta posterior	51
Ecuación 23: Fuerza resultante en la llanta delantera.....	51
Ecuación 24: Fuerza interna de reacción	52
Ecuación 25: Fuerza equivalente del desplazamiento o flecha del marco.....	52
Ecuación 26: Valor elástico del marco	52
Ecuación 27: Calculo de la inercia de área	53
Ecuación 28: Segunda ley de Newton rotacional	55
Ecuación 29: Aceleración angular	55
Ecuación 30: Segunda ley de Newton rotacional	55
Ecuación 31: Ecuación diferencial del sistema masa resorte amortiguado rotacional	55
Ecuación 32: Ecuación dinámica de desplazamiento o flecha del marco.....	56
Ecuación 33: Ecuación dinámica x3	56
Ecuación 34: Ecuación dinámica x2	56
Ecuación 35: Ecuación dinámica x1	56
Ecuación 36: Ecuación de h.....	57
Ecuación 37: Ecuación de G.....	57
Ecuación 38: Constante elástica rotacional	64
Ecuación 39: Constante elástica traslacional equivalente.....	64
Ecuación 40: Constante amortiguación traslacional equivalente	64
Ecuación 41: Tubo de dirección	92
Ecuación 42: Reach	92
Ecuación 43: Stack.....	92
Ecuación 44: Altura del posapies.....	92

Ecuación 45: From center	92
Ecuación 46: Distancia entre ejes	92
Ecuación 47: Longitud de horquilla.....	92
Ecuación 48: Altura de basculante.....	92
Ecuación 49: Altura del manubrio	92

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene como objeto diseñar un marco de motocicleta trial, utilizando cotas personalizadas según el tipo de dimensiones antropométrica del piloto, para ello se creará una tabla de diseño, la cual, con valores como talla, peso, y dimensiones particulares de la anatomía del piloto, se dibujará un marco exclusivo.

Modelar matemáticamente el comportamiento elástico del marco mediante softwares como SimuLink y MatLab, para posteriormente utilizar dichos resultados para el cálculo de los espesores de los tubos del marco, el uso de 4 ecuaciones diferenciales otorga 4 grados de libertad al modelo, aproximando el comportamiento del sistema con la realidad.

Las dimensiones calculadas, y condiciones de trabajo que será sometido la motocicleta en competición se simularan y validaran mediante un software de elementos finitos como SolidWoks, analizando estáticamente distintos casos en la que se puede someter a estrés la motocicleta en la vida real, tales como caídas, frenadas, fuerzas laterales por giros, etc. De la misma forma se realizará un análisis de fatiga con el mismo software para corroborar que el tiempo de vida útil del marco este dentro del uso normal de la motocicleta hasta su actualización por otro modelo.

1.1. Objetivos

a. Objetivo General

- Diseñar un marco de motocicleta trial utilizando dimensiones antropomórficas del piloto y tecnologías de las bicicletas downhill para reducir el peso del mismo.

b. Objetivos Específicos

- Dimensionar el marco de trial acorde a las proporciones y medidas corporales del piloto.
- Modelar matemáticamente el comportamiento dinámico del marco en condiciones de impacto cuando la motocicleta trial baja un obstáculo.
- Calcular las áreas transversales de los elementos del marco utilizando matemática computacional y simulación estática y dinámica mediante SolidWork Simulation.
- Comparar el diseño del marco de motocicleta trial con los existentes en el mercado, referente al peso.

1.2. Justificación

Las motocicletas de Trial se desligaron de las de motocross a principios de 1960, pero reciclando las tecnologías de estas hasta la actualidad, ya que los usuarios de la modalidad de Trial representan una fracción de los usuarios de motocross, por consecuencia las tecnologías usadas en la modalidad de trial no estas optimizadas para la misma, repercutiendo mayormente en el peso.

Si los componentes de una motocicleta de Trial no están optimizados adecuadamente con respecto al peso, esto conlleva a que el marco de la motocicleta debe ser necesariamente más robusta y por consecuente, pesada, para poder soportar las fuerzas que son transferidas a esta desde los puntos de anclaje, por lo tanto elevando el peso del conjunto; aun así usando materiales como aleaciones de magnesio, aluminio, titanio y acero en distintas combinaciones en cada componente de la motocicleta, llega a pesar hasta 70kg, pudiendo reducir esa cifra considerablemente usando tecnologías de otras áreas fuera del motociclismo

Por ejemplo, usando las tecnologías de los componentes de las bicicletas de Downhill para la modalidad de trial, se puede ahorrar peso, ya que estas están más avanzadas tecnológicamente con respecto a las de motocicletas por el hecho que se necesitaba reducir al máximo el peso sin descuidar la resistencia, en cada componente. Un ejemplo puede ser el peso del amortiguador trasero ÖHLINS TTX GP de una motocicleta Trial OSSA TR 280i es de 1280 gramos, y la de un FOX FLOAT DPX2 de una bicicleta de Downhill es de 496 gramos.

Figura 1: Shock ÖHLINS TTX GP



FUENTE: [46]

Siendo más del doble de ligera que su contraparte de Trial. En esta comparación los 2 amortiguadores traseros soportan hasta media tonelada de peso.

Figura 2: Shock FOX FLOAT DPX2



FUENTE: [40]

Utilizando estas tecnologías, el marco no tendrá que soportar muchas fuerzas inerciales de estos, y así reducir el peso hasta valores menores que 6kg, aligerando toda la motocicleta considerablemente, y así ayudando al piloto a superar los obstáculos con mayor facilidad y menos riesgos. Y siendo ensambladas en Perú, se reduce el costo de envíos, aduanas, impuestos, etc.

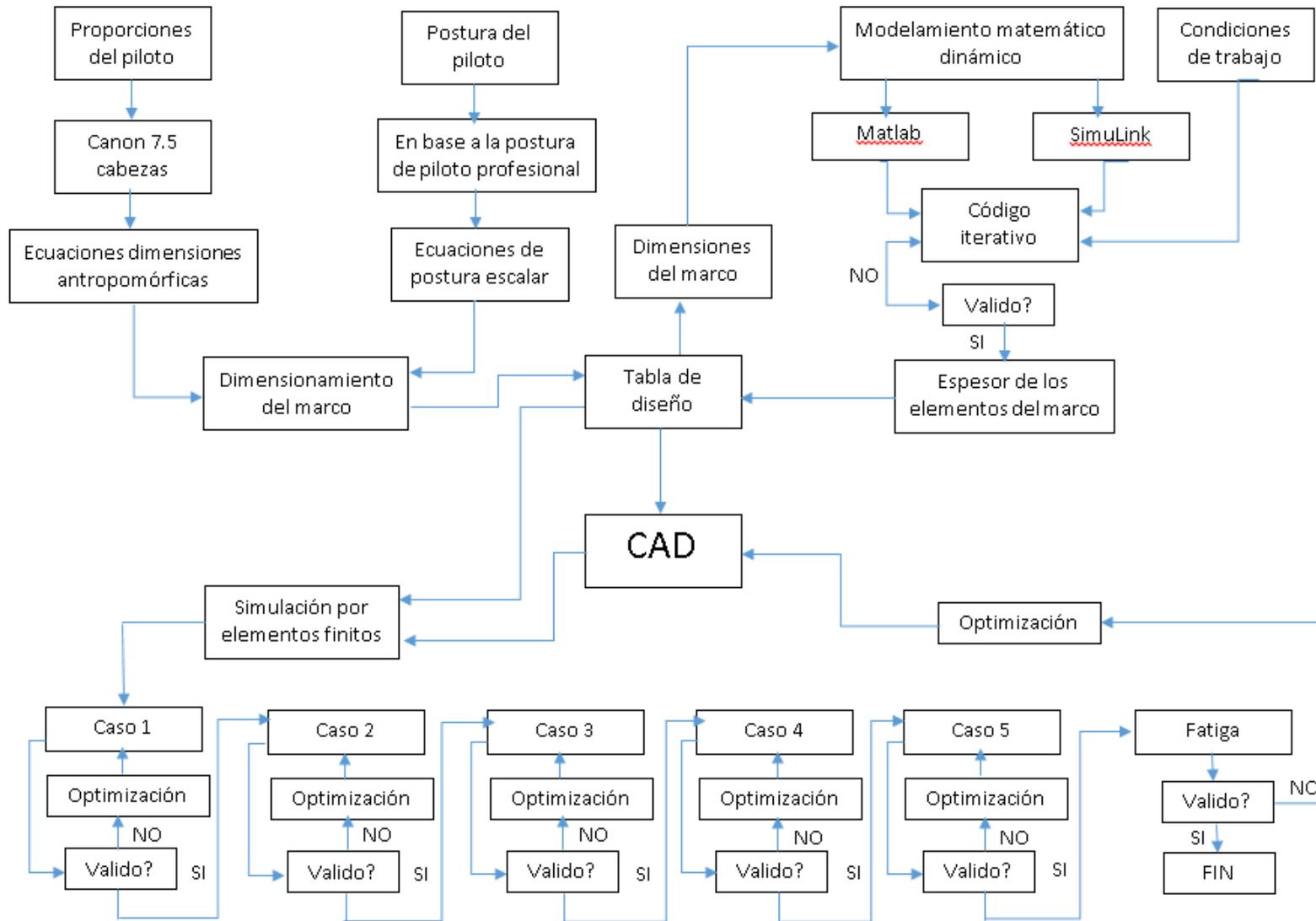
1.3. Formulación del problema

¿Será factible diseñar un marco de motocicleta trial utilizando dimensiones antropomórficas del piloto y tecnologías de las bicicletas downhill para reducir el peso del mismo?

1.4. Formulación de la hipótesis

Utilizando dimensiones antropomórficas del piloto y tecnologías de las bicicletas downhill se podrá reducir el peso de un marco de motocicleta trial.

II. METODOLOGÍA DEL DISEÑO



III. MARCO TEÓRICO

4.1. Estado Del Arte

Se verá la historia y evolución de la motocicleta, así como los distintos tipos de marcos más utilizados, con una breve introducción a la modalidad de trial. Esto ayudara a validar la elección del tipo de marco y sus propiedades para el cumplimiento del objetivo.

a. *Historia de las motocicletas*

El origen de las motocicletas se remonta a 1868 cuando Sylvester Howard Roper hizo una bicicleta a vapor, logrando el objetivo de construir la bicicleta autopropulsada. [1]

Figura 3: Bicicleta de vapor creada por Sylvester Howard Roper



FUENTE: [1]

Sin embargo, la primera motocicleta a gasolina fue creada en 1885 por los inventores alemanes Gottlieb Daimler y Wilhelm Maybach, creando así la primera motocicleta. Fue impulsado por un motor de ciclo Otto de un solo cilindro montado en el centro de la máquina y tenía un marco de madera, ruedas con llantas de hierro y rayos de madera. [2]

Este vehículo sentó las bases para las motocicletas de hoy en día, ya que el sistema de transmisión y la postura del piloto son similares a los que se usan hoy en día. Por ejemplo, la potencia se transmitía a la rueda trasera con un cinturón montado en el cigüeñal, luego a una polea, esta última fue utilizada para conducir un engranaje construido en los radios de la rueda. El embrague y el freno trasero se activaban simultáneamente girando una palanca en el extremo derecho del manillar. Al pasar el tiempo muchos de estos sistemas persistieron o reaparecieron en las motocicletas de hoy. [3]

Figura 4: 1885 Daimler Reitwagen



FUENTE: [1]

- Las motocicletas y la guerra

En la primera guerra mundial, en 1914, las motocicletas estaban siendo usadas masivamente en las carreteras porque eran confiables e independientes. Por esta razón fueron altamente usadas en la guerra, como vehículo de reconocimiento, de entrega de mensajes, hasta participaron en combate. Se estima que el ejército de EE.UU. usó alrededor de 20 000 motocicletas para la guerra, siendo en su mayoría fabricados por Harley-Davidson quien fue el que más motocicletas fabrico en el mundo después de la guerra. [1]

Figura 5: Motocicleta Harley-Davidson en la primera guerra mundial



FUENTE: [3]

- Las motocicletas hoy en día

En el mundo actual, las motocicletas presentan una función distinta dependiendo en que parte del mundo se encuentran. En los países desarrollados, las motocicletas son principalmente un bien de lujo, usado principalmente para recreación, como un accesorio de estilo de vida, o un símbolo de identidad personal, mientras que en las motocicletas de los países en desarrollo son principalmente utilizadas como medios de transporte debido a los precios más bajos y mayor economía de combustible.

Lo que lo hace tan popular es su bajo consumo, la alta relación potencia-peso y su agilidad. Las tecnologías utilizadas en las motocicletas hoy en día se han mantenido esencialmente sin cambios desde la década de 1 920 y son prácticamente idénticas para todos los fabricantes de hoy. El último gran cambio se realizó en 1 965 por Honda, quien introdujo el arrancador eléctrico. Antes de esto la motocicleta había permanecido igual desde la introducción del pedal de arranque en 1 909 por Alfred Scott. El uso de las llantas sin cámara se volvió un estándar para todos los fabricantes con un freno de disco acoplado al costado de la llanta, tanto delantera como trasera. Sin embargo, ahí es donde las similitudes terminan. Hay muchos motores de motocicletas diferentes, sistemas de transmisiones y suspensiones, los cuales corresponden al estilo y característica de rendimiento que más se aproxima a su tipo de motocicleta. [2]

b. Tipos de motocicletas

Se expondrá los diferentes tipos de motocicletas existentes en el mercado, principalmente las que son sometidas a condiciones extremas en su funcionamiento.

- Moto GT

Las motos GT no se deben confundir con las motocicletas deportivas. Las motocicletas GT son exclusivas para desenvolverse en competición de motociclismo. Según la disciplina y categoría, la motocicleta puede basarse en una moto de calle, o haber sido construida desde cero para una competición en específico. Consta de motores alrededor de 1 000cc y alcanza altas revoluciones, alrededor de 15 000 RPM. Las condiciones donde trabaja estas motocicletas son controladas, con pistas especiales para este tipo de vehículos. Su tiempo de vida útil son un par de campeonatos. [4]

Figura 6: Moto GT



FUENTE: [46]

- Motocross

Esta motocicleta está diseñada para grandes saltos y terrenos accidentados, cuenta con un recorrido amplio en sus suspensiones para tener mayor suavidad al momento de pasar obstáculos y en los grandes saltos de más de 20 metros. Debido a su propósito deportivo posee un gran motor atmosférico de 450cc en 4 tiempos o 250cc en 2 tiempos, con sistema de refrigeración líquida. Las condiciones de trabajo son en circuitos cerrados bien iluminados, es por esta razón que no dispone de luces, batería, micas, su tanque de combustible es pequeño, etc. [4]

Figura 7: Motocicleta de cross



FUENTE: [43]

- **Enduro**

Esta entre las modalidades de motocross y trial técnicamente hablando, esta modalidad consta de superar obstáculos en bosques, a campo traviesa o en circuitos cerrados: Los recorridos son cronometrados, recorriendo la misma distancia entre todos los participantes. Por esta razón las motocicletas de enduro son robustas, pesadas, disponen de un tanque de combustible grande con cámaras de reserva, con sistemas de medición de temperaturas, presión, etc. Que monitorean la motocicleta porque sus condiciones de trabajo son a máxima carga con largos periodos de tiempo. [4]

Figura 8: Motocicleta de enduro



FUENTE: [43]

- **Trail**

Estas motocicletas fueron creadas para campo, para posteriormente ser adaptadas para carreteras, pero hoy en día, estos modelos de motocicletas son exclusivos para carretera y simples sendas forestales. Es por eso que, disponen de diámetros de rueda delantera superiores a otros modelos y gran carrera en la suspensión. El neumático está pensado para uso exclusivo en carretera. [5]

Figura 9: Motocicleta de trail



FUENTE: [45]

- **Trial**

Estos modelos de motocicletas poseen bajo peso y tamaño reducido. La postura del piloto es de pie en todo momento sobre los posapiés, ya que estas motocicletas trabajan a bajas velocidades. En su mayoría estas motocicletas disponen de motores de 2T, con una cilindrada alrededor de los 300cc con refrigeración líquida, existiendo pocos modelos de 4 T. No disponen de asiento, luces, micas, batería, arrancador, el tanque de combustible es tan solo de 1.5 litros. Se desenvuelven en terrenos naturales accidentados o artificiales con saltos de hasta 20 metros con rampa y caídas de hasta 3 metros sin recibidor. Es la modalidad más técnica y difícil de las modalidades de motociclismo. [5]

Figura 10: Motocicleta de trial



FUENTE: [44]

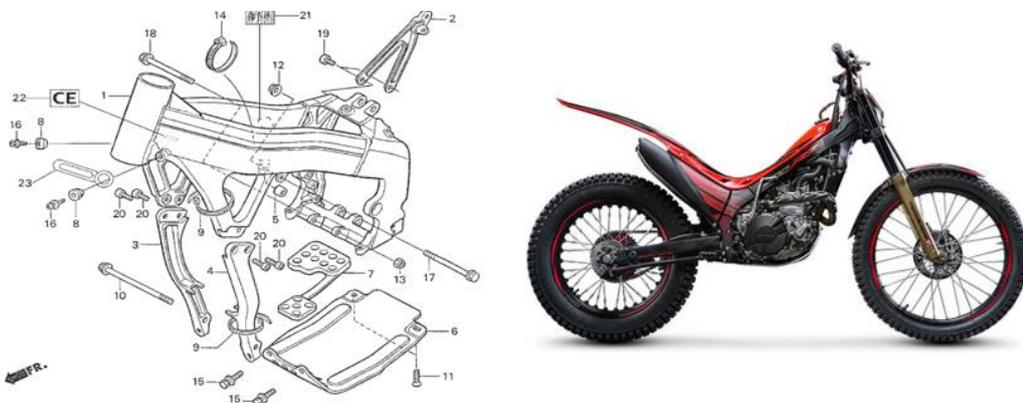
c. **Tipos de marcos de motocicletas**

A continuación, se analizarán los distintos tipos de marcos que se encuentran actualmente en la disciplina de trial, describiendo brevemente las propiedades de cada una de ellas.

- **Cobas**

Estos marcos se diseñaron originalmente para las modalidades de carrera. La pipa de dirección se une al basculante a una distancia corta, disminuyendo drásticamente los esfuerzos flectores y de torsión. Originalmente estaban hechos de acero, pero con la evolución de las tecnologías en materiales, se comenzaron a construir en aleaciones de aluminio. Una vez que se vieron las ventajas de este tipo de marco, fueron adoptadas por la mayoría de los fabricantes de motocicletas. [6]

Figura 11: Marco tipo coba de la HONDA COTA 300RR

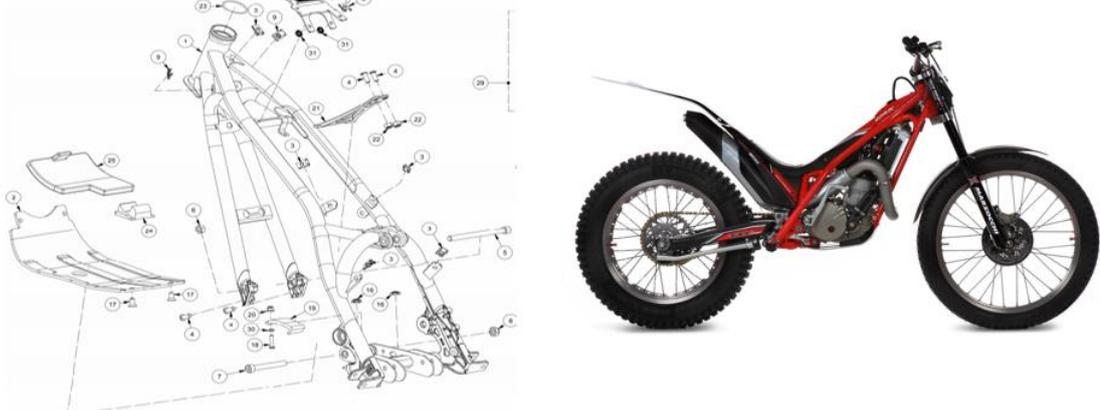


FUENTE: [44]

- Tubular de cuna

Es la evolución de la cuna individual, usa dos cunas en cada lado para sostener el motor. Estos fueron comúnmente utilizados en road bikes y algunas motocicletas personalizadas, Su popularidad se debe a su bajo coste de producción, aumento de rigidez y fácil construcción, siendo en la modalidad de trial la GAS GAS TXT 300 PRO la motocicleta más liviana, pesando 63 kg. [6]

Figura 12: Marco tipo tubular de cuna de la GAS GAS TXT 300 PRO



FUENTE: [42]

- Monocasco

Este tipo de marco es similar a los de aviones, porque los esfuerzos recorren toda la estructura. Aun así, este tipo de marcos son muy difíciles de construir para una motocicleta que un avión, debido a la forma irregular y la necesidad de varios recortes. [7] Acompañando a la “piel” también tienen una estructura de “costillas” subyacente, hecho de materiales compuestos, como fibra de carbono, generando una eficiencia estructural muy alta. [8] Uno de los inconvenientes de este tipo de marco es su dificultoso acceso a los componentes, volviéndolo lento y difícil realizar el mantenimiento. Los marcos con este diseño se utilizan casi exclusivamente en motocicletas de competición especializadas. [7]

Figura 13: Marco tipo monocasco de la BETA EVO FACTORY



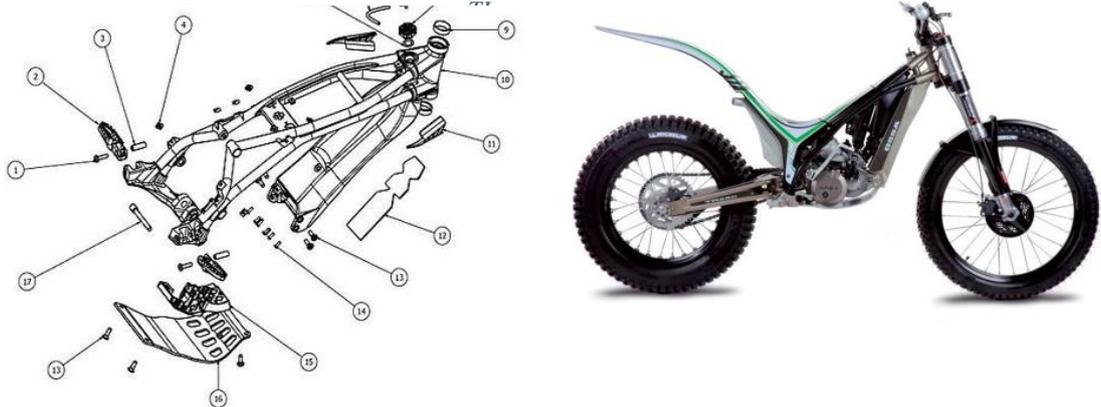
FUENTE: [46]

- Tubular de cobas

Este tipo de marco es una adaptación del tipo caba, principalmente de la forma de 2 vigas a los costados abrazando al motor, con el cambio de las vigas por una estructura tubular, que cumpla la misma función.

Este tipo de marcos combina las propiedades de rigidez del marco de cobas por ser corto, y la ligereza del marco tubular de cuna. [9]

Figura 14: Marco tipo tubular de caba de la OSSA 280



FUENTE: [46]

- Multitubular

Este tipo de marco fue diseñado originalmente por los europeos, popularizándose posteriormente en los EE.UU. Utiliza muchos de los principios de construcción del marco tipo caba y lo iguala en rigidez y peso. Su aspecto distintivo está formado por un "enrejado" de tubos cortos que componen el cuerpo del marco. Se requiere más esfuerzo para la fabricación que el de tipo caba, pero el resultado es extremadamente similar refiriéndonos a sus características de rigidez y peso. [7]

Figura 15: Marco tipo multitubular de la VERTIGO COMBAT



FUENTE: [46]

d. Proyectos Similares Existentes

A continuación, se mostrará antecedentes relacionados con el diseño, análisis, elaboración, metodologías, etc. Que conlleven al desarrollo del objetivo.

- Proyecto 1: “Diseño y desarrollo de un chasis de una motocicleta de 250cc para la “II Competición Internacional MotoStudent”.”

Autor(es): García García, Ismael.

Año: 2013.

“Est proyecto tiene como objetivo diseñar y cálculo estructural de una motocicleta de carreras chasis, así como su desarrollo y posterior fabricación. Precisamente, se trata de un 250 cc. Y la motocicleta 4 Strokes que participará en el "II International MotoStudent competition "que tiene lugar en Motorland (Aragón). Por lo tanto, el objetivo principal será encontrar el mejor diseño del chasis para moto tan competitiva como sea posible. El mejor diseño será considerado el que proporciona la mejor tasa entre rigidez y peso y también es capaz de soportar el peso de la moto entera, así como tener el mejor rendimiento. En primer lugar, se realizará una investigación para conocer las diferentes opciones y alternativas sobre diseños de chasis. Posteriormente, se decidirá cuál muestra las mejores características. La selección de materiales también se desarrollará a través de está investigando Luego, una vez que hayamos seleccionado el tipo de chasis y material a utilizar, hacer algunos diseños diferentes con un programa 3D llamado "SolidWorks 2010". Después de esto, estos diseños serán analizados con el programa FE denominado "Ansys" con el fin de mejorar ellos. Estas mejoras se centrarán en la disminución del peso dentro de los límites de rigidez del material. Finalmente, cuando el diseño del chasis ya esté terminado, procederemos a fabricar todos sus componentes y serán soldados para obtener el chasis final que será uno de las partes más importantes en el montaje de la moto”. [10]

- *Proyecto 2: “Motorcycle Handling and Chassis Design the art and science”.*

Autor(es): Tony Foale.

Año: 2002

“La motocicleta es un sistema complejo que desafió durante mucho tiempo el análisis completo. Durante mucho tiempo, la entrega de motocicletas apenas se consideraba un tema. Los motores, cuyo rendimiento podría medirse en términos "objetivos", recibieron la mayor parte del desarrollo. El desarrollo del motor se movió rápidamente por delante del chasis, la suspensión y los neumáticos, creando una sucesión de crisis de diseño que requirió una nueva reflexión para su solución. Ejemplos podrían ser el chasis basculante de doble brazo de Rex McCandless de 1950, el neumático Dunlop Daytona de 1974 con cinta ancha de Tony Mills y las elaboraciones actuales del chasis de doble sección de aluminio de Antonio Cobas de la década de 1980. En cada caso, el rendimiento de la motocicleta había dejado de avanzar debido a problemas específicos que no podían resolverse por los medios tradicionales. En general, las innovaciones que han roto estos obstáculos han sido creaciones de personas prácticas, no de teóricos”. [7]

e. Problemática Actual:

El deporte de trial deriva de las modalidades de cross y de enduro, reciclando sus tecnologías, siendo estas no adecuadas para la modalidad de trial repercutiendo en el peso. Por otro lado, un gran porcentaje de pilotos deciden usar las motocicletas que no son de la modalidad de trial por el tema de disponibilidad.

Figura 16: HONDA COTA 300RR



FUENTE: [44]

Por ejemplo, la HONDA CRF 250F siendo no adecuadas para un buen desempeño a la hora de superar obstáculos, hasta peligroso ya que estas motocicletas pesas 110kg en comparación a una motocicleta HONDA COTA 300RR de trial que ronda los 65kg.

Figura 17: HONDA CRF 250F



FUENTE: [43]

f. Planteamiento del Problema

Las partes más pesadas en una motocicleta son, el motor y el marco, siendo este último el menos investigado en comparación con los demás componentes de la motocicleta, llegando a pesar hasta 6kg aun siendo diseñados con aleaciones de titanio. Por lo tanto, reducir el peso del marco es clave para ganar una competición.

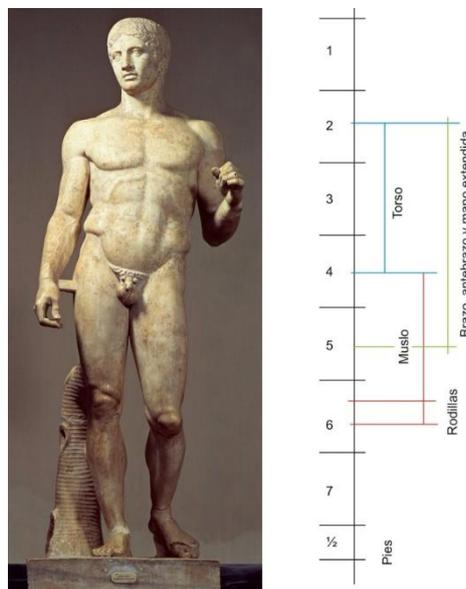
4.2. Marco conceptual

a. Canon de 7 cabezas y media

El termino canon se refiere a que todas las partes están relacionadas entre sí y con todo, proviene del griego *Kanon* que significa “vara”, sin embargo, el termino también deriva de la palabra *Qanu* por su gran relación fonética. [11]

A lo largo de la historia el canon del cuerpo humano tiene como fin relacionar correctamente las proporciones y medidas de este, partiendo de una unidad de medida o modulo que se encuentra en el mismo cuerpo. En Grecia se empleó como medida o modulo la altura de la cabeza dividiendo el cuerpo en 7 cabezas y media, siendo esta proporción la más cercana a las proporciones ideales actuales. [11]

Figura 18: Canon 7 cabezas y media.



FUENTE: [11]

El torso equivale a 2 cabezas, el muslo equivale a $1\frac{1}{6}$ de cabeza, la rodilla a $\frac{1}{3}$ de cabeza, el brazo a 1 cabeza al igual que la cadera, el antebrazo equivale a $\frac{5}{4}$ de cabeza, la pierna equivale a $\frac{3}{2}$ de cabeza y el pie a media cabeza.

b. Esfuerzo y deformación

La mecánica de medios continuos tiene como función proponer un modelo para solidos deformables, fluidos y rígidos. El término continuo se refiere al modelo matemático, que describa el comportamiento de deformación de cualquier material. La mecánica de los sólidos deformables estudia la deformación de los cuerpos cuando son sometidos a distintas cargas o efectos térmicos. Estos comportamientos son más complejos que la de los sólidos rígidos siendo estudiados por la mecánica de solidos deformables introduciendo conceptos como deformación unitaria y esfuerzos. [12]

- **Deformación y esfuerzos axiales**

Los esfuerzos axiales son aquellos debidos a una fuerza o fuerzas colineales al eje de elementos como barras columnas, cables, etc. las cuales pueden ser de tensión o compresión. Se calcula mediante esta fórmula. [13]

Ecuación 1: Calculo del esfuerzo axial

$$\sigma_a = \frac{P}{A}$$

Donde:

σ_a = Esfuerzo Axial.

P = Carga axial.

A = Área transversal.

La mayoría de materiales tienen un comportamiento elástico hasta un cierto punto, según la carga aplicada, después de este límite, el elemento no tendrá la capacidad de recuperar su forma, después de retirar la carga, esto se llama comportamiento plástico.

La deformación elástica es descrita por la ley de Hooke, dicta que el esfuerzo es directamente proporcional a la deformación. Utilizando la ley de Hooke y la ecuación de esfuerzos se obtiene. [13]

Ecuación 2: Calculo de la deformación axial

$$\delta = \frac{P \cdot L}{E \cdot A}$$

Donde:

δ = Deformación axial.

P = Carga axial.

E = Módulo de Young.

A = Área transversal.

- 4.2.2.2. Deformación y esfuerzos flectores

El esfuerzo flector aparece en una viga sometida a un momento de fuerza, que son la suma de distintas fuerzas de tensión o tracción hacia el área transversal perpendicularmente al elemento. En términos generales se calcula mediante la siguiente formula. [13]

Ecuación 3: Calculo del esfuerzo flector

$$\sigma_f = \frac{M \cdot c}{I}$$

Donde:

σ_f = Esfuerzo flector.

M = Momento flector.

I = Momento de inercia.

c = Distancia hacia el eje neutro.

E = Módulo de Young.

El desplazamiento flector o flecha de una viga con apoyo en los extremos se calcula mediante la siguiente ecuación. [13]

Ecuación 4: Calculo de la flecha en viga

$$\delta_f = \frac{P \cdot x}{3 \cdot L \cdot E \cdot I} \left(\frac{L^2 - x^2}{3} \right)^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

δ_f = Desplazamiento flector o flecha.

P = Carga perpendicular a la viga.

x = Distancia del apoyo derecho hacia la carga perpendicular.

L = Longitud de la viga.

E = Módulo de Young.

I = Momento de inercia.

c. *Sistemas mecánicos dinámicos traslacionales y rotacionales*

- Primera ley de Newton

Principio de inercia, un cuerpo permanecerá en movimiento constante y rectilíneo o estático a menos que una fuerza sea aplicada sobre dicho cuerpo. [14]

Ecuación 5: Primera ley de Newton

$$\sum F = 0$$

- Segunda ley de Newton

Si una fuerza externa actúa sobre un cuerpo, este se acelerará en dirección de la fuerza aplicada. El vector de la fuerza es igual a la masa por la aceleración de esta. [14]

Ecuación 6: Segunda ley de Newton

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Donde:

\vec{F} = Fuerza aplicada.

m = Masa a la que se le aplica la fuerza.

\vec{a} = Aceleración de la masa.

De la misma forma la segunda ley de Newton se aplica a sistemas rotacionales. Cuando un momento par actúa sobre un cuerpo, los puntos del sólido realizarán una rotación sobre el eje de giro. El par externo es igual al momento de inercia por la aceleración angular, es decir. [15]

Ecuación 7: Segunda ley de Newton rotacional

$$\tau = I \cdot \alpha$$

Donde:

τ = Par neto externo.

I = Momento de inercia.

α = Aceleración angular de la masa.

- **Tercera ley de Newton**

Si un elemento A aplica una fuerza a otro elemento B, este ejercerá la misma fuerza, pero en dirección opuesta hacia el elemento A. [14]

Ecuación 8: Tercera ley de Newton

$$\vec{F}_{A \text{ sobre } B} = -\vec{F}_{B \text{ sobre } A}$$

- **Masa**

La masa es la propiedad de un cuerpo de almacenar energía cinética de traslación. A mayor masa, mayor energía cinética. La fuerza ejercida por una masa es. [14]

Ecuación 9: Fuerza ejercida por la masa

$$\vec{F} = m \cdot \vec{x}$$

Donde:

\vec{F} = Fuerza.

m = Masa.

\vec{x} = Aceleración de la masa.

De la misma forma una masa en rotación ejerce un momento par. El par externo es igual al momento de inercia por la aceleración angular, es decir. [15]

Ecuación 10: momento par ejercido por la masa en rotación

$$\tau = I \cdot \ddot{\theta}$$

Donde:

τ = Par neto externo.

I = Momento de inercia.

$\ddot{\theta}$ = Aceleración angular de la masa.

- **Resorte**

El resorte es un elemento que almacena energía potencial proporcional a su deformación tanto angular como traslacional. La fuerza acumulada en un resorte traslacional es. [14]

Ecuación 11: Fuerza ejercida por el resorte

$$\vec{F} = k \cdot \vec{x}$$

Donde:

$$\vec{F} = \text{Fuerza.}$$

$$k = \text{Constante elástica.}$$

$$\vec{x} = \text{Deformación del resorte.}$$

- **Amortiguamiento**

Cuando hay movimiento entre 2 elementos físicos interviene la fuerza de fricción que es consecuencia del contacto entre los elementos pudiendo ser por fricción estática, dinámica o estrangulamiento de un fluido viscoso. La fuerza ejercida por un fluido viscoso estrangulado es. [14]

Ecuación 12: Fuerza ejercida el amortiguador viscoso

$$\vec{F} = b \cdot \vec{\dot{x}}$$

Donde:

$$\vec{F} = \text{Fuerza.}$$

$$b = \text{Constante de amortiguamiento viscoso.}$$

$$\vec{\dot{x}} = \text{Velocidad.}$$

- **Modelo matemático dinámico traslacional**

El modelo matemático de un sistema dinámico de masa resorte amortiguado se expresa con la siguiente ecuación diferencial. [16]

Ecuación 13: Ecuación diferencial del sistema masa resorte amortiguado

$$m\ddot{\vec{x}} + b\dot{\vec{x}} + k\vec{x} = 0$$

Donde:

m = Masa suspendida.

b = Constante de amortiguamiento viscoso.

k = Constante elástica del resorte.

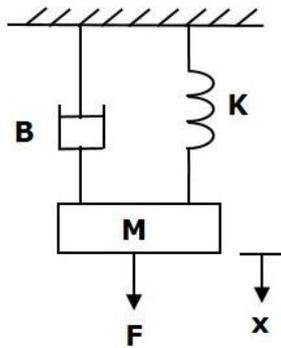
$\ddot{\vec{x}}$ = Aceleración de la masa.

$\dot{\vec{x}}$ = Velocidad de la masa.

\vec{x} = Posición de la masa.

Este sistema se representa mediante la siguiente figura, donde la fuerza F genera el estado transitorio del sistema.

Figura 19: Representación de un sistema masa resorte amortiguador



FUENTE: [16]

d. Matlab-simulink

“SIMULINK es una extensión de MATLAB que tiene como objetivo simular sistemas dinámicos, sistemas lineales y no lineales, en tiempo continuo y discreto, y todo a la vez. En una interface intuitiva, fácil de crear sistemas complejos, mediante bloques”. [17]

“Con Simulink, se puede mover más allá de los modelos linealizados e idealizados para explorar modelos no lineales que describen fenómenos más reales. Simulink transforma el PC en un laboratorio para modelar y analizar sistemas que simplemente no podría ser posible o práctico de otra manera”. [17]

e. Análisis por elementos finitos

Se necesita mucho trabajo para concretar cualquier sistema de ingeniería avanzada, esto es para garantizar la viabilidad del producto terminado, así como la rentabilidad. Por esta razón todos los proyectos de ingeniería tienen como herramienta el Método de Elementos Finitos (FEA), siendo indispensable en el modelado y simulación de sistemas avanzados de ingeniería en varios campos. [18]

En ingeniería estructural, el FEA tiene como objetivo la determinación del estrés y estados de deformación de un sólido con geometría arbitraria sometida a acciones exteriores con condiciones de frontera. [19]

EL método por elementos finitos, se usó por primera vez en modelos mecánicos para hallar los esfuerzos en dichos elementos, posteriormente este método se extendió en otras áreas como análisis térmico, análisis de fluidos, análisis piezoeléctrico, etc.

Es un método numérico que busca una solución aproximada de la distribución del campo de variables en el dominio del problema que es difícil de obtener analíticamente. Se hace dividiendo el dominio del problema en varios elementos más pequeños de geometría conocida y simple, la cual se le aplicara todas las leyes matemáticas y físicas que se requieran para resolver el problema en su totalidad. Los elementos son formados por nodos cuyas funciones lineales por partes se aproximan a una función continua de un campo desconocido. Las incógnitas son entonces los valores discretos de la variable de campo en los nodos. [18]

f. Fatiga de elementos mecánicos

Cuando un elemento mecánico está sometido a fuerzas cíclicas, tiende a presentar fallas en el material, como debilitamiento, grietas o rupturas. Por esta razón el análisis de fatiga en elemento mecánico es de suma importancia, ya que este predice el tiempo de vida útil que tendrá la maquina o elemento mecánico bajo ciertos ciclos de carga que no superen el límite elástico del material.

V. EL MARCO

El objetivo principal de un marco de motocicleta es servir de base para que los demás componentes se fijen a ella. El motor se encuentra protegido por ella, el basculante se fija mediante un pivote en la parte posterior del marco y la horquilla mediante la pipa de dirección en la parte delantera. El marco también sirve para proteger las partes más sensibles de la motocicleta en caso de caídas o choques a baja velocidad.

5.1. Elección del tipo de marco

El criterio para seleccionar el tipo de marco consiste en jerarquizar las propiedades que cada uno pueda proporcionar, siendo el peso y rigidez las más importantes para la modalidad de trial. Estas 2 características son claves porque la motocicleta en competición está sometida a cargas elevadas, y se opta por un peso reducido para sobrepasar los obstáculos con facilidad.

Otro aspecto importante es el espacio que puede proporcionar el marco para el fácil acceso a los componentes. Esta característica es importante por el hecho que este diseño está orientado para el mundo competitivo.

Por último, las 2 características que debe tener el marco, es su viabilidad de fabricación y costo de la misma, Considerando el tipo de material a emplear, siendo este último que definirá en cierta medida el peso y rigidez del marco.

Para facilitar la elección del tipo de marco, se enumerará en la siguiente tabla, con las características deseadas. Se calificará como alto, medio o bajo. Según el autor [10] se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 1: Comparación de los tipos de marcos

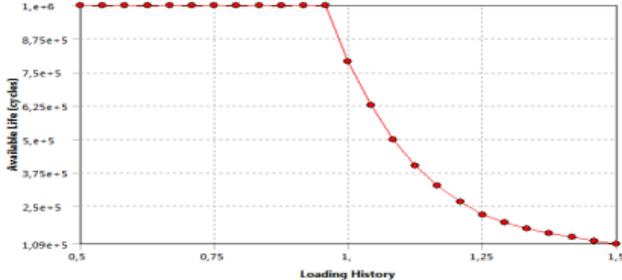
Tipo	Peso	Rigidez	Espacio	Fabricación	Material	Costo
Coba	Medio	Alto	Alto	Dificultad media	Aluminio/Acero	Medio
Tubular de cuna	Medio	Medio/Alto	Medio	Fácil/media	Acero	Medio
Monocosco	Medio	Medio	Bajo	difícil	Aluminio	Alto
Tubular de coba	Medio	Medio/Alto	Alto	Fácil	Acero	Medio
Multitubular	Medio/Alto	Alto	Medio	Complicada	Acero	Medio/Alto

FUENTE: [10]

A simple vista se puede descartar el marco tipo multitubular por ser el más pesado de todos, y el monocosco por ser difícil de fabricar. De la misma forma se puede descartar el de tipo tubular de cuna porque dispone de poco espacio para los componentes.

Quedan los marcos tipo caba y tubular de caba para ser analizados. El autor [20] hace una comparativa entre estos dos tipos de marcos, inclinado la decisión por el tipo tubular de caba, siendo este tipo menos costoso de fabricar, más resistente en frenadas, soportando mayor número de ciclos en análisis de fatiga y viabilidad de fabricación.

Figura 20: Comparativa entre un marco de caba y tubular de caba

Tubular frame												Geometry																																				
												Geometry																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>%</th> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>Cu</th> <th>Cr</th> <th>Mo</th> <th>Ni</th> <th>Al</th> <th>Fe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Min</td> <td>0,17</td> <td>0,35</td> <td>1,3</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,25</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>Rest</td> </tr> <tr> <td>Max</td> <td>0,22</td> <td>0,55</td> <td>1,6</td> <td>0,035</td> <td>0,04</td> <td>0,3</td> <td>0,3</td> <td>0,25</td> <td>0,3</td> <td>0,02</td> <td>Rest</td> </tr> </tbody> </table>												%	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	Ni	Al	Fe	Min	0,17	0,35	1,3	0	0	0,25	0	0	0	0	Rest	Max	0,22	0,55	1,6	0,035	0,04	0,3	0,3	0,25	0,3	0,02	Rest	Material
%	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	Ni	Al	Fe																																					
Min	0,17	0,35	1,3	0	0	0,25	0	0	0	0	Rest																																					
Max	0,22	0,55	1,6	0,035	0,04	0,3	0,3	0,25	0,3	0,02	Rest																																					
<p>Frame's mass = 21,85 kg; Center of mass [mm] = (-215,78; 96,8; -0,25)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Lateral frame stiffness (kN/mm)</th> <th>2,3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>Torsional frame stiffness (kNm/°)</th> <td>4,57</td> </tr> <tr> <th>Longitudinal stiffness (kNmm)</th> <td>5,17</td> </tr> </tbody> </table> 												Lateral frame stiffness (kN/mm)	2,3	Torsional frame stiffness (kNm/°)	4,57	Longitudinal stiffness (kNmm)	5,17	Dynamical characteristics																														
Lateral frame stiffness (kN/mm)	2,3																																															
Torsional frame stiffness (kNm/°)	4,57																																															
Longitudinal stiffness (kNmm)	5,17																																															
Maximum acceleration			Maximum braking to the front axle			Maximum braking to the rear axle			Inside the curve at the limit of skidding			External forces																																				
T = 1823,5 N Nr = 1373,5 N			F = 1419,56 N Nr = 1373,4 N			F = 433,02 N Nr = 481,13 N			F = 541,27 N Nmin = 601,41 N																																							
	Acceleration		Braking		Curve		Finites elements application (with engine support)																																									
	$\sigma_{max\ eq}$ [MPa]		$\sigma_{max\ eq}$ [MPa]		$\sigma_{max\ eq}$ [MPa]																																											
Tubular Frame	49,66		8,46		5,34																																											
	1st	2nd		3rd		4th		5th		6th		Natural frequencies																																				
	Free	Attached	Free	Attached	Free	Attached	Free	Attached	Free	Attached	Free	Attached																																				
	18,23	84,13	23,84	94,44	38,9	159,01	171,3	184	183,4	260,05	234,3	301,03																																				
	Divided by mode of vibration												Mechanical fatigue																																			
																																																
Iron + Coal -> (Blast furnace) -> (Bessemer converter) -> Steel block conformation + other metals -> (casting) -> (alloy block conformation) -> [milling (REAR SUPPORT) + Extrusion, cutting and bent (TUBULAR PROFILE)] -> (Welding) -> TUBULAR FRAME												Fabrication process																																				
6950 € / frame												Cost																																				
278 kg CO ₂ produced to built it												Environment																																				

FUENTE: [20]

5.2. Elección del tipo de material

Es necesario definir el tipo de material, porque en base a eso las propiedades del marco cambian, tanto la rigidez, como el peso. Después de haber analizado los distintos tipos de materiales habitualmente usados para la construcción de marcos de motocicletas [7], se optó por el acero AISI 4130. Es un acero aleado de cromo molibdeno de bajo contenido en carbón (0,3 %) teniendo propiedades favorables para ser soldado. Este material es habitualmente usado en aeronáutica, automotriz, motociclismo y ciclismo. Es un acero especialmente fácil de soldar con una buena resistencia. Sus propiedades mecánicas y químicas relevantes se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 2: Composición química y física del acero AISI 4130

Composición química		Propiedades físicas	
Carbono	0,20 – 0,33	Densidad	7,85 kg/cm ³
Cromo	0,8 – 1,1	Coefficiente de Poisson	0,28
Manganesio	0,7 – 0,9	Módulo de Young	190-210 Gpa
Molibdeno	0,15 – 0,25	Resistencia a la tracción	560,5 Mpa
Fósforo	0,035 máx.	Conductividad térmica	42,7 W/m*K
Silicio	0,15 – 0,35	Limite elástico	350 Mpa

FUENTE: [7]

5.3. Dibujo asistido por computadora (CAD)

Una vez decidido el tipo de marco que se utilizará, se procede a crear un dibujo de dicho marco asistido por computadora para su posterior análisis con las distintas herramientas y métodos a usar. El modelo será creado a rasgos generales, teniendo en cuenta las cotas relevantes para su auto dimensionamiento cuando se encadene con una tabla de diseño. El software de diseño que se utilizará será SolidWorks.

Figura 22: El marco



ELABORACIÓN PROPIA

Se optó por una pipa de dirección con un diámetro de 40mm para así abarcar mayor compatibilidad con las posibles horquillas a utilizar.

Figura 23: Pipa de dirección



ELABORACIÓN PROPIA

De la misma forma se optó por 2 puntos de anclaje para el motor con diámetros de 30mm a una distancia de 60mm entre ellas. Compartiendo uno de ellos para el pivote del basculante.

Figura 24: Anclajes para el motor



ELABORACIÓN PROPIA

Así mismo para el anclaje del monoshock.

Figura 25: Anclajes para el monoshock



ELABORACIÓN PROPIA

a. Otros componentes

Para poder tener el concepto completo de la motocicleta y donde se ubica el marco en esta, se procede a dibujar los componentes principales que acompañan a dicho marco.

- **Horquilla**

Es el componente que se conecta en la pila de dirección del marco, su función es mantener la rueda delantera en contacto con el suelo. Se usa los modelos creados para las bicicletas de Downhill, porque estas están diseñadas para soportar grandes esfuerzos y mantienen un peso muy bajo.

Figura 26: Horquilla de Downhill



ELABORACIÓN PROPIA

- **Monoshock**

Al igual que la horquilla, su función es mantener la rueda trasera en el suelo. Se usará un monoshock de las modalidades de downhill por la misma razón que de la horquilla.

Figura 27: Monoshock de Downhill



ELABORACIÓN PROPIA

- **Basculante**

Este componente pivotea desde la parte posterior del marco junto con el monoshock y la llanta posterior. Su objetivo es articular la llanta posterior.

Figura 28: Basculante



ELABORACIÓN PROPIA

- **Motor**

El dibujo del motor es simple y básico, solo para ubicarlo dentro del contexto de la motocicleta. De este componente se extraerá solo el peso.

Figura 29: Motor



ELABORACIÓN PROPIA

b. El ensamble

El modelo ensamblado se creó en el mismo software de diseño, SolidWorks.

Figura 30: Ensamble



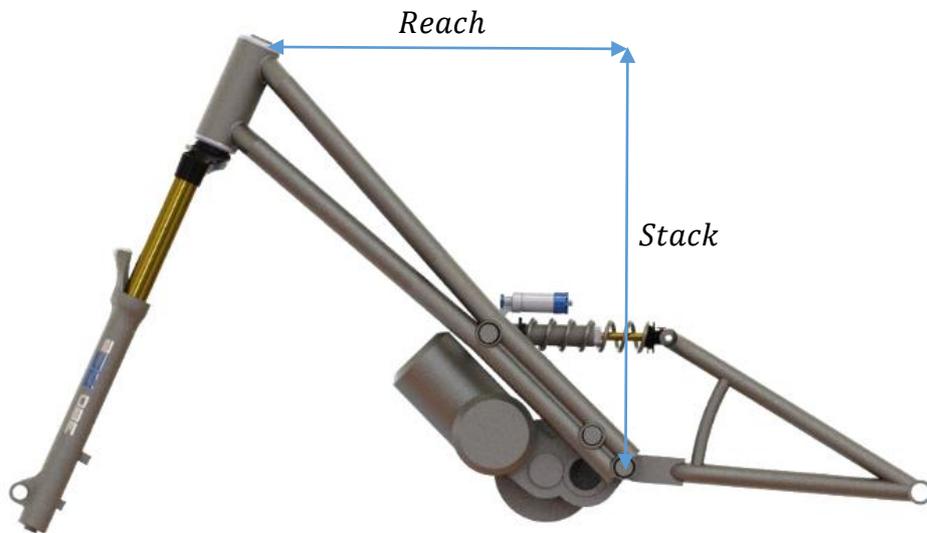
ELABORACIÓN PROPIA

VI. DIMENSIONAMIENTO DEL MARCO

Las medidas de un marco estas definidas por el stack y reach. Estas 2 medidas en distintas combinaciones definen la talla del marco. Tanto el stack como el reach dependen de las dimensiones y proporciones del piloto. El stack o la altura del cuadro nos informan sobre la altura del manubrio, ya que es la medición en vertical entre el centro del eje de la posa pies y el centro de la pipa de dirección, es decir, el punto más elevado del cuadro. Por lo tanto, a mayor stack, más alto irá el manubrio. [21]

El reach o el alcance del cuadro definen la longitud del mismo, lo que mide, en horizontal, la distancia entre el eje de la posa pies y el centro de la pipa de dirección. A mayor reach, más largo será el cuadro [21]

Figura 31: Stack y Reach



ELABORACIÓN PROPIA

6.1. Medidas y proporciones del piloto

Se debe identificar las medidas y proporciones del piloto porque los valores de stack y reach dependen de ello. Usando las proporciones del canon de siete cabezas y media se obtiene las siguientes ecuaciones partiendo de que la talla total del piloto equivale a siete y medias de su cabeza.

Ecuación 14: Canon 7 ½ cabezas

$$h_{piloto} = 7,5 \cdot C_{piloto}$$

Donde:

$$h_{piloto} = \text{Altura del piloto.}$$

$$C_{piloto} = \text{Longitud de la cabeza.}$$

Se utiliza el canon 7.5 cabezas porque este trabajo no está dirigido a un público en concreto. Con la finalidad de que sea aplicado a nivel internacional, con la innumerable variedad de proporciones antropométricas que existen, se optó por este canon con la posibilidad de actualizar las medidas en caso sea necesario mediante una tabla de diseño. Siendo las ecuaciones correspondientes a cada parte del cuerpo en función de la altura en la siguiente tabla.

Tabla 3: Ecuaciones correspondiente a cada parte del cuerpo

Parte del cuerpo	Ecuación	Parte del cuerpo	Ecuación
Cabeza	$\frac{2}{15} \cdot h_{pilot}$	Mano	$\frac{1}{30} \cdot h_{pilot}$
Cuello	$\frac{2}{45} \cdot h_{pilot}$	Cadera	$\frac{2}{15} \cdot h_{pilot}$
Torso	$\frac{2}{9} \cdot h_{pilot}$	Muslo	$\frac{2}{45} \cdot h_{pilot}$
Brazo	$\frac{2}{15} \cdot h_{pilot}$	Pierna	$\frac{2}{9} \cdot h_{pilot}$
Antebrazo	$\frac{1}{16} \cdot h_{pilot}$	Pie	$\frac{7}{120} \cdot h_{pilot}$

ELABORACIÓN PROPIA

6.2. Postura del piloto

La postura de un pila de trial, obviamente es de pie porque la motocicleta carece de asiento. Se debe situar el cuerpo en medio de la moto con el trasero ligeramente inclinado hacia atrás flexionando las rodillas ligeramente, alrededor de 15 grados con respecto a un eje referencial vertical, de la misma forma el tronco unos 30 grados, las rodillas mirando hacia fuera de la moto al igual que los pies para que la motocicleta pueda inclinarse ligeramente mientras el cuerpo del piloto permanece perpendicular al suelo. La altura de la cadera debe estar un poco por encima del manubrio. Los brazos extendidos colineal con la pipa de dirección empuñando suavemente el manubrio. [22]

Figura 32: Postura del piloto en la motocicleta de trial

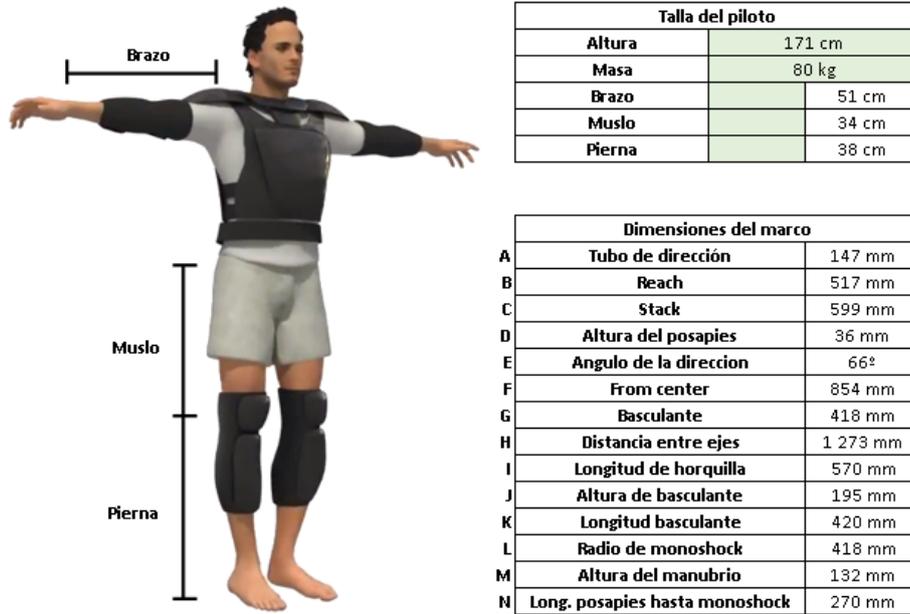


FUENTE: [22]

6.3. Tabla de diseño

Una vez obtenido las referencias necesarias para calcular un stack y reach del marco, adecuadas a las proporciones del piloto, se crea la tabla de diseño, y se encadena con el dibujo asistido por computadora del marco. Teniendo en cuenta la distancia de los ejes, de la posa pies al eje delantero, el largo de la horquilla, etc.

Figura 33: Tabla de diseño

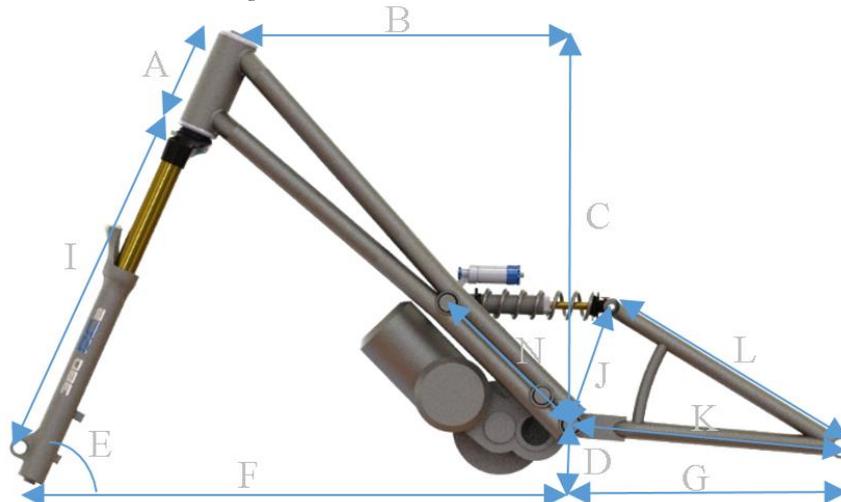


ELABORACIÓN PROPIA

Donde las celdas en color verde, corresponde a los datos del piloto que debe introducir. En caso solo introduzca el valor de la altura, la tabla de diseño calculará las proporciones según el criterio del canon de 7,5 cabezas.

Los valores de la A hasta la N, son medidas necesarias para que el software de dibujo asistido por computadora SolidWorks dibuje el marco. Estas medidas corresponden a las partes del cuadro que se muestra en la siguiente figura.

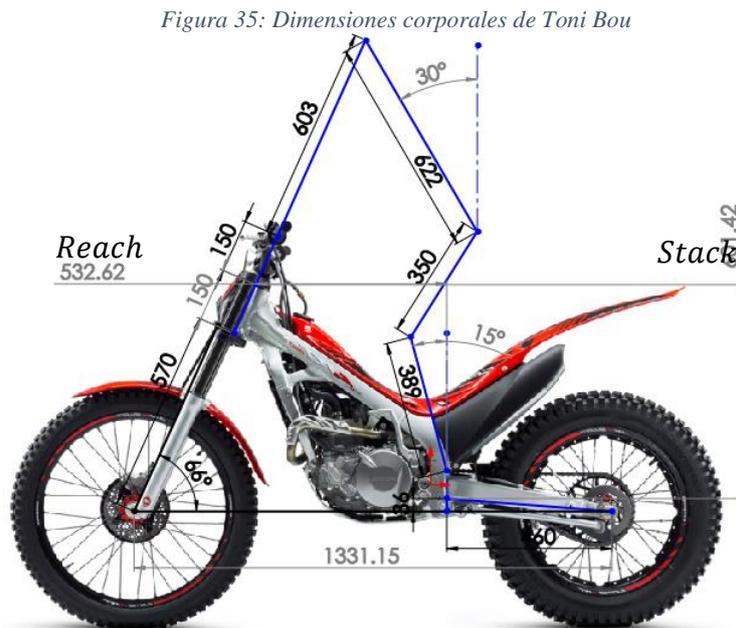
Figura 34: Medidas del marco de trial



ELABORACIÓN PROPIA

Las ecuaciones para el dimensionamiento de cada parte del marco de la motocicleta de trial se modelaron teniendo como base la talla del piloto Toni Bou, campeón mundial de trial 24 veces y las dimensiones de la motocicleta Honda Cota 300RR. Este método es necesario ya que la motocicleta fue diseñada exclusivamente para Toni Bou y la disciplina de trial. Utilizando un criterio de proporción se creará unas constantes para el cálculo del stack y reach.

En la siguiente figura se aprecia las dimensiones de la motocicleta Honda Cota 300RR y el piloto Toni Bou con el criterio del canon de siete cabezas y media, con una talla de 1,75m. [23]



ELABORACIÓN PROPIA

Como se aprecia en la figura anterior los valores de stack y reach son 601mm y 532mm respectivamente. Utilizando un criterio de proporción se deduce la siguiente ecuación para el modelamiento del stack, teniendo en cuenta las partes del cuerpo que repercuten en el valor de esta variable, siendo estas la longitud del muslo, pierna y pie.

Ecuación 15: Ecuación stack

$$Stack = k_s(muslo + pierna + pie)$$

Donde:

$$k_s = 0.7358.$$

muslo = Longitud de las partes corporales.

pierna = Longitud de las partes corporales.

pie = Longitud de las partes corporales.

Así mismo se utiliza el mismo criterio para modelar la ecuación para el reach, teniendo en cuenta las partes del cuerpo que repercuten en el valor de esta variable, siendo estas la longitud total del brazo.

Ecuación 16: Fuerza interna de reacción

$$Reach = k_r(\text{brazo} + \text{antebrazo} + \text{mano})$$

Donde:

$$k_r = 0.8825.$$

brazo = Longitud de las partes corporales.

antebrazo = Longitud de las partes corporales.

mano = Longitud de las partes corporales.

De la misma forma se utilizará este criterio de proporcionar las dimensiones para las demás partes de la motocicleta detalladas en el anexo 1.

VII. MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO ELÁSTICO DEL MARCO DE TRIAL

Para calcular las fuerzas que actúan sobre el marco, se debe modelar el comportamiento dinámico de todo el sistema. Las condiciones de análisis se iniciarán en el instante en que la motocicleta impacta contra el suelo, en un salto típico en campeonato, bajando un obstáculo de alrededor de 2.5 metros. [24]

Figura 36: Impacto en caída

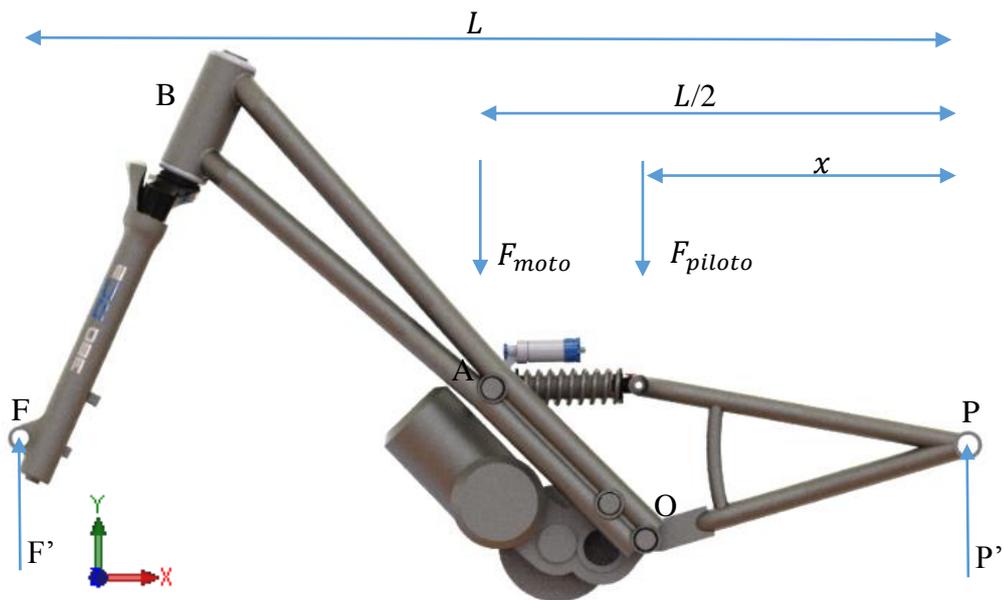


FUENTE: [24]

7.1. Diagrama de cuerpo libre

En el momento del impacto, los sistemas que acompañan al marco tales como la suspensión, inercia de los componentes, deformaciones de estos, etc. absorben cierta cantidad de energía, y la restante, entregándola al marco desde las sujeciones de este.

Figura 37: Análisis estático de impacto



ELABORACIÓN PROPIA

a. Sumatoria de fuerzas en el eje “Y”

Realizando el análisis de fuerzas en el eje Y, se obtiene la siguiente ecuación.

Ecuación 17: Sumatoria de fuerzas en el eje Y

$$F' + P' = F_{moto} + F_{piloto}$$

b. Sumatoria de fuerzas en el eje “X”

Al no existir fuerzas en el eje X, se procede a analizar los momentos que intervienen en el sistema.

c. Sumatoria de momentos en “P”

Realizando el análisis de los momentos con respecto al punto “P”, se obtiene la siguiente ecuación.

Ecuación 18: Sumatoria de momentos en P

$$F' \cdot L = \frac{L}{2} \cdot F_{moto} + x \cdot F_{piloto}$$

Despejando “F'” se obtiene la siguiente ecuación.

Ecuación 19: Fuerza resultante en F'

$$F' = \frac{1}{2} \cdot F_{moto} + \frac{x}{L} \cdot F_{piloto}$$

Remplazando la ecuación 19 en 17 y despejando “P'” se obtiene la siguiente ecuación.

Ecuación 20: Fuerza resultante en P'

$$P' = \frac{1}{2} \cdot F_{moto} + \left(1 - \frac{x}{L}\right) \cdot F_{piloto}$$

El término $\left(1 - \frac{x}{L}\right)$ se expresará en porcentaje de la longitud total de la motocicleta de trial, siendo interpretado como el porcentaje de peso del piloto que recae sobre la llanta posterío, por lo tanto.

Ecuación 21: Porcentaje de peso del piloto en la llanta posterior

$$\varphi = \left(1 - \frac{x}{L}\right)$$

Por lo tanto las fuerzas “F” y “P” corresponden a las siguientes igualdades.

Ecuación 22: Fuerza resultante de la llanta posterior

$$P' = \frac{1}{2} \cdot FI_{moto} + \varphi \cdot FI_{piloto}$$

Ecuación 23: Fuerza resultante en la llanta delantera

$$F' = \frac{1}{2} \cdot FI_{moto} + (1 - \varphi) \cdot FI_{piloto}$$

Donde:

P' = Fuerza de reacción trasera.

F' = Fuerza de reacción delantera.

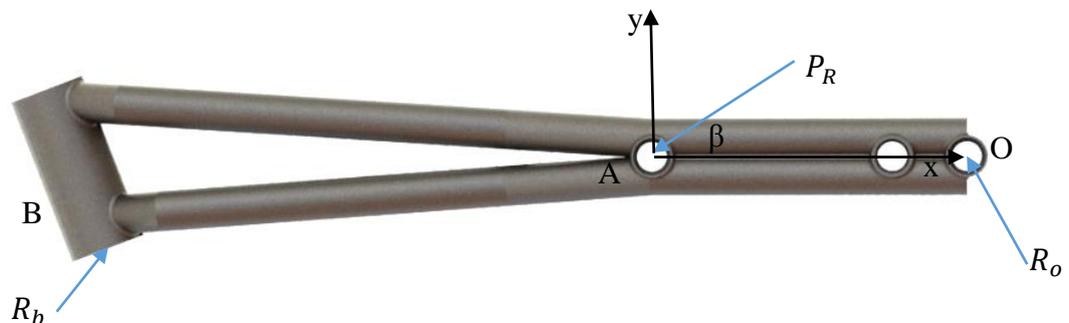
F_{moto} = Fuerza de impacto que ejerce la motocicleta.

F_{piloto} = Fuerza de impacto que ejerce el piloto.

φ = % peso del piloto que se carga en la parte trasera.

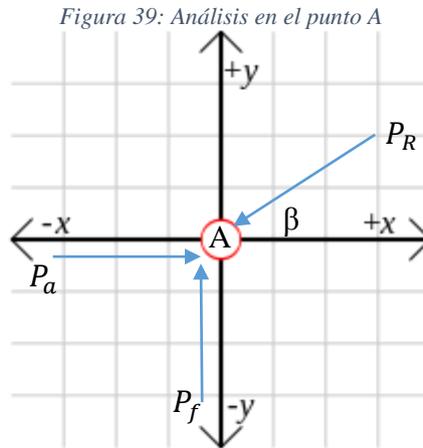
La fuerza interna resultante “ P_R ” es aplicada hacia el punto “A” con un ángulo “ β ” hacia el marco siendo este producto de fuerzas resultantes en cadena de los sistemas de amortiguamiento, elásticos, de inercia, etc. que son iniciados por la fuerza “P”, generando una fuerza flectora y de tracción en el marco. El punto “O” pivotea y el punto “B” se comporta como anclaje libre en dirección horizontal.

Figura 38: Diagrama de cuerpo libre del marco



ELABORACIÓN PROPIA

En el marco aparecen fuerzas internas contrarrestando dicha fuerza “ P_R ” en el punto “A” que se puede apreciar en la siguiente figura.



ELABORACIÓN PROPIA

Donde:

P_R = Fuerza interna resultante.

P_a = Fuerza interna axial del marco.

P_f = Fuerza interna flectora del marco.

Realizando las operaciones correspondientes se obtiene la siguiente igualdad.

Ecuación 24: Fuerza interna de reacción

$$P_R = \frac{P_a}{\cos(\beta)} + \frac{p_f}{\sin(\beta)}$$

Sabiendo que las fuerzas “ P_a ” y “ p_f ” dependen de las características y propiedades del marco estando en el límite elástico, se obtiene.

Ecuación 25: Fuerza equivalente del desplazamiento o flecha del marco

$$P_R = k_{marco} \cdot \delta_{marco}$$

Donde:

Ecuación 26: Valor elástico del marco

$$k_{marco} = \frac{E \cdot A}{\cos(\beta) \cdot N} + \frac{3 \cdot L \cdot E \cdot I}{\sin(\beta) \cdot N} \cdot \left(\frac{L^2 - N^2}{3} \right)^{-3/2}$$

Donde las variables corresponden a.

δ_{marco} = Desplazamiento del marco.

A = Área transversal.

N = Distancia del punto "O" al punto "A".

L = Longitud del marco.

E = Módulo de Young.

I = Momento de inercia.

d. Cálculo de la inercia de área

Para hallar la inercia de área se procede a hacer un corte transversal de la motocicleta en el punto de flexión "A".

Figura 40: Corte en el punto A



En la siguiente figura se aprecia las características del área transversal de la motocicleta.

Figura 41: Características del área transversal



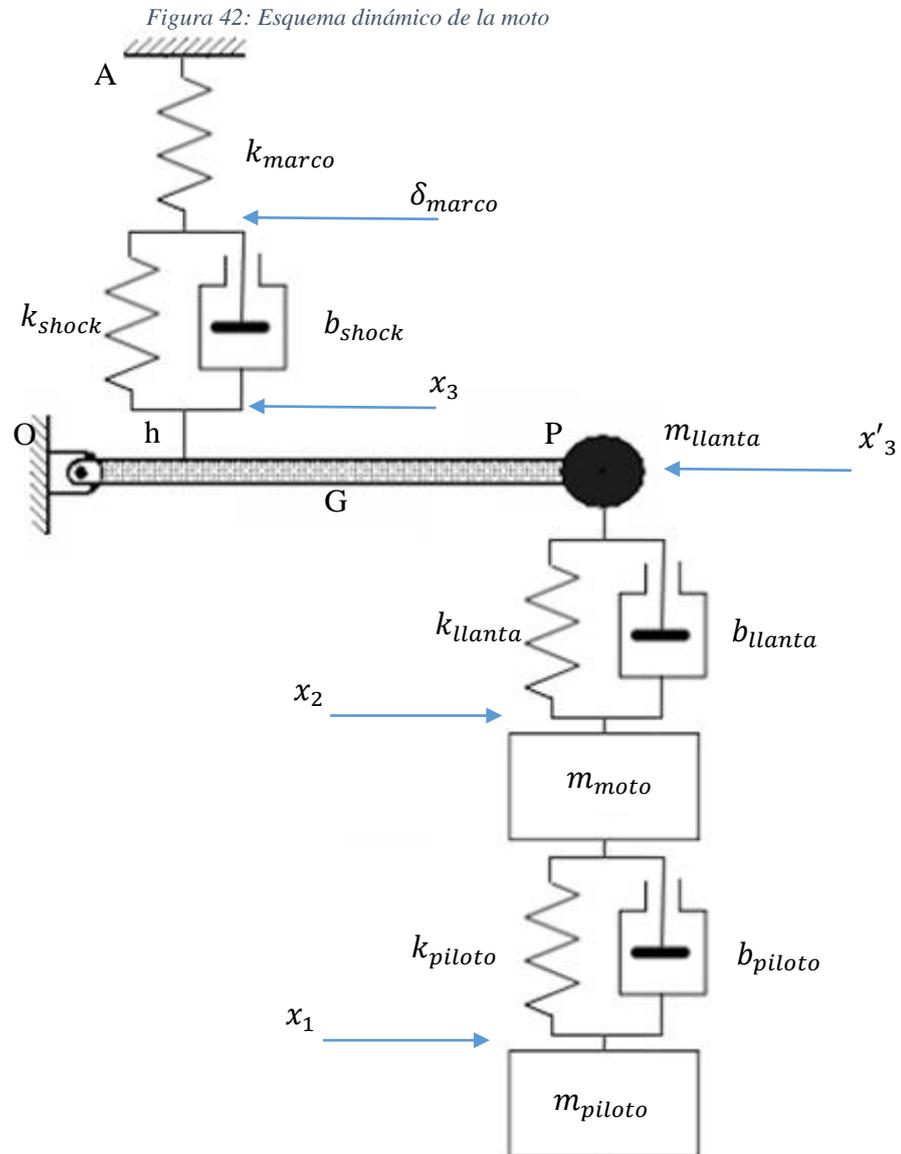
El valor de la inercia de área en el punto "A" se calcula con la siguiente ecuación.

Ecuación 27: Calculo de la inercia de área

$$I = \pi((R^4 - r^4) + 4(R^2 - r^2)(R - 0.0015)^2)$$

7.2. Análisis dinámico

El mayor esfuerzo en el marco se debe a los momentos flectores ejercidos por la fuerza P_R . Es esta la razón que se hará un análisis dinámico solo de esta carga haciendo una equivalencia del sistema de la siguiente forma.



ELABORACIÓN PROPIA

Donde las variables corresponden a.

δ_{marco} = Desplazamiento del marco.

x_n = Desplazamiento traslacional.

k_n = Constantes elásticas de los elementos

b_n = Constantes de amortiguamiento de los elementos.

m_n = Masa de los elementos.

a. Ecuaciones dinámicas del sistema

Para calcular el comportamiento dinámico de la motocicleta en el momento del impacto, se debe modelar una ecuación diferencial por cada punto móvil del sistema. En este caso se hallará la ecuación diferencial en el punto x3.

Se parte por la segunda ley de Newton rotacional, donde la suma de momentos es igual a cero.

Ecuación 28: Segunda ley de Newton rotacional

$$\sum \tau = \sum (I \cdot \alpha) = 0$$

Donde:

$\tau =$ Momento externo.

$I =$ Momento de inercia.

$\alpha =$ Aceleración angular.

También se sabe que la aceleración tangencial es igual a la aceleración angular por el radio, en este caso el radio es la letra "d".

Ecuación 29: Aceleración angular

$$\alpha = \frac{\ddot{x}}{d}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior, se obtiene lo siguiente.

Ecuación 30: Segunda ley de Newton rotacional

$$\sum \tau = \sum (m \cdot d \cdot \ddot{x}) = 0$$

Donde el momento de inercia se sustituye por $m \cdot d^2$. Esta ecuación se adecuará para cada momento par en el sistema, respetando la fuerza ejercida por un resorte y por un amortiguador, con su respectivo radio, por lo tanto, la ecuación diferencial rotacional queda de la siguiente forma.

Ecuación 31: Ecuación diferencial del sistema masa resorte amortiguado rotacional

$$d_1 m \ddot{x} + d_2 b \dot{x} + d_3 k x = 0$$

Donde:

$d_1 =$ Distancia entre centro de masa y punto "O"

$d_2 =$ Distancia entre amortiguador y punto "O"

$d_3 =$ Distancia entre resorte y punto "O"

Utilizando las ecuaciones diferenciales de comportamiento dinámico trasnacional y rotacional de un sistema masa resorte amortiguado se obtiene lo siguiente.

Ecuación 32: Ecuación dinámica de desplazamiento o flecha del marco

$$k_{shock}(\delta_{marco} - x_3) + k_{marco}(x_4) + b_{shock}(\dot{\delta}_{marco} - \dot{x}_3) = 0$$

Ecuación 33: Ecuación dinámica x3

$$m_{llanta} \cdot K(\ddot{x}'_3) + G \cdot k_{llanta}(x'_3 - x_2) + h \cdot k_{shock}(x_3 - x_4) + G \cdot b_{llanta}(\dot{x}'_3 - \dot{x}_2) + h \cdot b_{shock}(\dot{x}_3 - \dot{x}_4) = 0$$

Ecuación 34: Ecuación dinámica x2

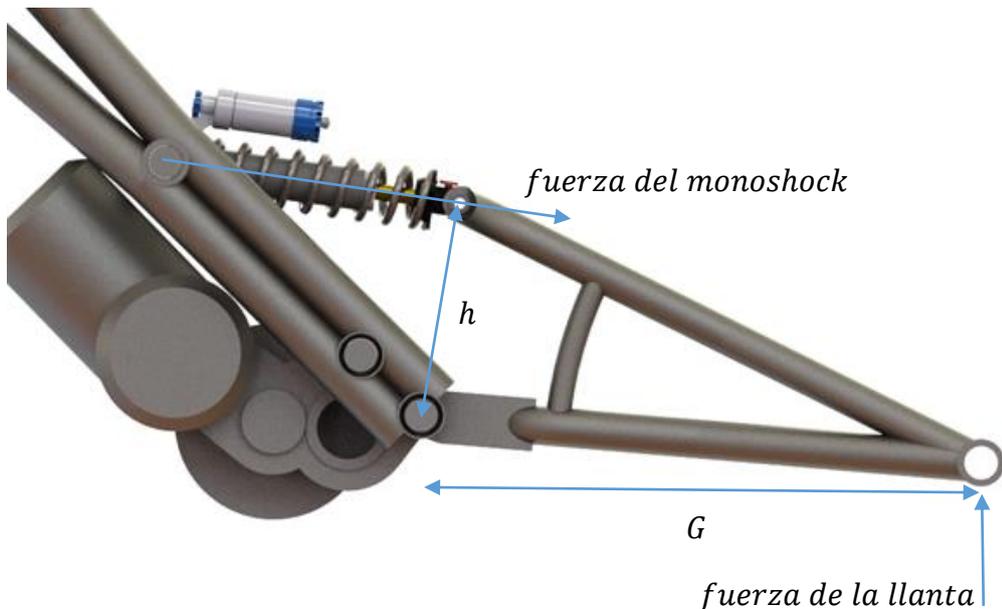
$$m_{moto}(\ddot{x}_2) + k_{llanta}(x_2 - x'_3) + b_{llanta}(\dot{x}_2 - \dot{x}'_3) + b_{piloto}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = 0$$

Ecuación 35: Ecuación dinámica x1

$$m_{piloto}(\ddot{x}_1) + b_{piloto}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) = 0$$

Los valores de h y G son las distancias perpendiculares a las fuerzas ejercida por el monoshock y la llanta posterior respectivamente.

Figura 43: h y G

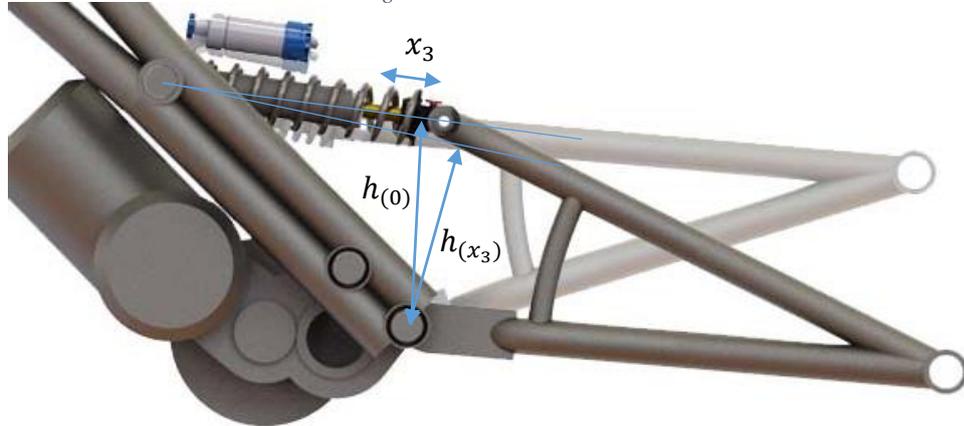


ELABORACIÓN PROPIA

b. Cálculo de h

Este valor varía dependiendo del recorrido del monoshock y la geometría de la motocicleta, por lo tanto, este depende de x_3 .

Figura 44: Valor de h



ELABORACIÓN PROPIA

El valor de h se calcula utilizando la siguiente ecuación.

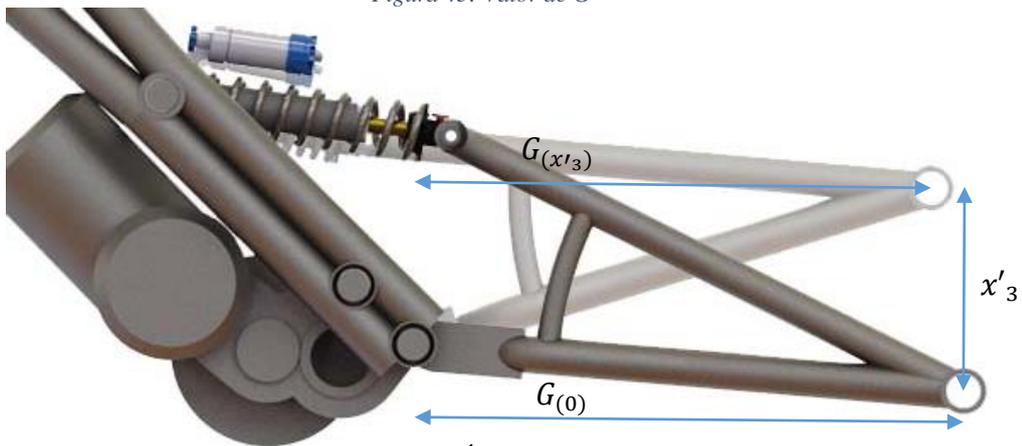
Ecuación 36: Ecuación de h

$$h = \sqrt{N^2 - \left(\frac{J^2 - N^2 - (shock - x_3)^2}{-2(shock - x_3)} \right)^2}$$

c. Cálculo de G

Este valor varía dependiendo del recorrido que hace la llanta verticalmente y de la geometría de la motocicleta, por lo tanto, este depende de x'_3 .

Figura 45: Valor de G



ELABORACIÓN PROPIA

El valor de G se calcula utilizando la siguiente ecuación.

Ecuación 37: Ecuación de G

$$G = \sqrt{K^2 - (D - x'_3)^2}$$

VIII. SIMULACIÓN MATEMÁTICA COMPUTACIONAL

Para hallar el área transversal de los elementos del marco de la motocicleta, nos apoyamos de una herramienta de matemática computacional. MatLab y SimuLink serán utilizados para dicho objetivo.

8.1. Código en MatLab

Con el siguiente código se calculará el área transversal utilizando simuLink para aproximar un espesor de los elementos que conforman el marco.

Tabla 4: Código de MatLab

```
Data=xlsread('Dimensiones','R24:U37')
FS=0;
i=0;
pause on
find_system('Name','mototrial');
open_system('mototrial');
while FS<=Data(14,1);
    espesor=espesor+0.0001;
    r=(R-(espesor/1000));
    ka=(4*3.1415*(R^2-r^2)*E)/n;
    I=(3.1415*((R^4-r^4)+4*(R^2-r^2)*(R-1.5/1000)^2));
    kf=((3*long*E*I)/(n))*((long^2-n^2)/(3))^(3/2);
    if i==0;
        set_param('mototrial','IgnoredZcDiagnostic','none');
        set_param(gcs,'SimulationCommand','start');
        'Esperando a Simulink... ->'
        while FS==0;
            pause(1);
            [FS posicion]=min(FS(:,1));
        end
        P=(P(posicion,1));
        h=(h(posicion,1))*1000;
        sinT=(sinT(posicion,1));
        cosT=(cosT(posicion,1));
    end
    rT=((2*R-0.0015)*n*(long-n)*P*sinT)/(I*long)+(P*cosT)/(4*3.1415*(R^2-r^2));
    FS=Lim/rT;
    i=1;
end
FS, espesor, h, P
```

ELABORACIÓN PROPIA

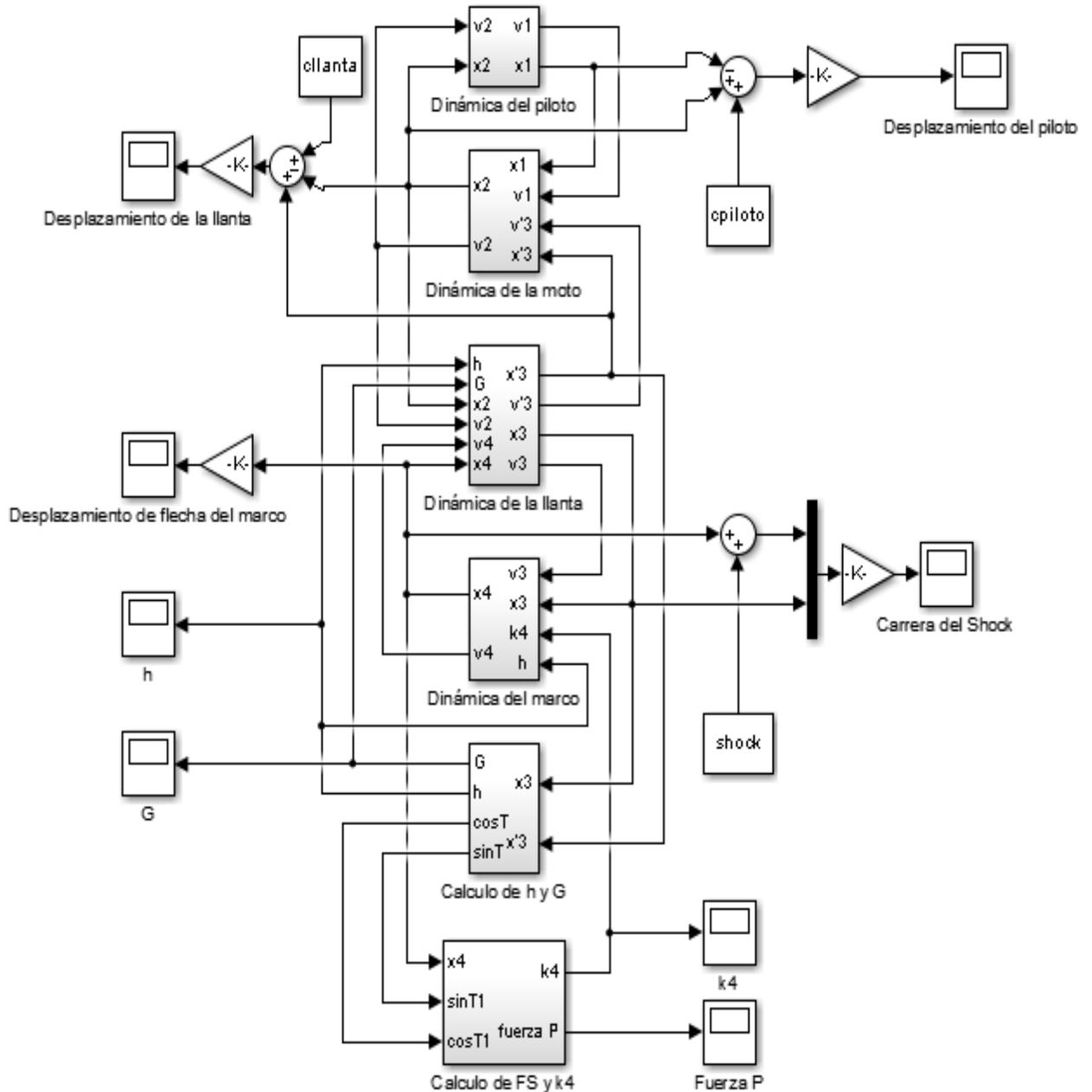
El comando de la primera línea “*Data=xlsread('Dimensiones','R24:U37')*” se utiliza para extraer los valores de constantes elásticas, constantes de amortiguamiento, masas, y las dimensiones del marco de la tabla de diseño antes creada. El comando “*set_param(gcs,'SimulationCommand','start')*” se utiliza para ejecutar el modelo de bloque de SimuLink. Este se encarga de hacer la simulación del comportamiento elástico del marco de la motocicleta.

Una vez finalizado la simulación en SimuLink, se procede a utilizar los datos de dicha simulación para estimar un espesor de los elementos del marco considerando un factor de seguridad. Se asume un espesor de 0.5mm y se itera aumentando 0.0001mm en cada iteración hasta cumplir la condición del factor de seguridad elegido.

8.2. Modelo en SimuLink

Una vez obtenidas las ecuaciones dinámicas del sistema, se procede a crear un modelo en SimuLink para simular el comportamiento elástico dinámico del marco de la motocicleta con los siguientes bloques.

Figura 46: Modelo de bloques de Simulink

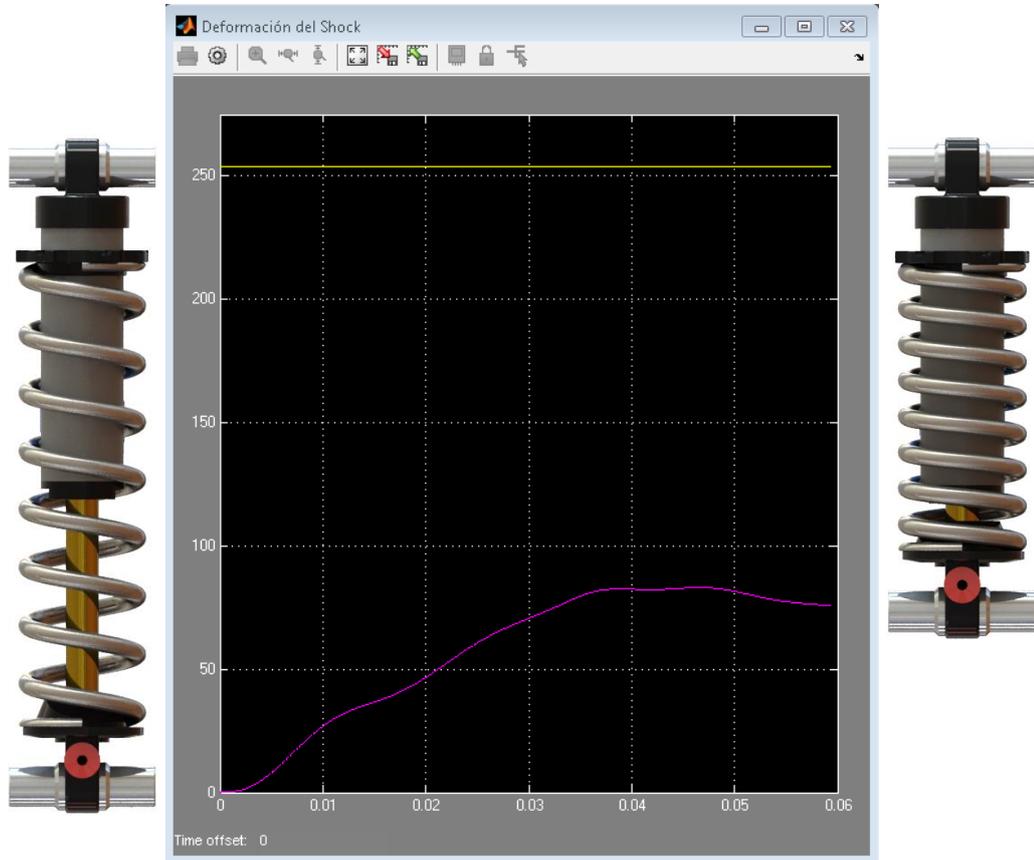


ELABORACIÓN PROPIA

El modelo de SimuLink consta de 6 bloques conectados entre sí. En cada bloque se encuentra su correspondiente ecuación diferencial dinámica.

El desplazamiento con respecto al tiempo en cada posición, se visualiza mediante el elemento Scope, donde se muestra mediante la siguiente interface que en este caso pertenece a la compresión del monoshock.

Figura 47: Interfaz gráfica del elemento scope

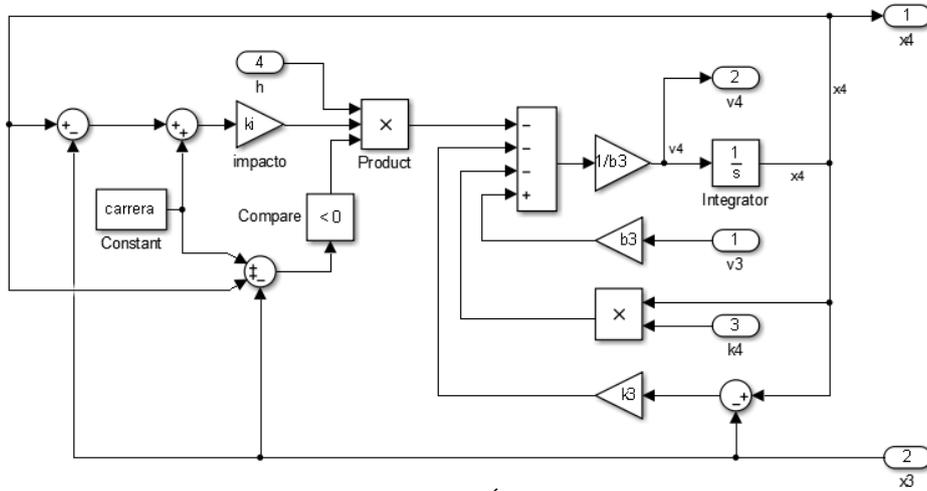


ELABORACIÓN PROPIA

a. Bloque de SimuLink del marco

La representación de la ecuación diferencial del comportamiento elástico dinámico del marco de la motocicleta en SimuLink es de la siguiente forma.

Figura 48: Bloque del marco de la motocicleta en SimuLink



ELABORACIÓN PROPIA

El bloque que corresponde al desplazamiento o flecha del marco consta de un integrador que es alimentado por una sustracción de la posición de traslación del punto x_3 , la posición de traslación del punto x_4 y la condición de impacto cuando el monoshock culmina su carrera máxima de trabajo, a la vez que se adiciona la velocidad de traslación del punto x_3 . Siendo x_3 y x_4 el recorrido del monoshock y la flecha del marco respectivamente.

De este bloque se exporta los valores de posición y velocidad de x_4 hacia los demás bloques para ser realimentado por los valores de posición y velocidad de x_3 ; h y k_4 . Siendo k_4 la constante elástica del marco de la motocicleta.

Las variables k_3 , k_i y b_3 corresponden a, la constante elástica del monoshock, constante elástica de impacto y la constante de amortiguación del monoshock respectivamente.

IX. CONSIDERACIONES DEL PREDISEÑO

Antes del diseño del marco de la motocicleta de trial, se debe definir las características del piloto, así como los componentes que se utilizarán para armar la motocicleta. Estos valores son importantes porque el peso del marco y el redimensionamiento del mismo, dependen de la masa del conjunto y las proporciones del piloto.

9.1. El piloto

Para el diseño de este marco de motocicleta, se tomará como piloto a Cusquisiban Zuloeta, con una masa de 64 kg y una talla de 1,71 m adicionando el equipamiento que debe llevar un piloto de trial, tales como el casco, armadura, botas, etc. la masa de todo el conjunto aumenta hasta 71 kg.

Tabla 5: Constantes elásticas y de amortiguamiento de las rodillas

Equipamiento	Peso [kg]
Cosco	1,15
Botas	2,20
Guantes	0,0325
Armadura	0,618
Rodilleras	0,12
Otros	2
Total	6,1205

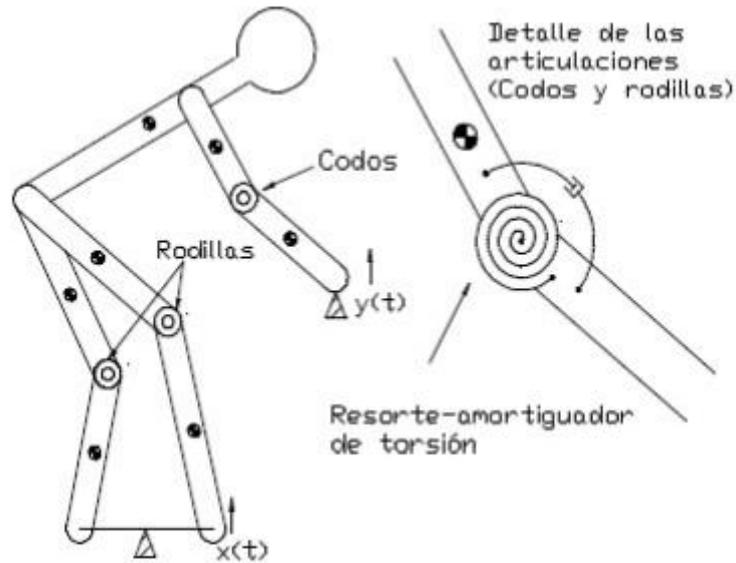
FUENTE: [33, 34, 46, 35]

Hay que tener en cuenta las características del equipamiento para la especialidad de trial, ya que estas difieren con las de Cross u Offroad por sus exigencias técnicas. El equipamiento para pilotos de trial se caracteriza por ser más ligero, elástico y bien ajustado, para facilitar el movimiento constante que realiza un piloto en campeonato. El casco es abierto para no repercutir en la visión periférica, necesaria para tener conciencia espacial del terreno, rondando los 900 gramos de masa. Otro aspecto importante en el equipamiento de un piloto de trial, son la bota, siendo estas más ligeras y flexibles para mayor tacto en el freno trasero y el constante juego de pies que debe realizar un piloto para mantener el equilibrio y superar obstáculos. La armadura al igual que el resto de equipamiento, es ligero y flexible, están diseñados para impactos mayores que los de cross u offroad ya que los obstáculos en ocasiones son artificiales y rígidos, por ejemplo, una columna de concreto. [25]

a. Constantes elásticas y amortiguador

En el siguiente modelo esquemático se aprecia el sistema masa resorte amortiguado análogo a un piloto montado en una bicicleta, se usará estos valores sabiendo que es indiferente el estar montado en una bicicleta o en una moto porque estos dependen netamente del cuerpo humano.

Figura 49: sistema masa resorte amortiguado del piloto



FUENTE: [26]

Se tomará las constantes elásticas y de amortiguamiento de las piernas del piloto siendo estas las relevantes para el diseño del marco de la motocicleta, estos valores se muestran en el siguiente cuadro. [26]

Tabla 6: Constantes elásticas y de amortiguamiento de las rodillas

Parte	$k_r [\frac{N \cdot m}{rad}]$	$b_r [\frac{N \cdot m \cdot s}{rad}]$
Rodilla I	273,5	5,47
Rodilla D	273,5	5,47

FUENTE: [26]

Estos valores corresponden a un sistema masa resorte amortiguado rotacional, por lo tanto, se adecuará a un sistema traslacional para su uso.

Se sabe que un sistema rotacional trabaja con momentos torsionales, por lo tanto, para modelar su equivalente traslacional, el resorte y el amortiguador lineal se debe multiplicar por un radio, para posteriormente despejar la constante elástica y de amortiguamiento traslacionales.

Ecuación 38: Constante elástica rotacional

$$k_t \cdot \delta \cdot r = k_r \cdot \alpha_r$$

Donde:

$k_t =$ Constante elástica traslacional.

$k_r =$ Constante elástica rotacional.

$\delta =$ Desplazamiento lineal del resorte.

$r =$ Longitud del muslo.

$\alpha_r =$ Ángulo de barrido de la radilla.

También se sabe que el desplazamiento del resorte lineal es igual al ángulo de barrido de la rodilla por la longitud del muslo, por lo tanto, despejando se obtiene k_t , se obtiene.

Ecuación 39: Constante elástica traslacional equivalente

$$k_t = 2 \frac{k_r}{r^2}$$

Donde:

$k_t =$ Constante elástica traslacional.

$k_r =$ Constante elástica rotacional.

$r =$ Longitud del muslo.

Esta constante elástica traslacional representa a la fuerza ejercida por el piloto hacia la posa pies de la motocicleta mediante las piernas. La ecuación se multiplica por 2, porque en un salto se utilizan las 2 piernas en el mismo ángulo, posición y distancia, a diferencia de un piloto de bicicleta, que una pierna esta hacia delante y la otra hacia atrás del eje del pedaliar. De la misma forma se modela la constante de amortiguación.

Ecuación 40: Constante amortiguación traslacional equivalente

$$b_t = 2 \frac{b_r}{r^2}$$

Donde:

$b_t =$ Constante de amortiguamiento traslacional.

9.2. Componentes de la motocicleta

Los componentes que se instalarán en el marco de la motocicleta de trial, se considerarán como sistemas, por ejemplo, sistema de amortiguamiento delantero (horquilla) o trasero (monoshock), sistema de tracción delantero o trasero, motor, etc. Esto para que la selección de los componentes sea relevante, considerando en un ítem “otros” componentes como, tornillos, pernos o plásticos y simplificación del proceso de desarrollo.

a. Horquilla

El sistema de amortiguación delantero será la horquilla Fox 36 FIT4, detallando las características relevantes en la siguiente tabla.

Tabla 7: Características de Fox 36 FIT4

Peso	2,037	Kg
Carrera	180	mm

FUENTE: [37]

b. Motor

Se utilizará un motor horizontal de Honda SuperCub de 110cc, siendo el peso la característica más relevante para el diseño.

Figura 50: motor horizontal de Honda SuperCub de 110cc



ELABORACIÓN PROPIA

Este modelo en particular pesa 13,28 kg, el cual se utilizará para diseñar el marco de la motocicleta de trial.

c. Monoshock

El sistema de amortiguación trasero será el monoshock Fox DHx2, detallando las características relevantes en la siguiente tabla.

Tabla 8: Características de Fox DHx2

Peso	0.406	<i>Kg</i>
Carrera	3	<i>in</i>
Longitud	9,5	<i>in</i>

FUENTE: [41]

d. Basculante

El basculante se diseñará en una futura actualización de este proyecto, siendo una parte fundamental en la geometría y peso de la motocicleta, por lo tanto, se tomará como referencia las características de modelos que se encuentren en el mercado. Se tomará la característica más relevante del basculante de la OSSA TR280i para el diseño del marco, siendo tan solo el peso de 1.5kg. [27]

e. Llanta

Se utilizará las llantas de una bicicleta de modalidad de DownHill, siendo estas las más resistentes y livianas del mercado.

Figura 51: Llanta de una bicicleta de DownHill.



ELABORACIÓN PROPIA

Este modelo en particular pesa 2,82 kg, el cual se utilizará para diseñar el marco de la motocicleta de trial.

f. Otros

Otros accesorios que necesita la motocicleta pero que no son relevantes en el diseño más que el peso del consunto, se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 9: Peso de accesorios.

Accesorio	Peso [kg]
1.5 L de gasolina	2.2
Plásticos y pernería	15
Manubrio, codo y frenos	0,644
Componentes electrónicos	3
Total	20,844

FUENTE: [38]

X. SIMULACIÓN ESTRUCTURAL FEA

Para la simulación por elementos finitos, se utilizará el software SolidWorks. Una vez definido los parámetros del pre diseño, se procede a ejecutar el código en Matlab, obteniendo los siguientes resultados para el diseño

Figura 52: Parámetros para el diseño.

Talla del piloto		
Altura	171 cm	
Masa	70 kg	
Brazo	50	50 cm
Muslo	33.5	34 cm
Pierna	38	38 cm

Dimensiones del marco	
A	Tubo de dirección 147 mm
B	Reach 508 mm
C	Stack 582 mm
D	Altura del posapies 53 mm
E	Angulo de la direccion 66°
F	From center 846 mm
G	Basculante 417 mm
H	Distancia entre ejes 1262 mm
I	Longitud de horquilla 570 mm
J	Altura de basculante 195 mm
K	Longitud basculante 420 mm
L	Radio de monoshock 440 mm
M	Altura del manubrio 132 mm
N	Long. posapies hasta monoshock 270 mm
R	Diametro de elementos del marco 38.10 mm
O	Espesor de los elementos del marco 1.20 mm
P	h 192.33 mm
Q	G 401.37 mm
S	Impacto en caída 10422 N
T	Fuerza en frenada 1166 N
U	Fuerza torsional 478 N
V	Fuerza vertical delantera 2689 N
X	Fuerza vertical trasera 4994 N
Y	Fuerza lateral 478 N
Z	Fuerza delatera del piloto -565 N

ELABORACIÓN PROPIA

Con los valores de la “A” hasta la “O”, se dibujará el marco de la motocicleta de trial. Los valores restantes, serán las fuerzas que estará sometido el marco de la motocicleta en distintos casos.

El marco de la motocicleta de trial es un elemento sometido a esfuerzos dinámicos y constantes, por la tanto se debe diseñar con un factor de seguridad mínimo de 2,5 para asegurar su durabilidad, se realizará 5 casos de simulación, recreando las posibles condiciones a la que estará sometido el marco de la motocicleta, siendo un impacto por caída, esfuerzos por frenada, rigidez torsional, lateral y vertical. Las componentes de tensión serán las de Von Mises.

Una vez finalizado el diseño, se recomienda las pruebas con prototipos en entornos reales y monitorizados.

10.1 Análisis estático

a. Malla

El software para la creación de la malla es Solidworks Simulation, utilizando la opción de malla basada en curvatura, con un tamaño de elementos máximo recomendado por SolidWorks. Los detalles de la malla se muestran en la siguiente figura.

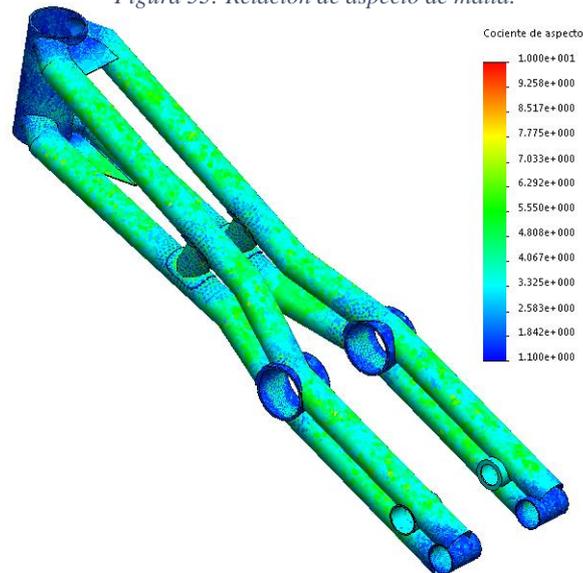
Tabla 10: Detalle de malla.

Nombre de estudio	Impacto en caída
Tipo de malla	Malla solida
Malla utilizada	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	En los nodos
Tamaño máx. de elemento	8,75379mm
Tamaño min. de elemento	2,9179mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	116039
Número total de elementos	58324

ELABORACIÓN PROPIA

Esta malla es aceptable, teniendo una relación de aspecto menor a 3 en las áreas críticas y alrededor de 5 en las demás áreas. Una buena aproximación para el modelo.

Figura 53: Relación de aspecto de malla.

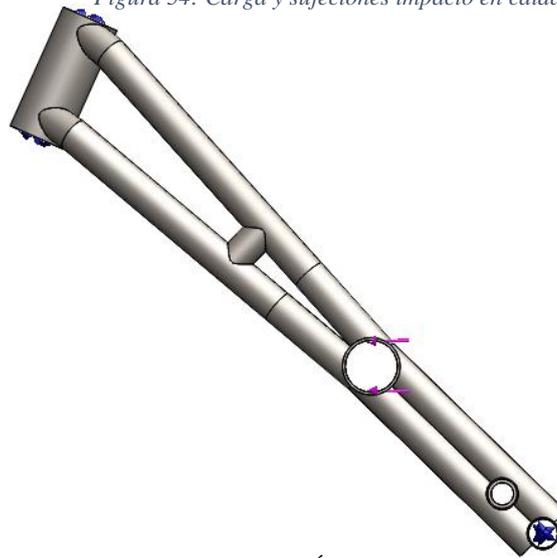


ELABORACIÓN PROPIA

b. Caso 1

Este caso es exclusivo de las motocicletas de trial, la caída desde una cierta altura sin recibidor, siendo esto lo particular de la modalidad de trial. Por este motivo, y al no haber estandarizaciones de diseño de motocicletas, se optó por crear un código en MatLab para aproximas las características del marco para posteriormente afinar con el software SolidWorks.

Figura 54: Carga y sujeciones impacto en caída.



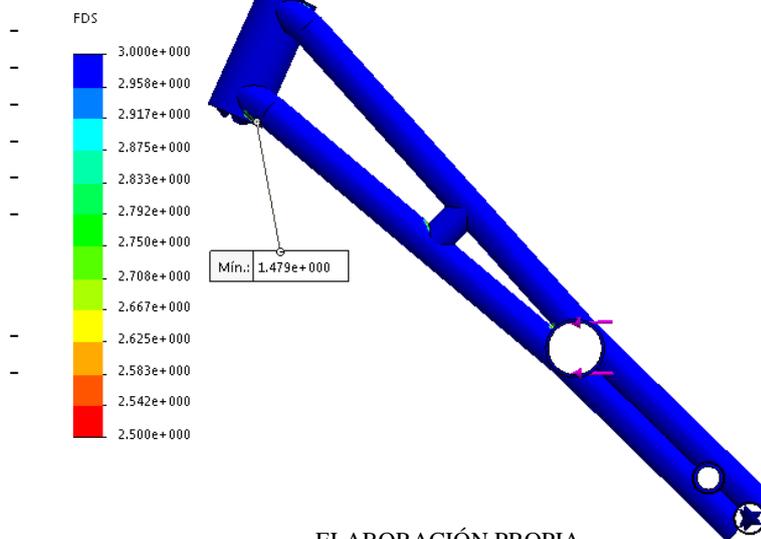
ELABORACIÓN PROPIA

Consta de sujeciones de rodamiento en la pipa de dirección y el eje del basculante, marcados de azul. La carga de 10 422N se aplica en el acoplamiento del monoshock, colonial a este y perpendicular a “h”.

- Optimización

El modelo casi en su totalidad tiene un factor de seguridad superior a 2,5, con un mínimo de 1,479 conllevando a una posible falla, por lo tanto, se debe reforzar dichos puntos.

Figura 55: FS impacto en caída.

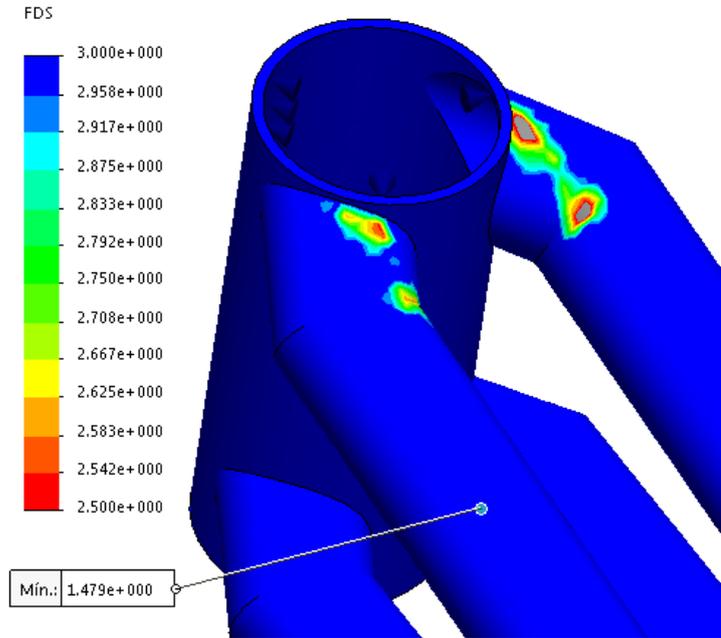


ELABORACIÓN PROPIA

Región 1

El modelo presenta 4 regiones en donde el factor de seguridad está por debajo de 2,5, conllevando a una posible falla, por consecuencia se reforzará dichas regiones.

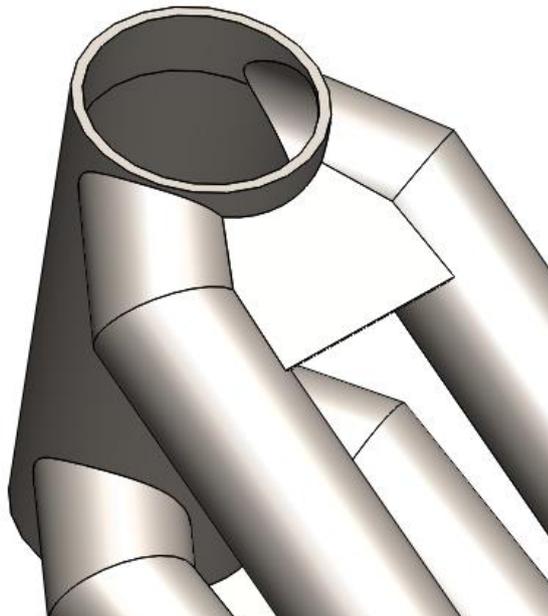
Figura 56: Región 1.



ELABORACIÓN PROPIA

En la región 1 se puede apreciar de color gris el área con un factor de seguridad menor a 2,5. Una forma de solucionar esta futura falla, es soldando un refuerzo de la siguiente forma.

Figura 57: solución 1.

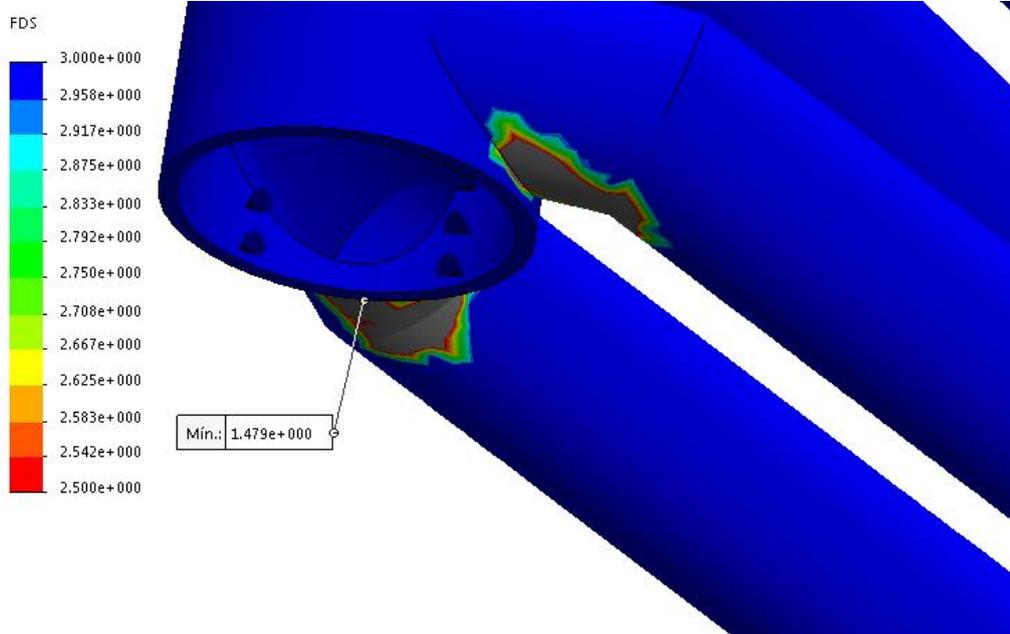


ELABORACIÓN PROPIA

Región 2

En la región 2 se puede apreciar de color gris el área con un factor de seguridad menor a 2,5, que puede conllevar a una falla.

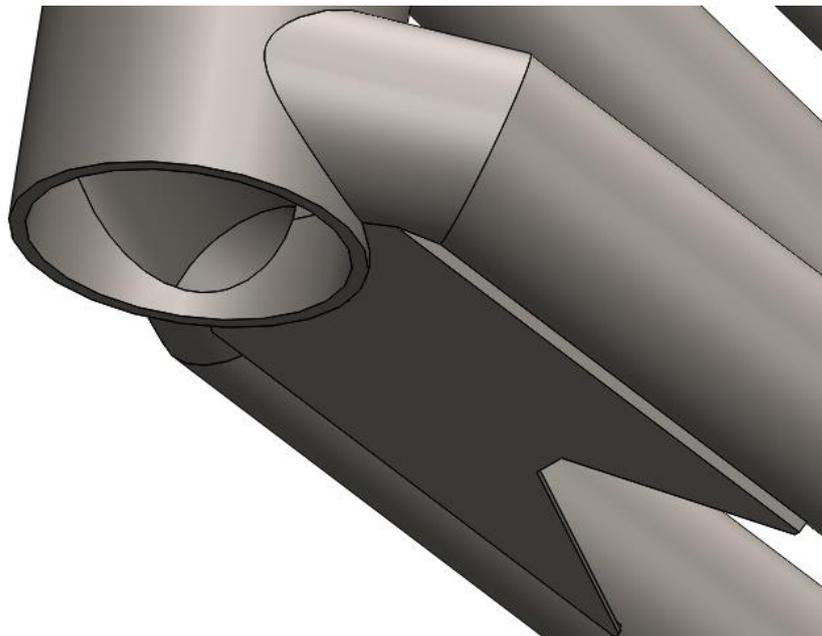
Figura 58: Región 2.



ELABORACIÓN PROPIA

Una forma de solucionar esta futura falla, es soldando un refuerzo similar a la solución 1 de la siguiente forma.

Figura 59: Solución 2.

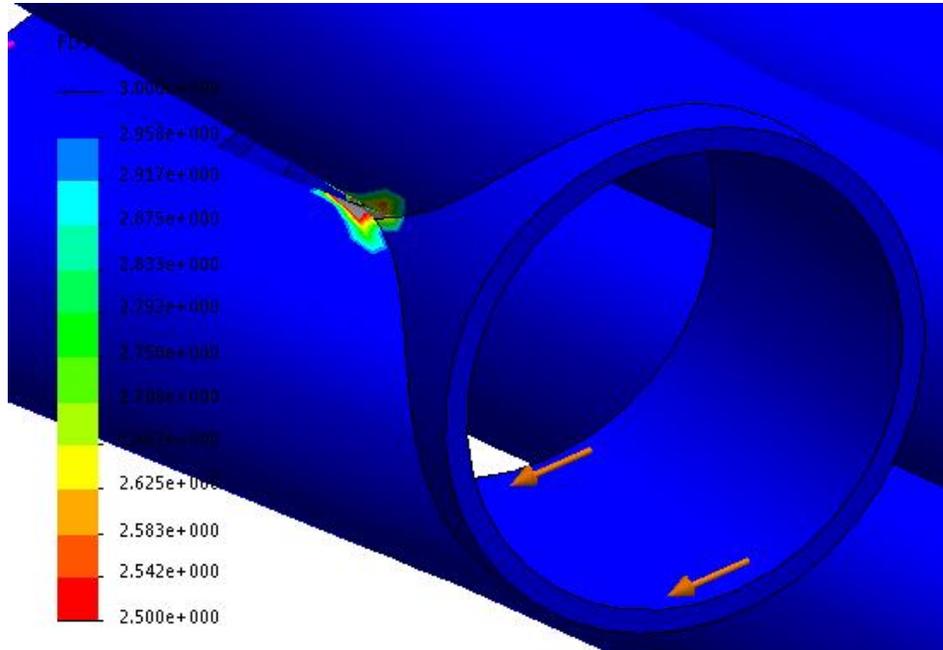


ELABORACIÓN PROPIA

Región 3

En la región 3 se puede apreciar de color gris el área con un factor de seguridad menor a 2,5, que puede conllevar a una falla.

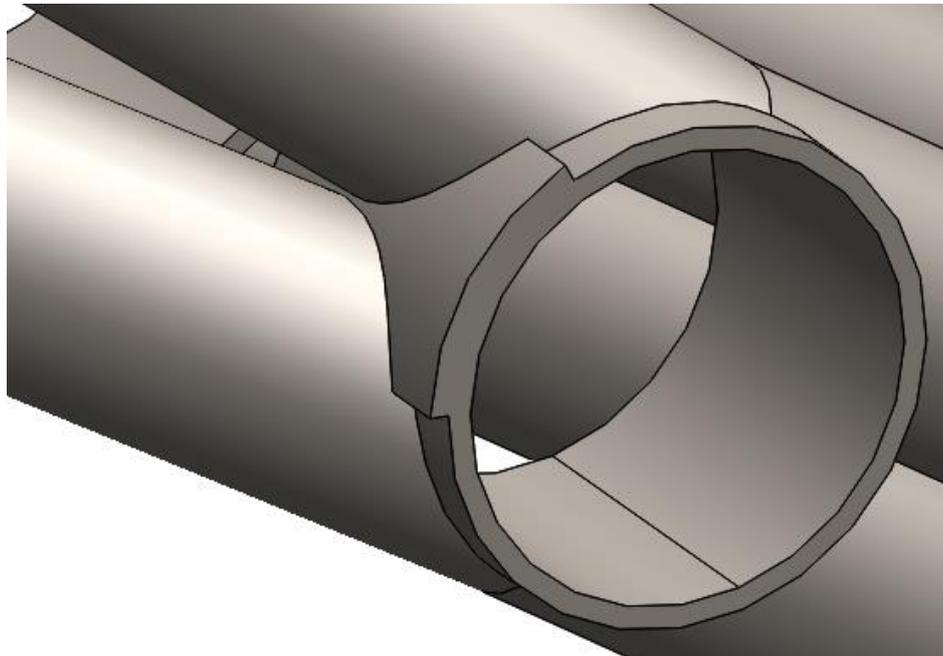
Figura 60: Región 3.



ELABORACIÓN PROPIA

Una forma de solucionar esta futura falla, es soldando un refuerzo para volver más grueso el soporte donde se acopla en monoshock.

Figura 61: Solución 3.

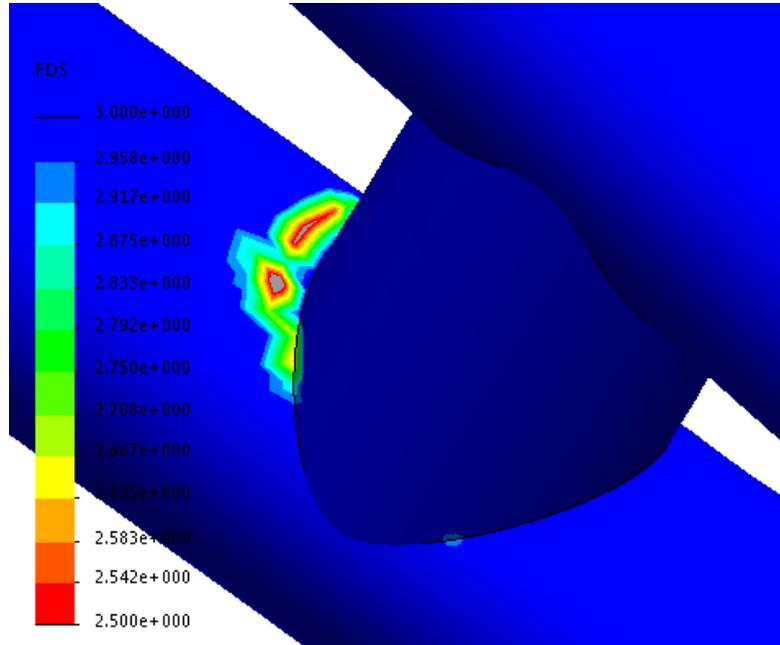


ELABORACIÓN PROPIA

Región 4

En la región 4 se puede apreciar de color gris el área con un factor de seguridad menor a 2,5, que puede conllevar a una falla.

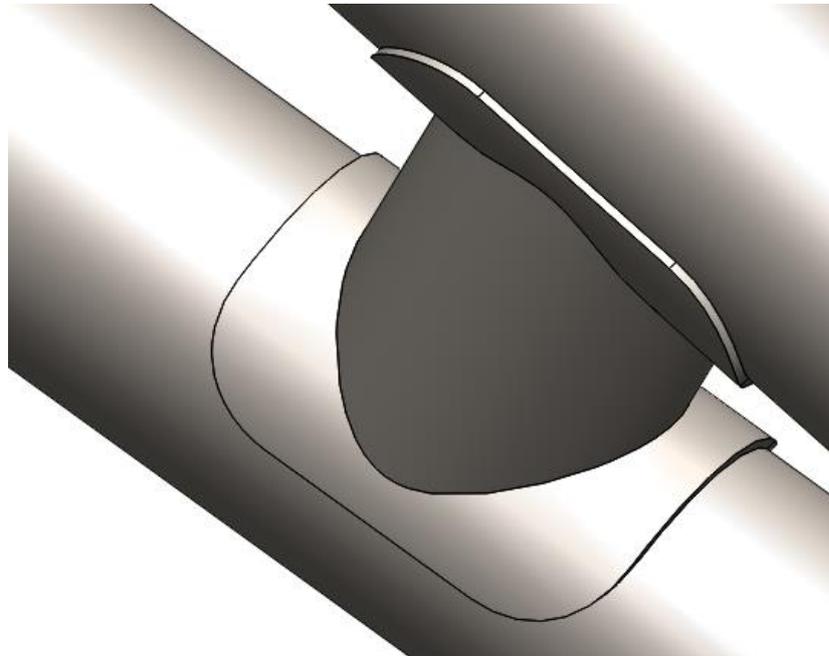
Figura 62: Región 4.



ELABORACIÓN PROPIA

Una forma de solucionar esta futura falla, es soldando un refuerzo para aumentar el área de soporte hacia el tubo de 1,2mm. Así los esfuerzos no serán puntuales.

Figura 63: Solución 4.

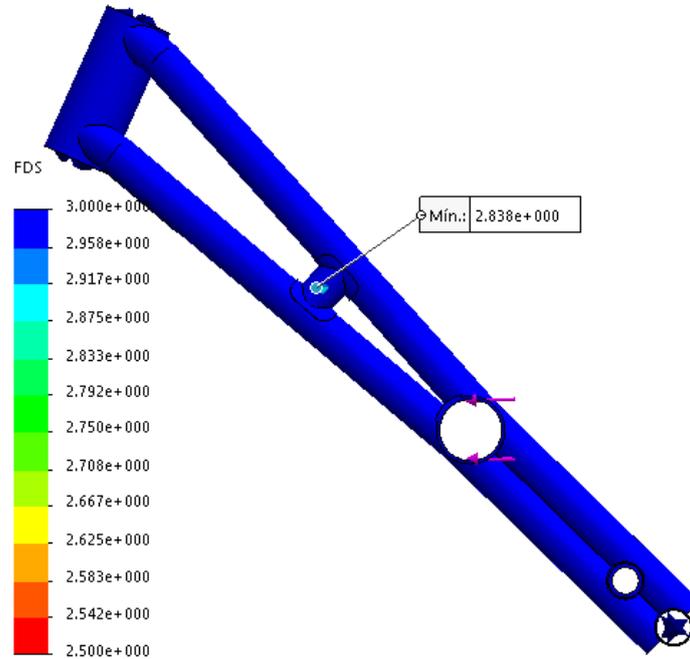


ELABORACIÓN PROPIA

- **Actualización de modelo**

Una vez creada las soluciones, se procede a ejecutar nuevamente el análisis por elementos finitos.

Figura 64: FS actualizado.

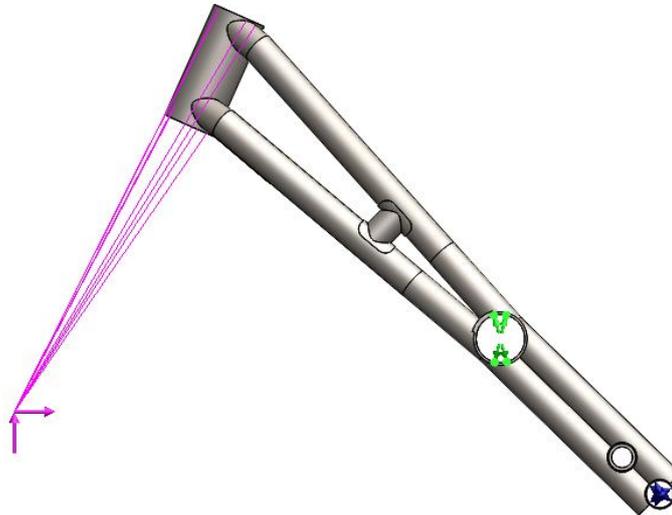


ELABORACIÓN PROPIA

c. **Caso 2**

Este caso es la típica situación de frenado, los esfuerzos generados son directamente proporcional a la masa del conjunto, es por esta razón que se asumirá las componentes de la carga igual al peso total siendo 1 166N para cada componente.

Figura 65: Carga y sujeciones frenada.

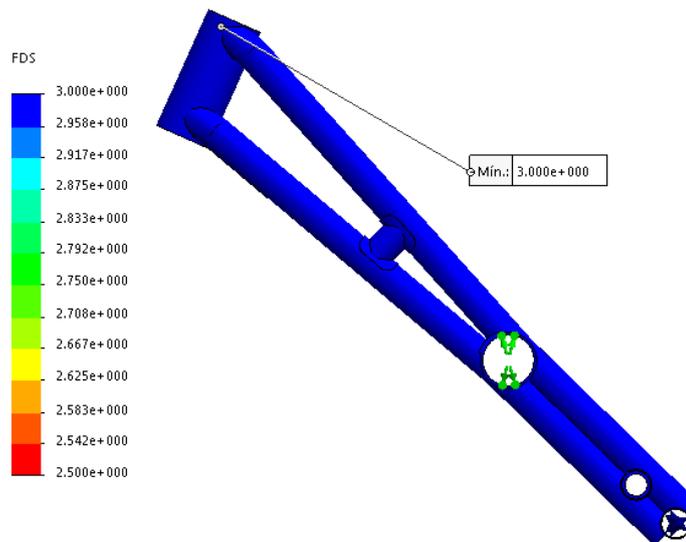


ELABORACIÓN PROPIA

Consta de sujeciones de rodamiento en el eje del basculante, marcados de azul, y sujeción de bisagra donde se acopla el monoshock marcados de verde, la carga se aplica a la distancia que otorga la horquilla cuando este esta comprimida en su totalidad, siendo esto un efecto de la frenada.

El modelo tiene un factor de seguridad mayor a 2,5, garantizando una vida útil prolongada.

Figura 66: FS frenada.



ELABORACIÓN PROPIA

d. Caso 3

Este caso simula una fuerza aplicado lateralmente en la horquilla, o bien la motocicleta inclinada. Se asumirá una carga igual al peso total de la motocicleta de trial de 478N.

Figura 67: Sujeción y carga torsional.

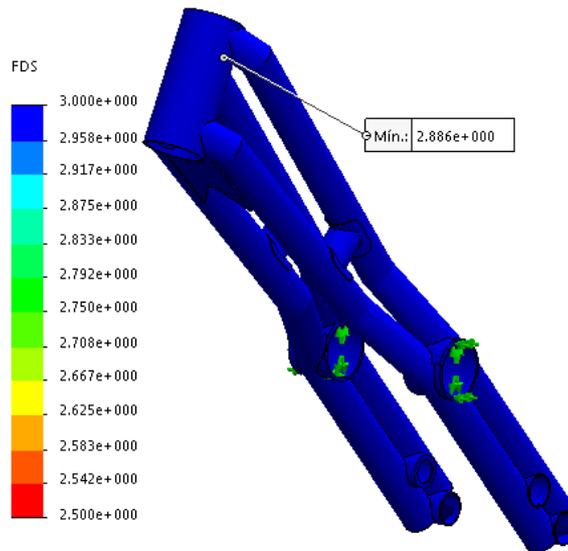


ELABORACIÓN PROPIA

Consta de sujeciones de rodamiento en el eje del basculante, marcados de azul, y sujeción de bisagra donde se acopla el monoshock marcados de verde, la carga se aplica a la distancia que otorga la horquilla cuando este esta comprimida en su totalidad.

El modelo tiene un factor de seguridad mínimo de 2,886, garantizando una vida útil prolongada.

Figura 68: FS torsional.

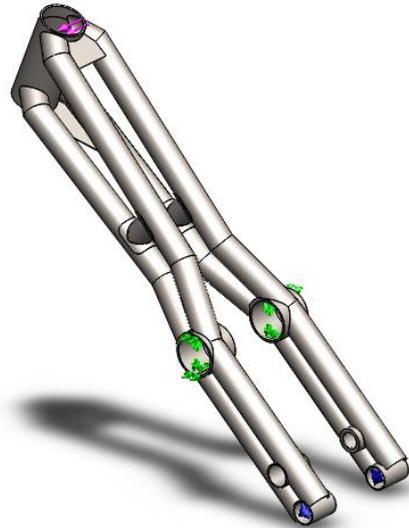


ELABORACIÓN PROPIA

e. Caso 4

Este caso simula una fuerza aplicado lateralmente en la pipa de dirección, o bien la motocicleta inclinada realizando algún truco. Se asumirá una carga igual al peso total de la motocicleta de trial 478N.

Figura 69: Sujeción y carga lateral.

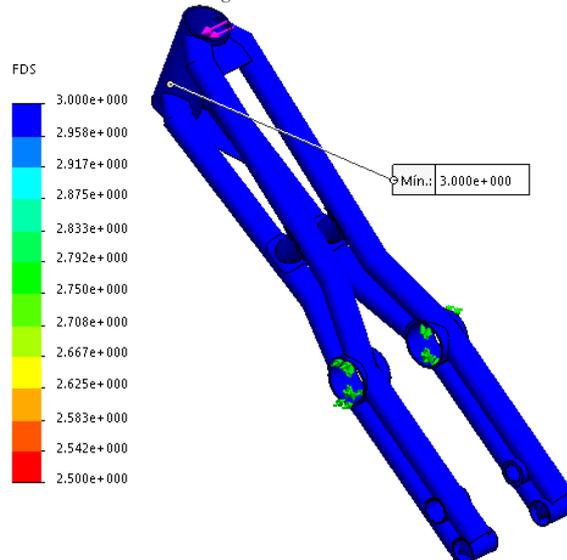


ELABORACIÓN PROPIA

Consta de sujeciones de rodamiento en el eje del basculante, marcados de azul, y sujeción de bisagra donde se acopla el monoshock marcados de verde, la carga se aplica en la pipa de dirección, siendo esta de 478N.

El modelo tiene un factor de seguridad mayor a 2,5, garantizando una vida útil prolongada.

Figura 70: FS lateral.

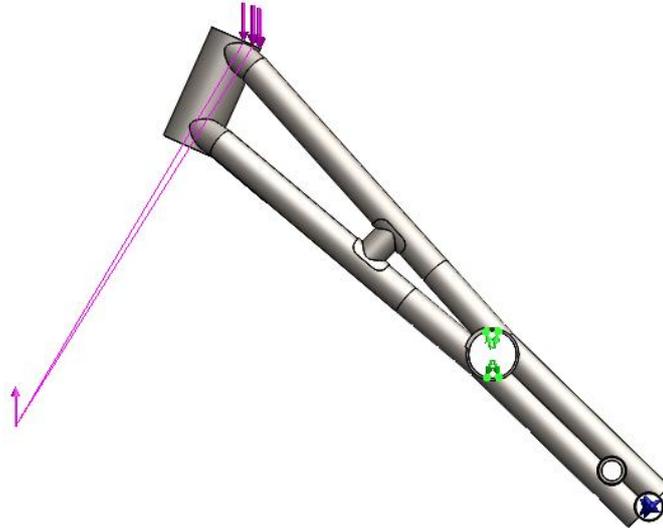


ELABORACIÓN PROPIA

f. Caso 5

Este caso simula los esfuerzos ejercidos en el marco de la motocicleta en el instante cuando impacta en una caída de 2,5m, las fuerzas que intervienen son, la resultante en la llanta delantera y la ejercida por el piloto en la pila de dirección.

Figura 71: Sujeción y carga vertical.

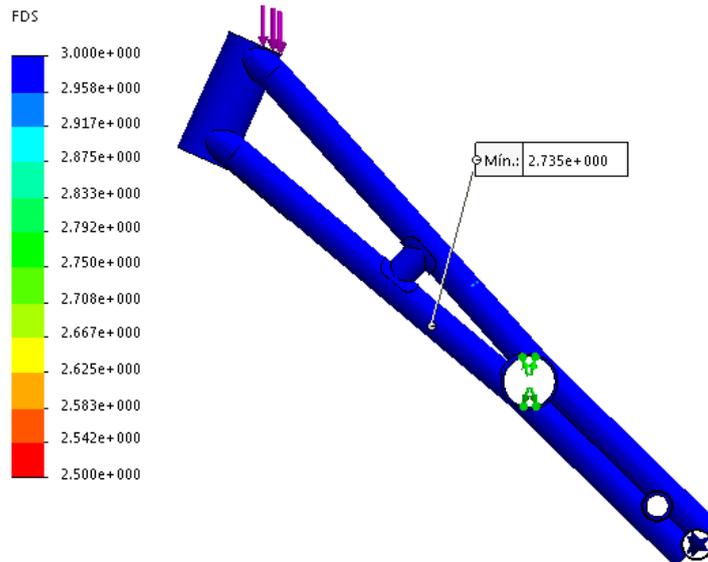


ELABORACIÓN PROPIA

Consta de sujeciones de rodamiento en el eje del basculante, marcados de azul, y sujeción de bisagra donde se acopla el monoshock marcados de verde, la carga se aplica en la pila de dirección siendo 568N, y en la horquilla de 2 689N.

El modelo tiene un factor de seguridad mínimo de 2,735, garantizando una vida útil prolongada.

Figura 72: FS vertical.



ELABORACIÓN PROPIA

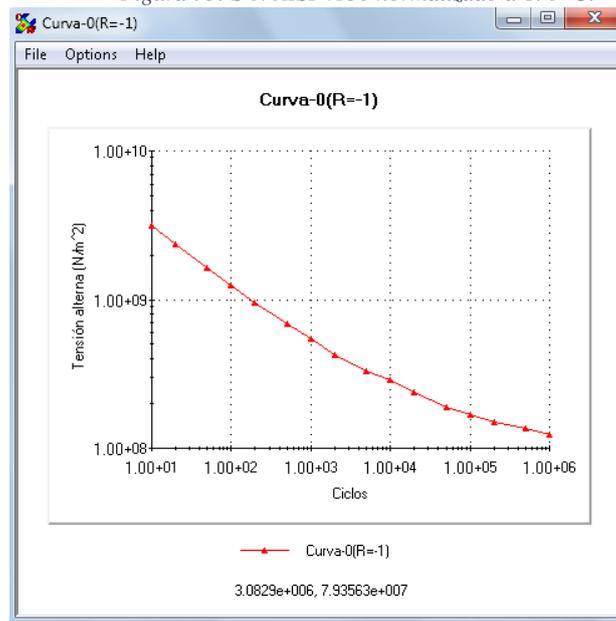
10.2 Análisis de fatiga

Para el análisis de fatiga se utilizará todos los casos con la opción de tipo de carga “buscar picos del ciclo”, utilizando los picos críticos de todas las condiciones de trabajo que se simularon. Se tendrá como objetivo que el ciclo de vida del cuadro este dentro del rango de 10^3 a 10^6 (ciclos altos), siendo este rango adecuado según el uso de la motocicleta.

a. Curva S-N de fatiga

La curva S-N de fatiga del acero AISI 4130 normalizado a $870\text{ }^\circ\text{C}$ se muestra en la siguiente figura.

Figura 73: S-N AISI 4130 normalizado a $870\text{ }^\circ\text{C}$.

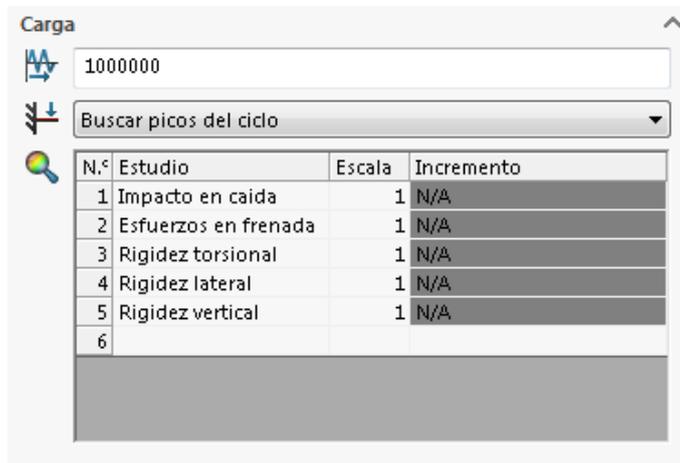


ELABORACIÓN PROPIA

b. Sucesiones

Se definen los 10^6 ciclos como máximo, y se cargan todos los análisis estáticos en la opción “Buscar picos del ciclo”.

Figura 74: Sucesiones de cargas.



ELABORACIÓN PROPIA

c. Detalles del estudio de fatiga

Para el estudio de fatiga se utilizará las tensiones equivalentes (von Mises) para el cálculo de tensiones alternas, sin interacciones entre sucesos, y utilizando la curva Gerber, siendo adecuada para materiales dúctiles como el acero AISI 4130.

Tabla 11: Detalles del estudio de fatiga.

Nombre de estudio	Fatiga
Tipo de análisis	Fatiga (Amplitud constante)
Interacción entre sucesos	Sin interacción
Calculando tensiones alternas utilizado	Tensión equivalente (Von Mises)
Corrección de la tensión media	Gerber
Interpolación de la curva S-N	Log-log

ELABORACIÓN PROPIA

XI. COTIZACIÓN

Se realizará una cotización de la fabricación del marco de motocicleta de trial en el Perú. El costo unitario se detalla en la siguiente figura.

Figura 75: Costos unitarios.

ITEM	DESCRIPCIÓN	P/U	CANTIDAD	TOTAL
1	TUBO REDONDO 1 1/2" X 1.2mm	S/ 600.00	1.52	S/ 170.00
2	TUBO REDONDO 2 1/2" X 3mm	S/ 2,460.00	0.24	S/ 50.60
3	TUBO REDONDO 2 1/2" X 1.2mm	S/ 2,100.00	0.15	S/ 39.05
				S/ 259.65

ITEM	DESCRIPCIÓN	P/U	CANTIDAD	TOTAL
1	SERVICIO DE CORTE CNC	S/ 2.70	26	S/ 70.20
2	SERVICIO DE DOBLADO DE TUBO	S/ 3.00	8	S/ 24.00
3	SERVICIO DE SOLDADURA (tig)	S/ 20.00	GLB	S/ 22.40
4	SERVICIO DE PINTURA AL HORNO	S/ 80.00	GLB	S/ 80.00
				S/ 196.60

COSTO TOTAL: CUATROCIENTOS CINCUENTA Y SEIS con 25/ 100 Nuevos Soles NO INCLUYE I.G.V	S/. 456.25
---	-------------------

TLF :074 - 474037 - PAGINA DE FB: PROINSOLBA EIRL CHICLAYO

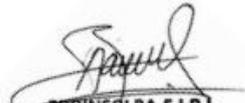


PROINSOLBA E.I.R.L.

MZ. 164 LOTE 15 Y 17 ANTONIO RAYMONDI - LA VICTORIA
T. 978058653 RPM: * 594650 ☎ 074 - 695632 ✉ proinsolba@gmail.com

COT. N°402- ADM 2019

Sin otro particular y a la espera de sus gratas ordenes quedo de Ud.
Atentamente.

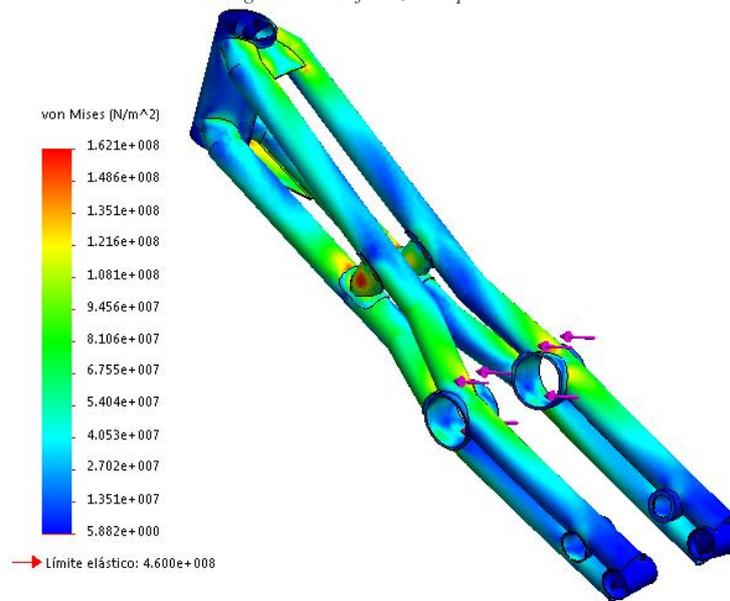


PROINSOLBA E.I.R.L.
RUC: 20561150134
Arcadio Bautista Vásquez
GERENTE

XII. RESULTADOS

Con los refuerzos aplicados al marco de la motocicleta se logra aumentar el factor de seguridad hasta 2,838 el valor mínimo, esto nos garantiza una durabilidad extendida realizando saltos de 2,5 metros sin recibir, con un piloto de 71kg y 1,71m de altura, siendo el esfuerzo máximo de $1,621e+8$ en un marco de 4,41kg frente a los de 6kg en promedio existentes en el mercado.

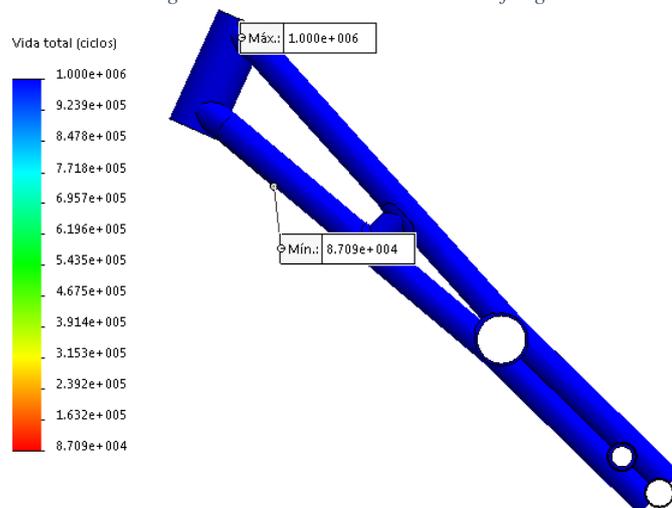
Figura 76: Esfuerzos impacto en caída.



ELABORACIÓN PROPIA

En el estudio de fatiga utilizando sucesos consecutivos de todos los casos anteriores planteados, con la curva Gerber, se observa que el ciclo de vida mínimo del modelo es de $8,7 \cdot 10^4$. La vida útil de una motocicleta deportiva es de 12 a 15 años [28]. Considerando que el piloto realiza 15 veces el caso 1 al día, se obtiene un ciclo de vida de $8,2 \cdot 10^4$. Significando que el modelo diseñado cumplirá el tiempo de vida útil en las condiciones de trabajo habituales que estará sometido.

Figura 77: Resultados de estudio de fatiga.



ELABORACIÓN PROPIA

El costo de un marco de motocicleta trial GASGAS Rookie/ Cadet Rojo 2009-12 en el mercado es de 306,7€ [29], equivale a S/.1 156,45 más costos de envío, aduanas, impuestos, etc. El costo por la fabricación del diseño es de S/.556,41, más del 50% de ahorro.

Figura 78: Costo de marco GASGAS Rookie/ Cadet Rojo 2009-12..

[Inicio](#) [Trial](#) [Chasis](#) [Chasis](#) [Chasis Trial Rookie/ Cadet Rojo 2009-12](#)



Chasis Trial Rookie/ Cadet Rojo 2009-12

306,70 € IVA inc. Cantidad: [Añadir a la cesta](#)

Referencia: BTR100000509

Stock : 
- Disponible / Available

Chasis Trial Rookie/ Cadet Rojo 2009-12

FUENTE: [46]

Se pudo reducir el peso de la motocicleta a 43,7kg frente a los 65kg en promedio de las existentes en el mercado, esto representa una disminución del 25,1% del peso total, aumentando considerablemente la maniobrabilidad del piloto, a su vez que incrementa su rendimiento al sobrepasar los obstáculos con mayor facilidad y saltos más altos, esto conlleva a una disminución de la fatiga física del piloto y posibles lesiones. A su vez resulta más del 50% en ahorro fabricar este diseño en comparación a los marcos existentes en el mercado.

XIII. CONCLUSIONES

- Dimensionado el marco de la motocicleta trial acorde a las proporciones corporales del canon de 7.5 cabezas utilizado en arquitectura para dimensionar el cuerpo humano, y la postura del piloto Toni Bou montado sobre una motocicleta, se logró trabajar sobre una base antropomórfica para posteriormente actualizarla acorde a las dimensiones reales del piloto.
- Modelando el comportamiento dinámico del desplazamiento elástico del marco, en una situación de impacto en caída libre de 2.5m con un piloto de 71kg y 1.71m de talla, se obtuvo valores de velocidad, aceleración, desplazamiento y fuerzas, útiles para el análisis de esfuerzos.
- El uso de los softwares Matlab y Simulink fueron claves para el modelamiento y resolución del espesor de los elementos del marco de la motocicleta trial. Con el código creado se pudo estimar un espesor acorde a las condiciones de esfuerzos que estará sometido el marco, y mediante SolidWorks Simulation se pudo optimizar el diseño obteniendo valores superiores a 2.8 en FS.
- Utilizando las dimensiones antropomórficas del piloto y tecnologías de las bicicletas de downhill se pudo reducir el peso de la motocicleta en un 25,1% menos, y a su vez resulta más del 50% en ahorro monetario en comparación con los marcos existentes en el mercado.

XIV. RECOMENDACIONES

- Una vez finalizado el diseño del marco, se debe construir un prototipo para someterlo a las condiciones de trabajo y afinar en mayor medida el diseño final, para la construcción.
- De la misma forma que se diseñó el marco, se debe diseñar el basculante utilizando los mismos datos del modelamiento y posteriormente crear un prototipo para afinar aún más el diseño.
- El modelo matemático del comportamiento dinámico de la motocicleta consta de 4 grados de libertad, por lo tanto, queda bajo criterio del lector el uso de un sistema de más grados de libertad en caso crea necesario para el diseño del marco.
- El número total de elementos del mallado está limitado por la capacidad computacional que dispuso el autor, por lo tanto, se recomienda en caso sea necesario aumentar el número de elementos de malla para acercarse más a la predicción real del análisis si dispone de una potencia computacional alta.
- El análisis y validación de los resultados se realizó mediante el uso del software SolidWorks. El lector puede usar cualquier tipo de software de simulación estructural por elementos finitos que prefiera o disponga, o un conjunto de ellas.

XV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] T. Motorcycle, «Totalmotorcycle,» Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.totalmotorcycle.com/future>. [Último acceso: Enero 2019].
- [2] HowStuffWorks, «HowStuffWorks,» Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://auto.howstuffworks.com/motorcycle6.htm>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [3] h. davidson, «harley davidson.,» Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.harley-davidson.com/us/en/index.html>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [4] R. D. L. Estanislao Dolores Rivera, *Diseño del marco de una motocicleta*, Mexico : INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL, 2013.
- [5] ETSEIB, de *Diseño de una motocicleta para la marca Suzuki*, Barcelona, 2016, pp. 135-140.
- [6] M. N. F. B. Juhari, *Structural Dynamic Investigation of Motorcycles*, New York: Universiti Malaysia Pahang, 2017.
- [7] T. Foale, *Motorcycle Handling*, New York: ISBN, 2002.
- [8] D. J. Noce, *The engineering process for the design of a motorcycle chassis and suspensión*, New York: Embry-Riddle Aeronautical University - Daytona Beach, 2012.
- [9] C. F. d. L. Vieira, *Structural Evaluation of a Motorcycle*, Porto: FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO, 2014.
- [10] I. G. García, *Diseño y desarrollo de un chasis de una motocicleta de 250cc para la "II Competición Internacional MotoStudent"*, Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, 2013.
- [11] F. E. E. Ribadeneira, *APLICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS ANTROPOMÉTRICOS*, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL, 2012.
- [12] H. S. Zárate, *Caracterización del esfuerzo/deformación en eslabones de mecanismos abiertos mediante mediciones ópticas, extensométricas y simulación numérica*, Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnológica avanzada, 2010.

- [13] F. P. Beer, J. E. Russell Johnston, J. T. DeWolf y D. F. Mazurek, «Esfuerzos axiales,» de *Mecánica de materiales*, Sexta ed., Nueva York, Mc graw hill, 2008, pp. 35-75.
- [14] I. E. Rodríguez, *Sistema de control masa-resorte-amortiguador*, Mexico D.F: Instituto politecnico nacional.
- [15] FisicaLab, «FisicaLab,» Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://www.fisicalab.com/apartado/segunda-ley-newton-rotacion#contenidos>. [Último acceso: marzo 2018].
- [16] L. C. F. HERR, *Control de una suspensión semi-activa con un amortiguador*, Monterrey: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, 2018.
- [17] I. MathWorks, «MatLab,» Mayo 2016. [En línea]. Available: <https://la.mathworks.com/products/simulink.html>. [Último acceso: Marzo 2018].
- [18] G. R. L. a. S. S. Quek., *The Finite Element Method*, Butterworth-Heinemann, 2003.
- [19] Á. F. M. Azevedo, *Método dos Elementos Finitos*, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.
- [20] J. L. Moré, *Comparison between a tubular frame and a beam frame*, Barcelona: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, 2011.
- [21] Y. Alcalde, «mountainbike,» Junio 2016. [En línea]. Available: <http://www.mountainbike.es/consejos-de-compra/articulo/la-talla-es-todo-lo-que-necesito-saber>. [Último acceso: Julio 2018].
- [22] todotrial, «todotrial,» Julio 2018. [En línea]. Available: <https://www.todotrial.com/ttactual/escuela/primerospasos.htm>. [Último acceso: Enero 2019].
- [23] Motofan, «Motofan,» Marzo 2012. [En línea]. Available: <https://www.motofan.com/noticias/toni-bou-biografia-y-palmares-deportivo/7497>. [Último acceso: Abril 2019].
- [24] T. Bou, «Instagram,» Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.instagram.com/tonibou/?hl=es-la>. [Último acceso: Diciembre 2018].
- [25] Enduropro, «moto1pro,» 11 Julio 2017. [En línea]. Available: <http://www.moto1pro.com/enduropro/reportajes/equipamiento-para-motocross-y-enduro>. [Último acceso: Enero 2019].

- [26] J. A. Cabrero, «Sistema de control para un modelo de bicicleta estable,» UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, MADRID, 2011.
- [27] O. MOTOR, «Special parts 2013 03,» ossafactory, Girona, 2013.
- [28] M. J. Á. Molares, «UnComo,» Enero 2017. [En línea]. Available: <https://motor.uncomo.com/articulo/cual-es-la-vida-util-de-una-moto-21808.html>. [Último acceso: Junio 2019].
- [29] TrialWorld, «trialworld.es,» Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://trialworld.es/tienda-trial/cascos-trial/920-6482-casco-hebo-zone-5-pursuit-yellow.html#/35-talla-xxl>. [Último acceso: Enero 2019].
- [30] M. B. S.L., «motocard,» Febrero 2018. [En línea]. Available: https://www.motocard.com/botas/hebo-technical_20_micro_white_black.aspx. [Último acceso: Febrero 2019].
- [31] J. Dynamik, «trial-bikes,» Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.trial-bikes.com/protector-pecho-espalda-jitsie-dynamik-p-537537.html>. [Último acceso: Enero 2019].
- [32] S. Stott, «bikeradar,» Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://www.bikeradar.com/mtb/gear/article/2018-fox-36-vs-rockshox-lyrik-review-50578/>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [33] T. S.L., «trial-bikes,» Febrero 2009. [En línea]. Available: <https://www.trial-bikes.com/manillar-comas-carbono-p-538317.html>. [Último acceso: Diciembre 2018].
- [34] GASGAS, «Outletgasgas,» GasGas, Enero 2019. [En línea]. Available: <http://www.outletgasgas.com/es/chasis/286-chasis-trial-rookie-cadet-rojo.html>. [Último acceso: Junio 2019].
- [35] Fox, «Ridefox,» Enero 2017. [En línea]. Available: <http://www.ridefox.com/family.php?m=bike&family=dpx2>. [Último acceso: Marzo 2018].
- [36] I. FOX Factory, «ridefox,» Enero 2016. [En línea]. Available: <https://www.ridefox.com/family.php?m=bike&family=dhx2>. [Último acceso: Enero 2019].
- [37] Gasgas, «GasGas Torrot,» Marzo 2017. [En línea]. Available: <http://gasgas.com/es/trial/338-txt-pro-280.html>. [Último acceso: Febrero 2018].
- [38] honda, «HONDA,» Enero 2016. [En línea]. Available: <http://www.honda.es/motorcycles/range/adventure/crf250l/overview.html>. [Último acceso: Abril 2018].

- [39] Honda, «Honda,» Febrero 2016. [En línea]. Available: <http://www.honda.es/motorcycles/range/off-road/montesa-cota-4rt260-2017/overview.html>. [Último acceso: Enero 2019].
- [40] KTM, «Ktm Motor,» Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.motofichas.com/marcas/ktm/790-adventure-r-2018>. [Último acceso: Marzo 2019].
- [41] B. motorcycles, «Beta motor,» Febrero 2018. [En línea]. Available: <http://www.betamotor.com/nl/trial/bikes/evo-2t-factory-2018>. [Último acceso: Enero 2019].
- [42] H. ABEL, «trial-bikes,» Noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.trial-bikes.com/guantes-hebo-abel-mustieles-replica-junior-p-537954.html>. [Último acceso: Marzo 2019].
- [43] Öhlins, «Öhlins Racing,» Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.ohlins.com/product/ttx-gp/>. [Último acceso: Enero 2019].
- [44] Ossa, «OssaUSA,» Marzo 2018. [En línea]. Available: <http://www.ossausa.com/motorcycles/2015-ossa-tr-280i/>. [Último acceso: Noviembre 2018].
- [45] Vertigo, «VertigoMotors,» Marzo 2018. [En línea]. Available: <http://www.vertigomotors.com/>. [Último acceso: Julio 2018].
- [46] Yamaha, «YamahaMotoGP,» Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.yamahamotogp.com/>. [Último acceso: Mayo 2019].

XVI. ANEXOS

ANEXO 1: Ecuaciones para el dimensionamiento del piloto

Ecuación 41: Tubo de dirección

$$A = \frac{8}{9}(\text{Altura} - 46)$$

Ecuación 42: Reach

$$B = 0.8825(\text{Brazo} + \text{antebrazo} + \text{mano})$$

Ecuación 43: Stack

$$C = 0.7358(\text{muslo} + \text{pierna} + \text{pie})$$

Ecuación 44: Altura del posapie

$$D = \text{sen}(E)(A + I + 10 - \frac{50}{\text{tg}(E)}) - C$$

Ecuación 45: From center

$$F = \frac{C + D}{2.246} + \frac{50}{0.9135} + B$$

Ecuación 46: Distancia entre ejes

$$H = F + G$$

Ecuación 47: Longitud de horquilla

$$I = 10 + \text{horquilla}$$

Ecuación 48: Altura de basculante

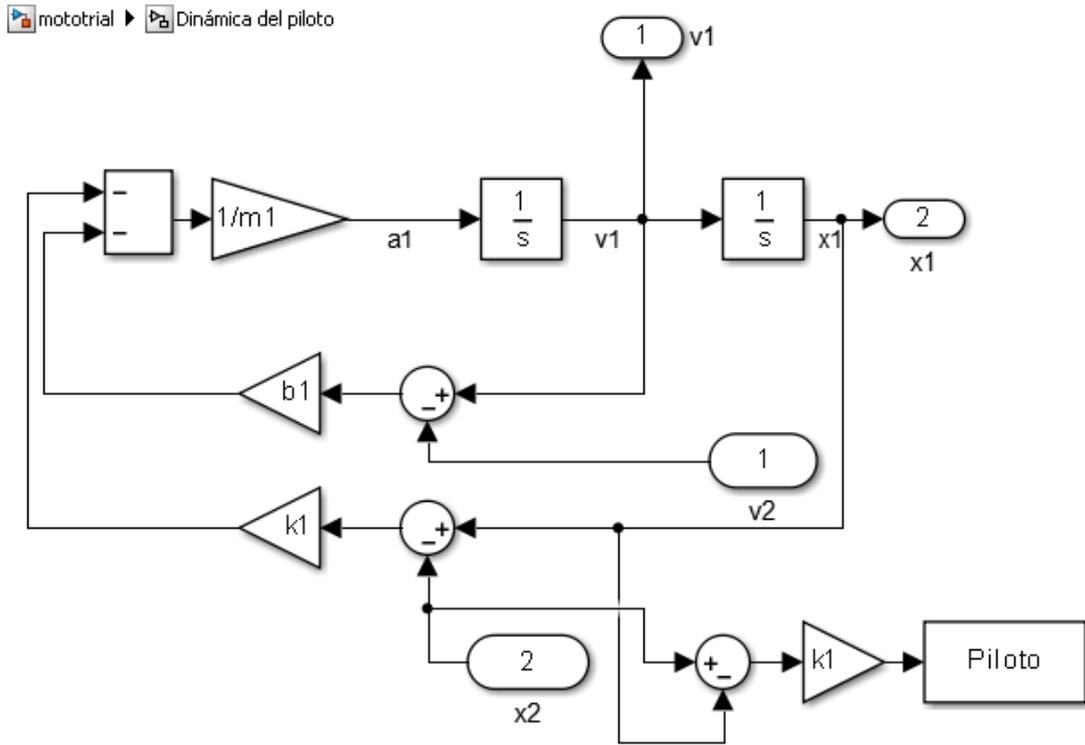
$$J = \frac{\text{Carrera shock} \cdot K}{0.9135 \cdot \text{carrera horquilla}} \cdot 25.4$$

Ecuación 49: Altura del manubrio

$$M = \frac{15 \cdot \text{Altura} - 1380}{9}$$

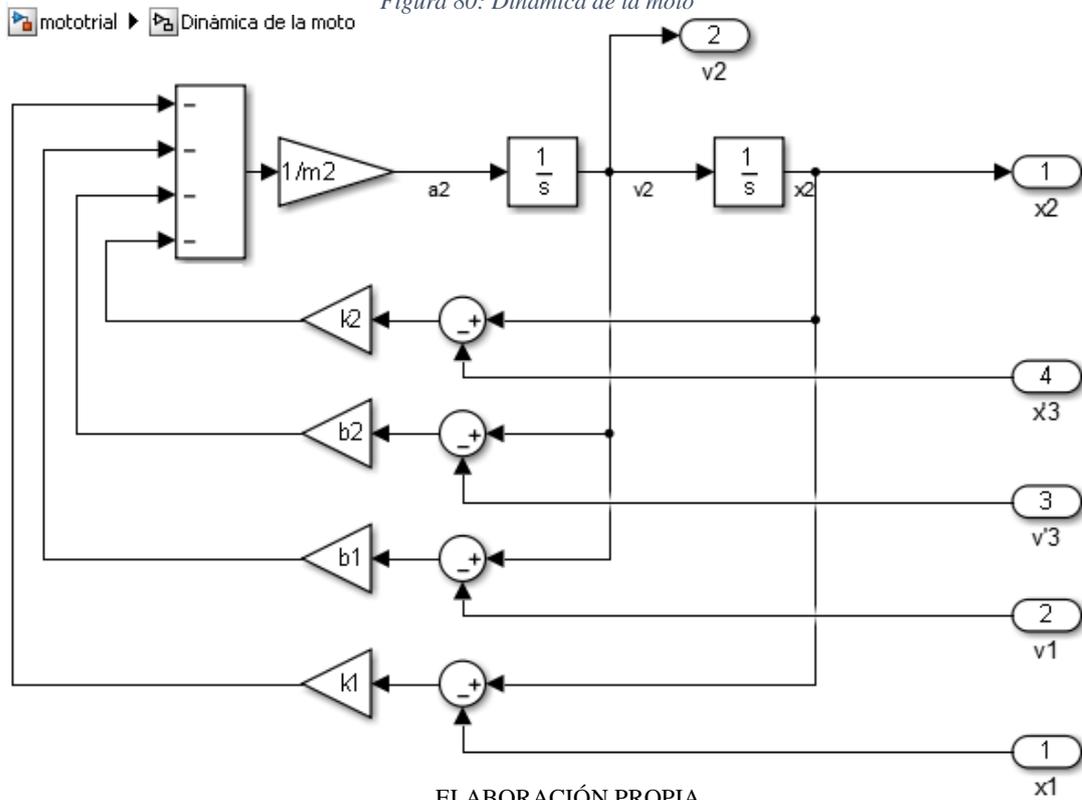
ANEXO 2: Modelos de bloques en SimuLink

Figura 79: Dinámica del piloto



ELABORACIÓN PROPIA

Figura 80: Dinámica de la moto



ELABORACIÓN PROPIA

Figura 83: Cálculo de h y G

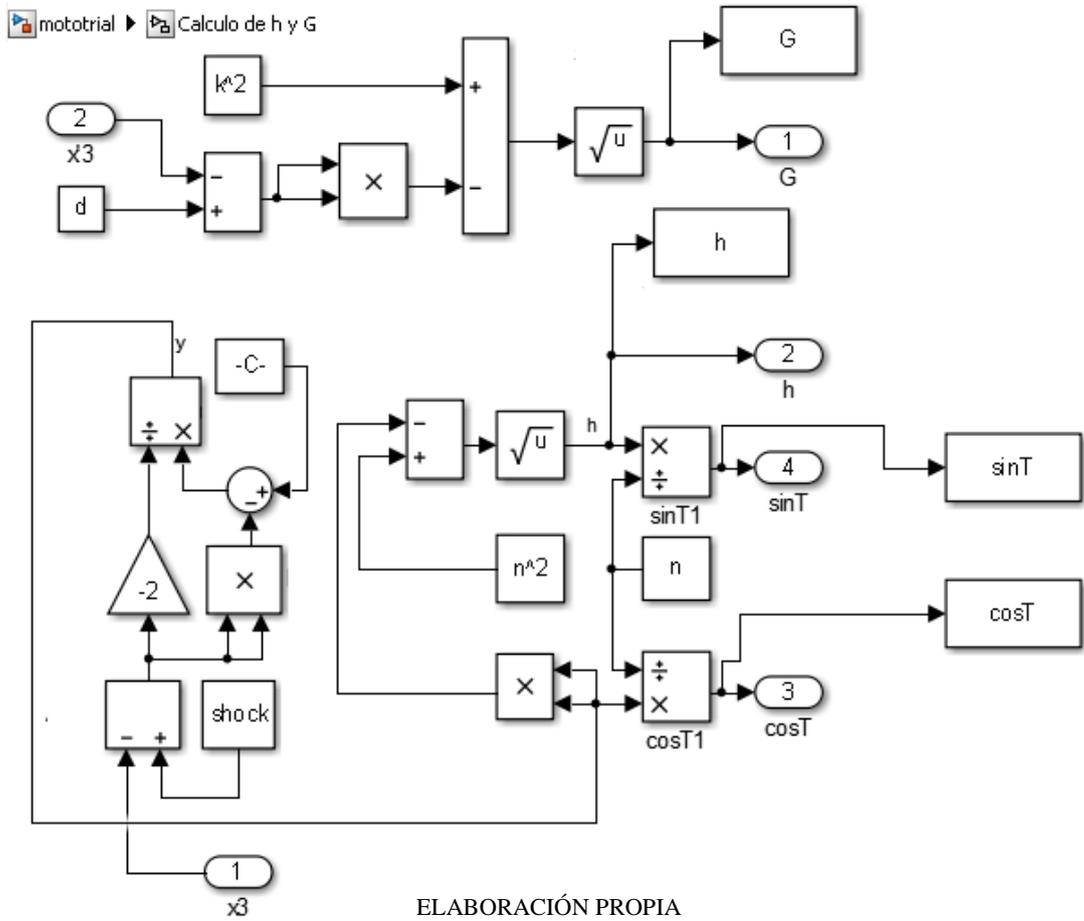


Figura 84: Dinámica del marco

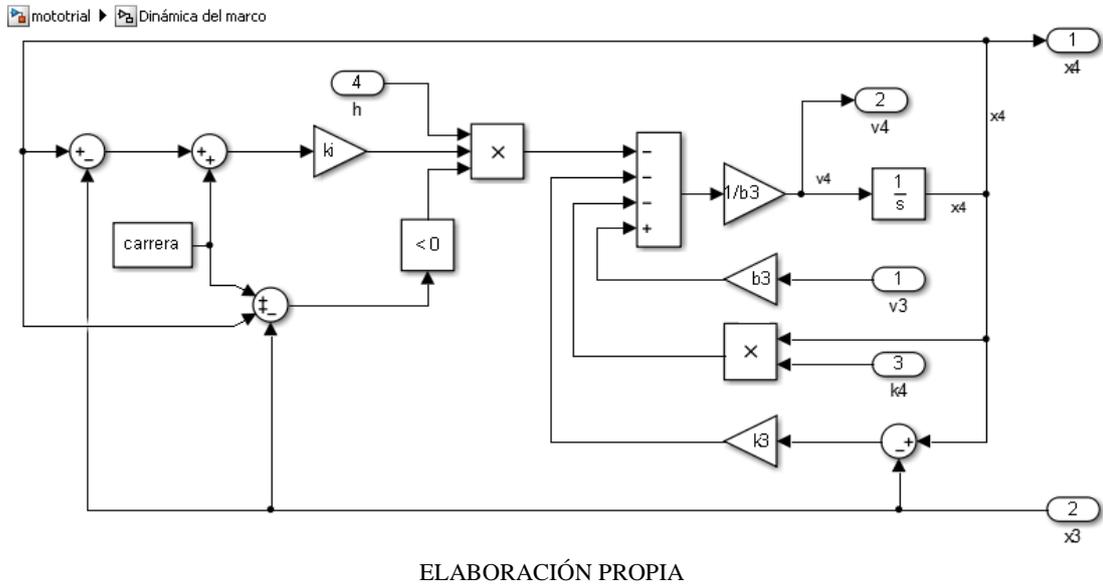
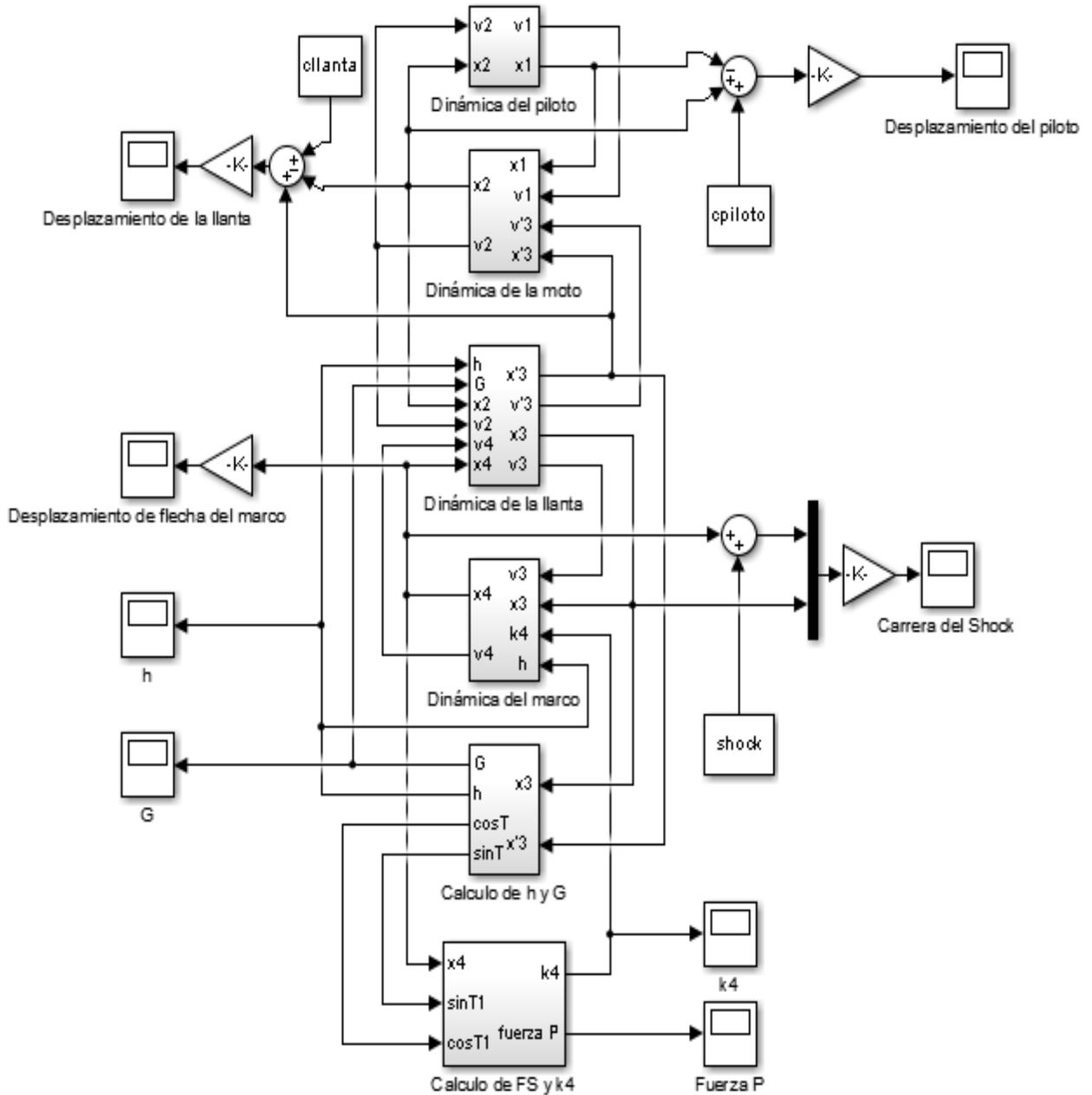


Figura 85: Diagrama de bloques en SimuLink



ELABORACIÓN PROPIA

ANEXO 3: Código de MatLab

Tabla 12: Código de MatLab

```
clear
clc

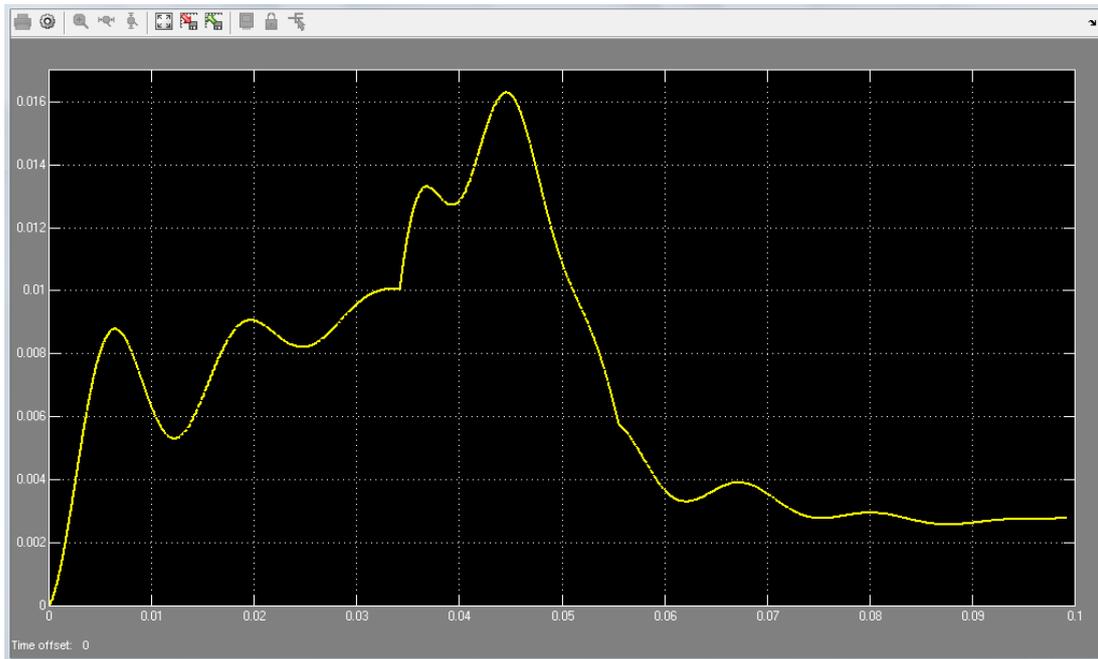
Data=xlsread('Dimensiones','R24:U37')
m1=Data(4,1)
m2=Data(5,1)
m3=Data(6,1)
R=Data(4,3)
espesor=Data(5,3)
v=Data(3,1)
long=Data(6,3)
shock=Data(7,3)
d=Data(8,3)
k=Data(9,3)
n=Data(10,3)
j=Data(11,3)
cpiloto=Data(1,3)
carrera=Data(2,3)
cllanta=Data(3,3)
Lim=Data(12,3)
E=Data(13,3)
k1=Data(7,1)
k2=Data(8,1)
k3=Data(9,1)
ki=Data(10,1)
b1=Data(11,1)
b2=Data(12,1)
b3=Data(13,1)
FS=0;
i=0;
pause on
find_system('Name','mototrial');
open_system('mototrial');

while FS<=Data(14,1);
    espesor=espesor+0.0001;
    r=(R-(espesor/1000));
    ka=(4*3.1415*(R^2-r^2)*E)/n;
    I=(3.1415*((R^4-r^4)+4*(R^2-r^2)*(R-1.5/1000)^2));
    kf=((3*long*E*I)/(n))*((long^2-n^2)/(3))^(3/2);
    if i==0;
        set_param('mototrial','IgnoredZcDiagnostic','none');
        set_param(gcs,'SimulationCommand','start');
        'Esperando a Simulink... --'
        while FS==0;
            pause(1);
            [FS posicion]=min(FS(:,1));
        end
        P=(P(posicion,1));
        Piloto=(Piloto(posicion,1));
        h=(h(posicion,1))*1000;
        G=(G(posicion,1))*1000;
        sinT=(sinT(posicion,1));
        cosT=(cosT(posicion,1));
    end
    rT=((2*R-0.0015)*n*(long-n)*P*sinT)/(I*long)+(P*cosT)/(4*3.1415*(R^2-r^2));
    FS=Lim/rT;
    i=1;
end
clc
FS, espesor, h, G, P
xlswrite('Dimensiones.xlsx',P,'Hoja1','I31');
xlswrite('Dimensiones.xlsx',Piloto,'Hoja1','I37');
xlswrite('Dimensiones.xlsx',h,'Hoja1','I29');
xlswrite('Dimensiones.xlsx',G,'Hoja1','I30');
xlswrite('Dimensiones.xlsx',espesor,'Hoja1','I28');
'Hecho!!! =D'
```

ELABORACIÓN PROPIA

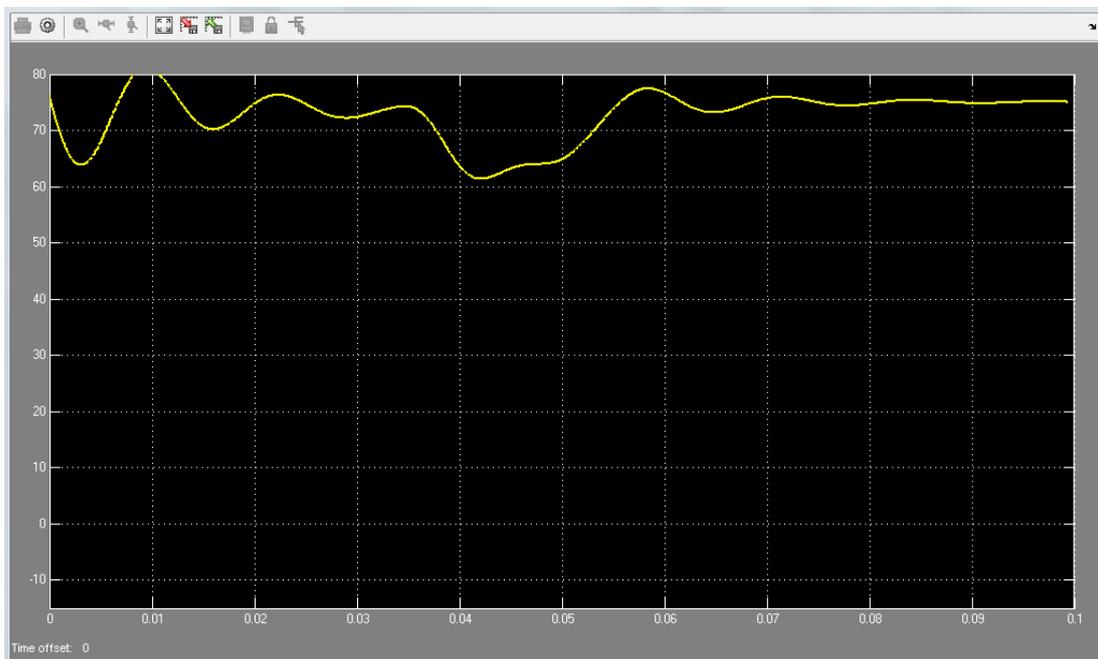
ANEXO 4: Graficas de desplazamiento

Figura 86: Desplazamiento de la flecha del marco



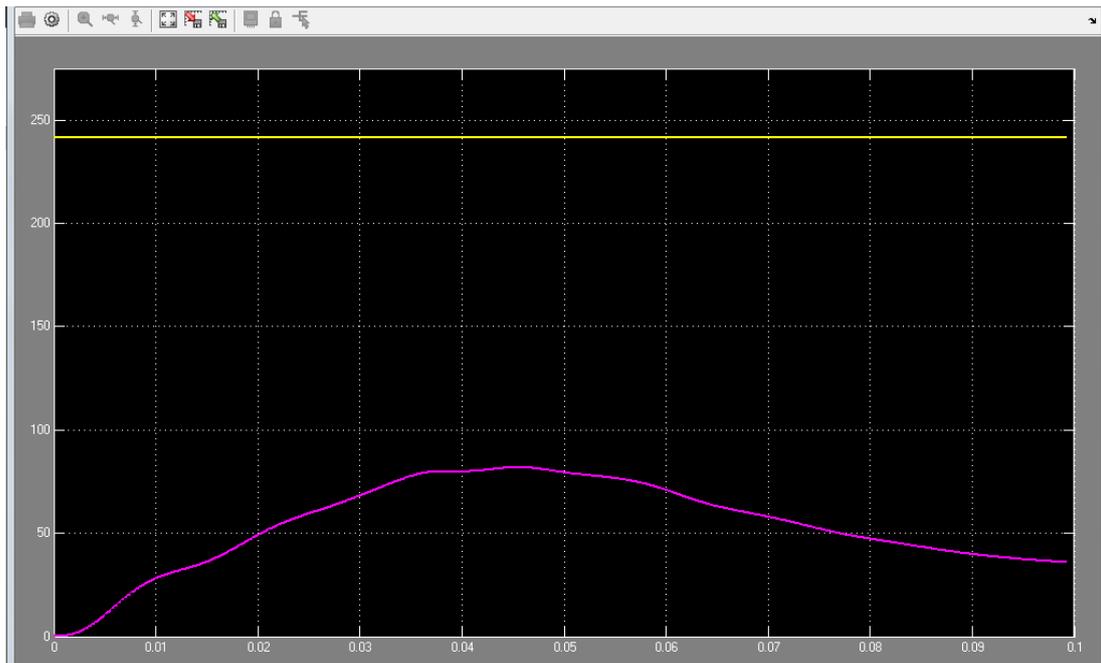
ELABORACIÓN PROPIA

Figura 87: Desplazamiento de la llanta



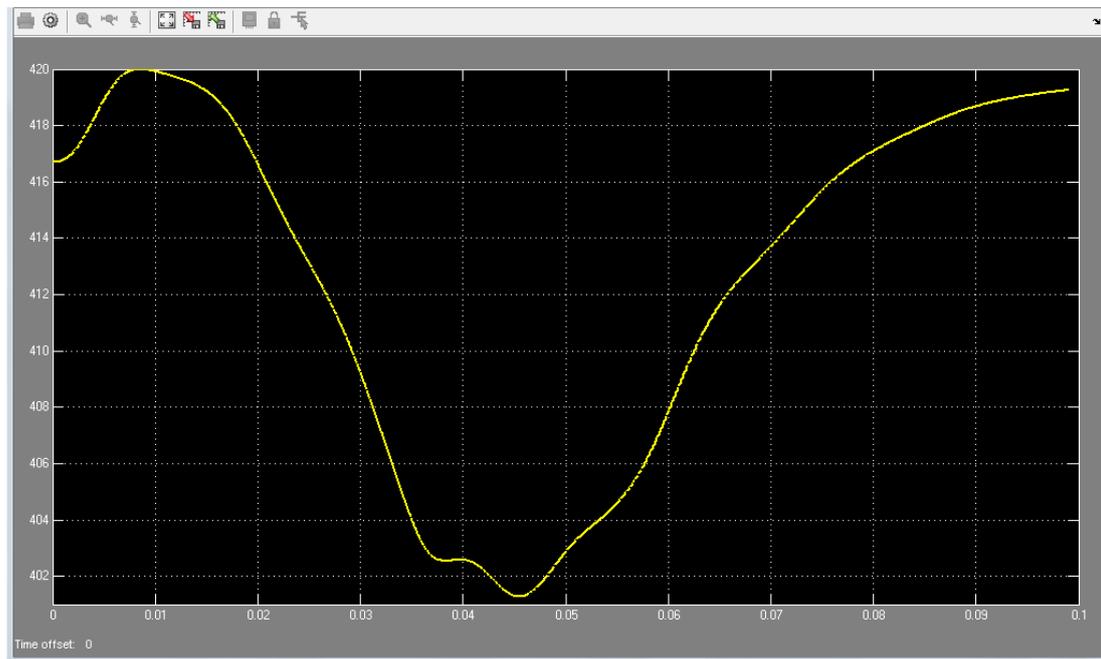
ELABORACIÓN PROPIA

Figura 88: Carrera del Shock



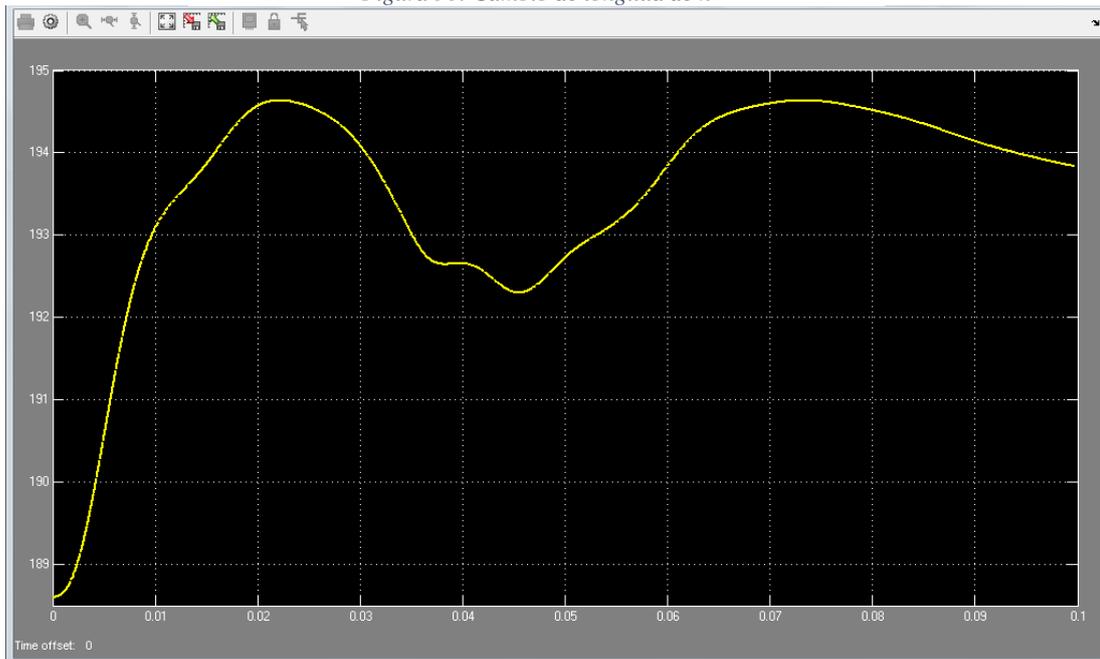
ELABORACIÓN PROPIA

Figura 89: Cambio de longitud de G



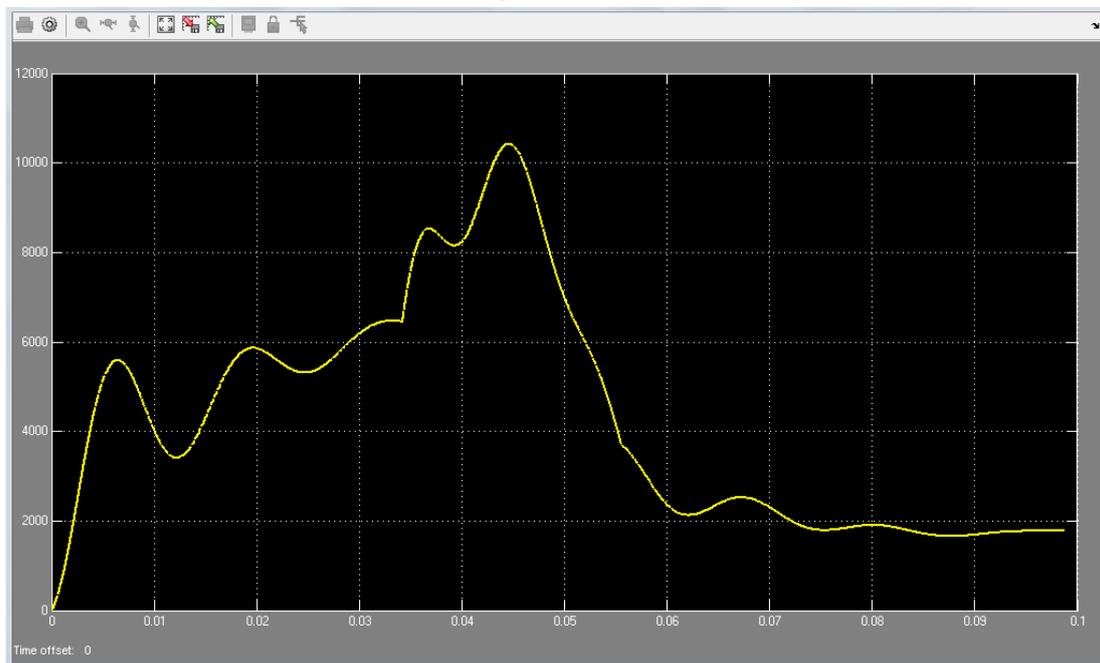
ELABORACIÓN PROPIA

Figura 90: Cambio de longitud de h



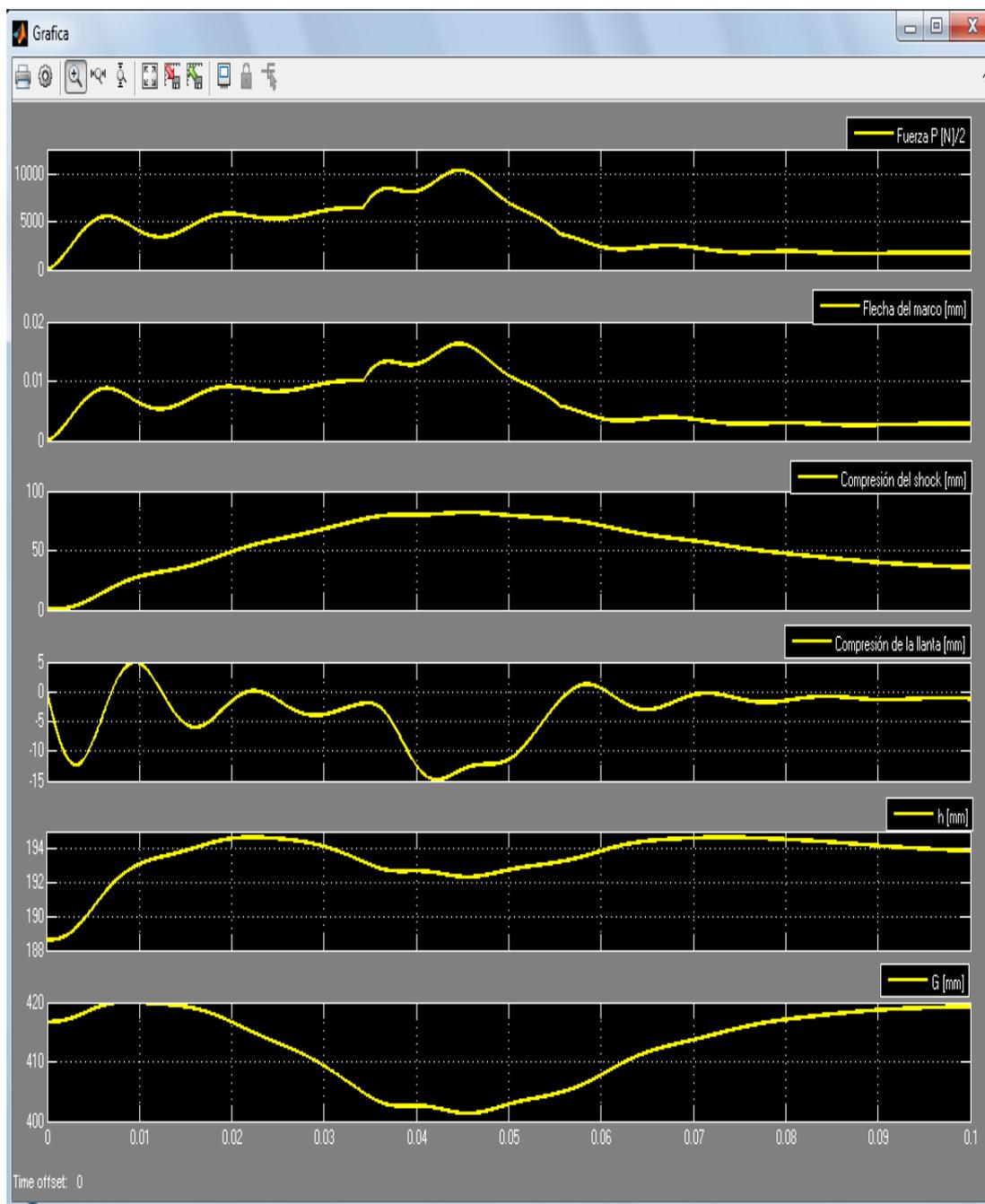
ELABORACIÓN PROPIA

Figura 91: Fuerza P



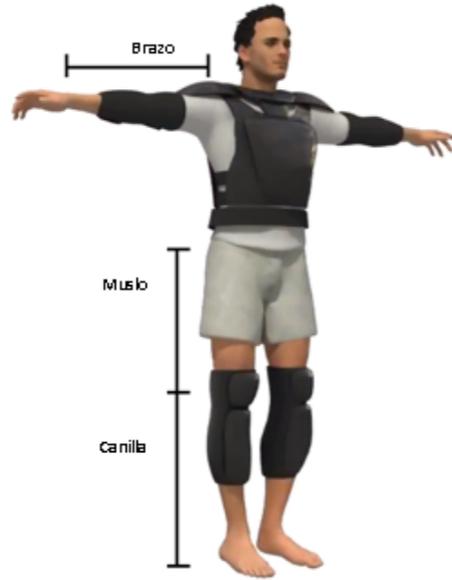
ELABORACIÓN PROPIA

Figura 92: Graficas



ELABORACIÓN PROPIA

ANEXO 5: Tabla de diseño en Excel

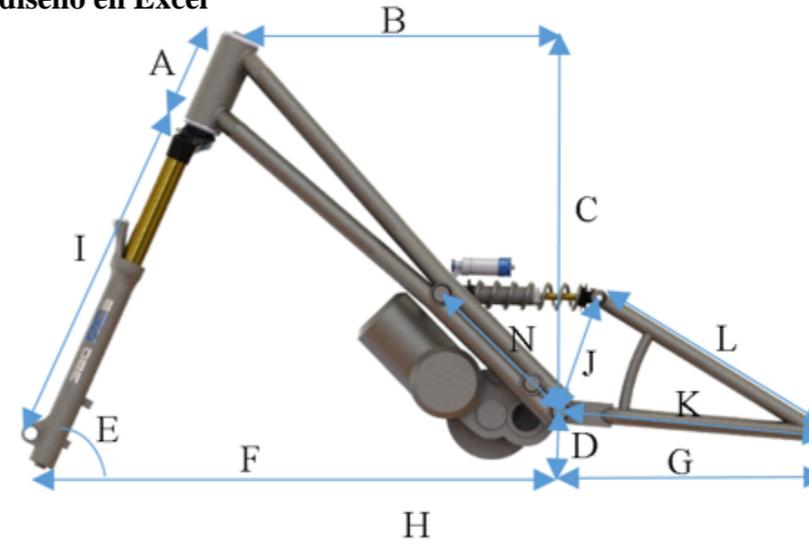


Talla del piloto		
Altura	171 cm	
Masa	70 kg	
Brazo	50	50 cm
Muslo	33.5	34 cm
Pierna	38	38 cm

Dimensiones del marco		
A	Tubo de dirección	147 mm
B	Reach	508 mm
C	Stack	582 mm
D	Altura del posapie	53 mm
E	Angulo de la direccion	66°
F	From center	846 mm
G	Basculante	417 mm
H	Distancia entre ejes	1262 mm
I	Longitud de horquilla	570 mm
J	Altura de basculante	195 mm
K	Longitud basculante	420 mm
L	Radio de monoshock	440 mm
M	Altura del manubrio	132 mm
N	Ang. posapie hasta monosho	270 mm
R	ametro de elementos del mar	38.10 mm
O	esor de los elementos del ma	1.20 mm
P	h	192.33 mm
Q	G	401.37 mm
S	Impacto en caida	10422 N
T	Fuerza en frenada	1166 N
U	Fuerza torsional	478 N
V	Fuerza vertical delantera	2689 N
X	Fuerza vertical trasera	4994 N
Y	Fuerza lateral	478 N
Z	Fuerza delatera del piloto	-565 N

Características de MonoShock	
Distancia total	9.50 in
Carrera	3.00 in
Pre carga	445 N
Constante elástica	338 lb/in
Const.de amortiguamiento	1103 N.s/m

Características de Horquilla	
Distancia total	560 mm
Carrera	180 mm
Pre carga	184 N
Constante elástica	56 lb/in
Const.de amortiguamiento	189 N.s/m
recorrido base	3.0 cm

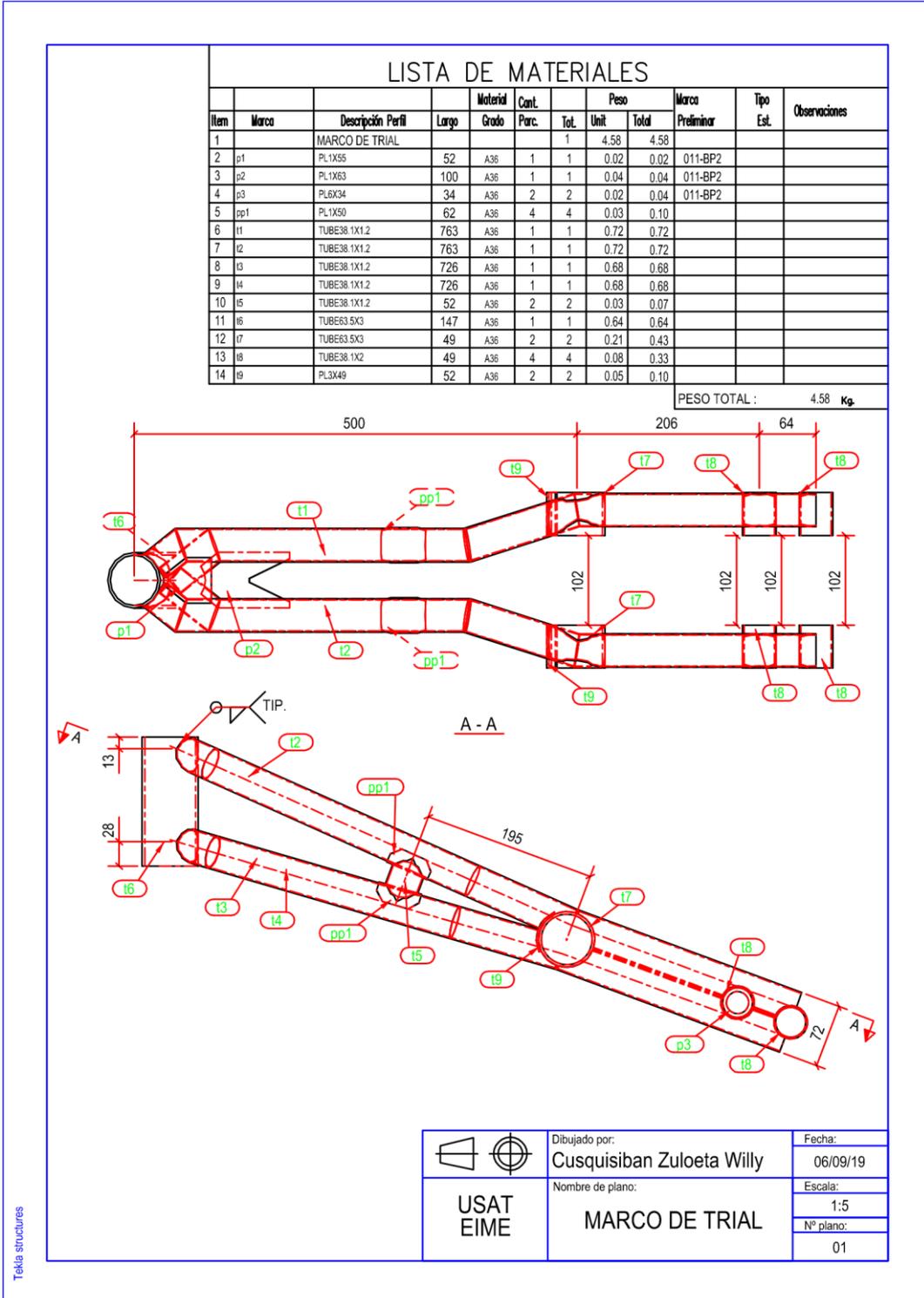


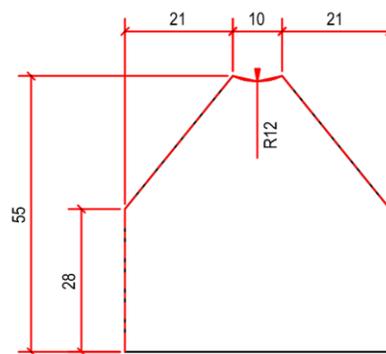
Alt. de caida	2.5 m	C-piloto	0.3350 m
% peso	65.00%	Carrera	0.0762 m
V0	7.0 m/s	C-llanta	0.0762 m
m-piloto	46 kg	R	0.0191 m
m-moto	24.4 kg	Espesor	0.50 mm
m-llanta	4.7 kg	Long	0.773 m
k-piloto	4874 N/m	shock	0.241 m
k-llanta	957500 N/m	d	0.053 mm
k-shock	59204 N/m	k	0.4200 m
k-impacto	5000000 N/m	n	0.270 m
b-piloto	97 N.s/m	i	0.195 m
b-llanta	454 N.s/m	Lim	460000000
b-shock	1103 N.s/m	E	2.05E+11
FS deseado	2.5		



Masa de los distintos sistemas	
Marco tubular	5.000 kg
Basculante	1.500 kg
Motor	13.280 kg
MonoShock	0.406 kg
Horquilla	2.037 kg
Llanta delantera	2.820 kg
Llanta trasera	2.820 kg
Otros componentes	20.844 kg
Masa total	48.707 kg

ANEXO 6: Planos



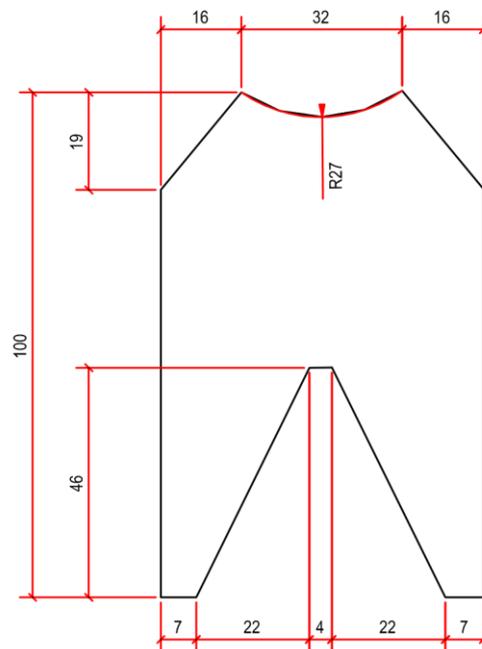


p1 - PL1X55

ESCALA - 1:1

Tekla structures

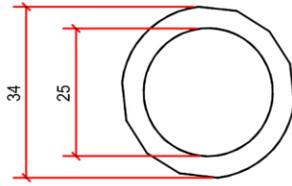
	Dibujado por:	Fecha:
	Cusquisiban Zuloeta Willy	06/09/19
USAT EIME	Nombre de plano:	Escala:
	Parte p1	1:1
		Nº plano:
		02



p2 - PL1X63

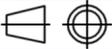
ESCALA - 1:1

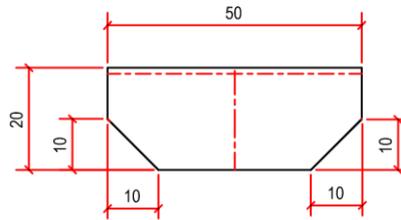
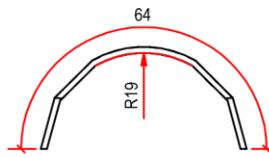
	Dibujado por:	Cusquisiban Zuloeta Willy	Fecha:	06/09/19
	Nombre de plano:	Parte p2	Escala:	1:1
			Nº plano:	03



p3 - PL6X34

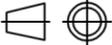
ESCALA - 1:1

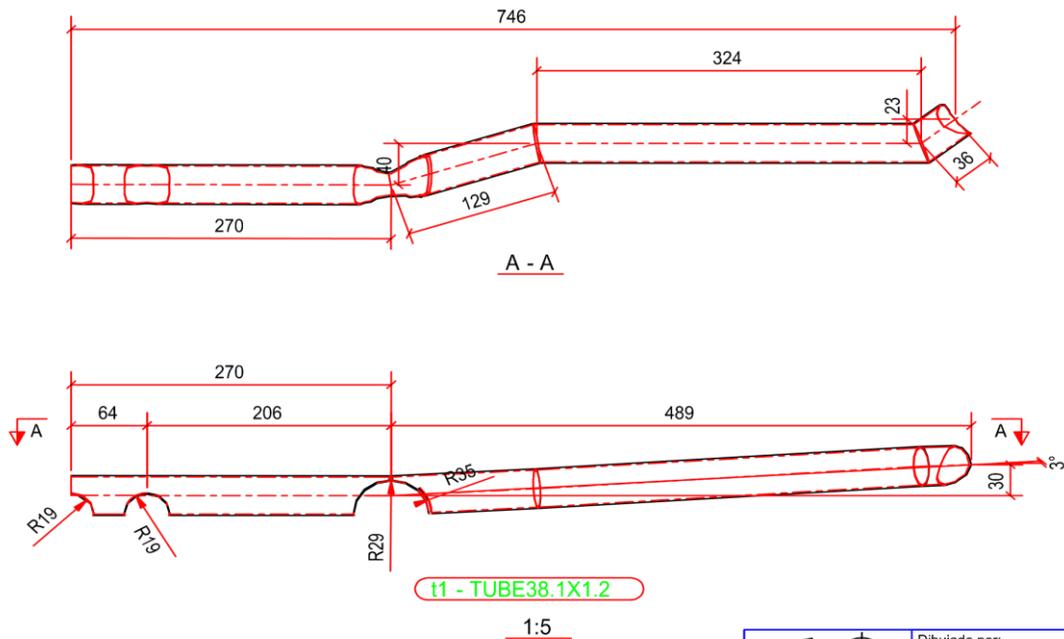
	Dibujado por:	Fecha:
	Cusquisiban Zuloeta Willy	06/09/19
USAT EIME	Nombre de plano:	Escala:
	Parte p3	1:1
		Nº plano:
		04

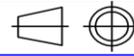


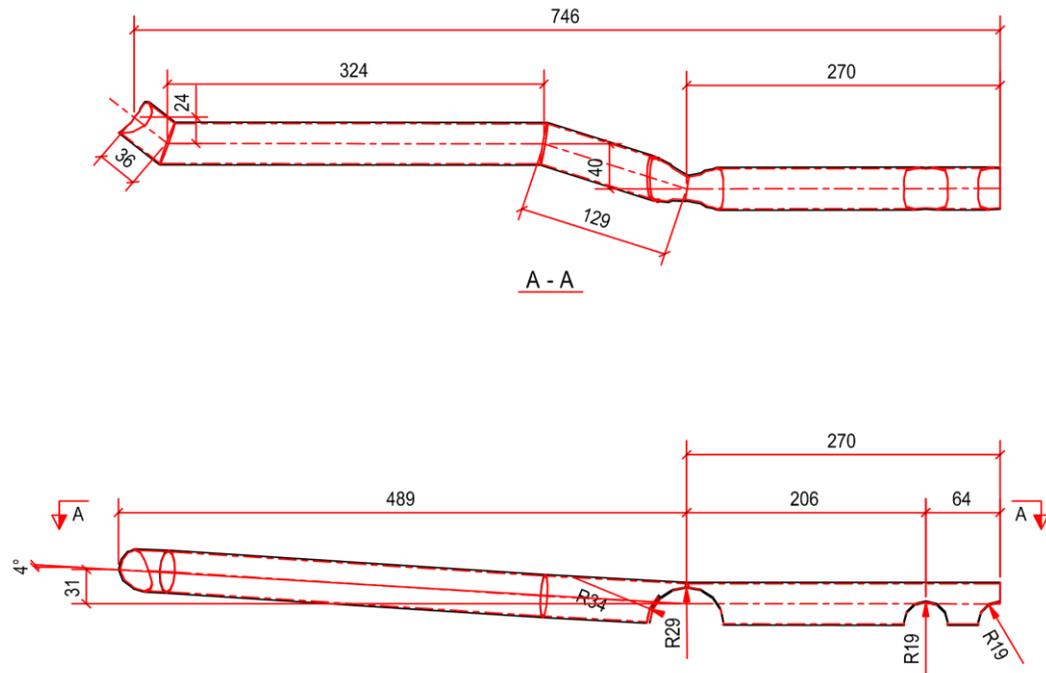
pp1 - PL1X50

ESCALA - 1:1

 USAT EIME	Dibujado por: Cusquisiban Zuloeta Willy	Fecha: 06/09/19
	Nombre de plano: Parte pp1	Escala: 1:1 N° plano: 05

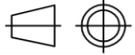


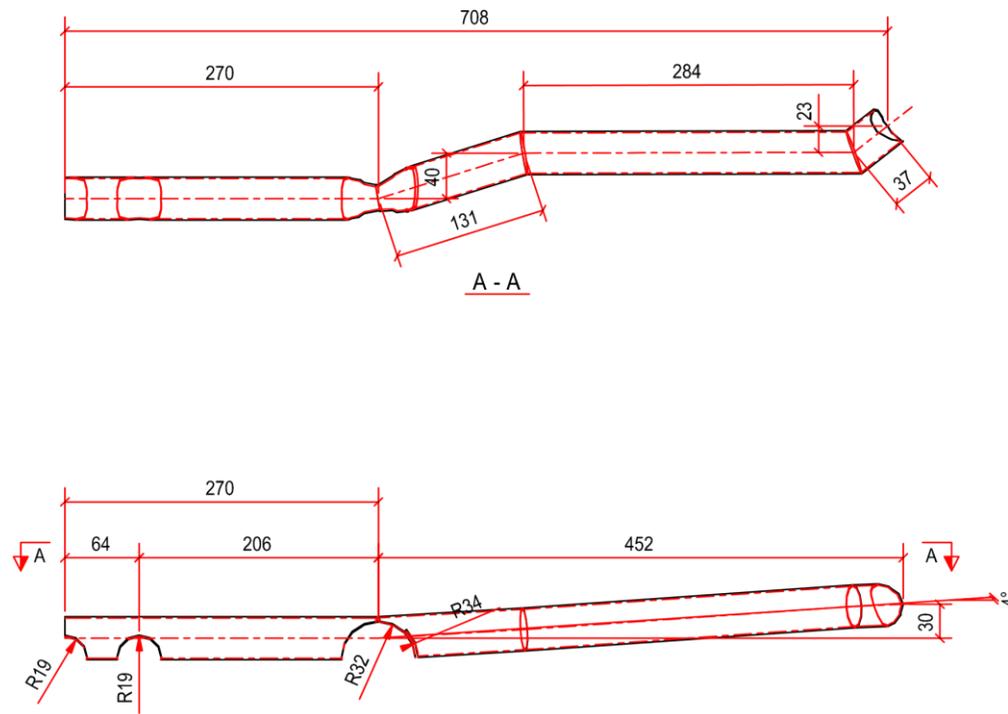
 USAT EIME	Dibujado por: Cusquisiban Zuloeta Willy	Fecha: 06/09/19
	Nombre de plano: Parte t1	Escala: 1:5
		Nº plano: 06



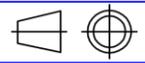
t2 - TUBE38.1X1.2

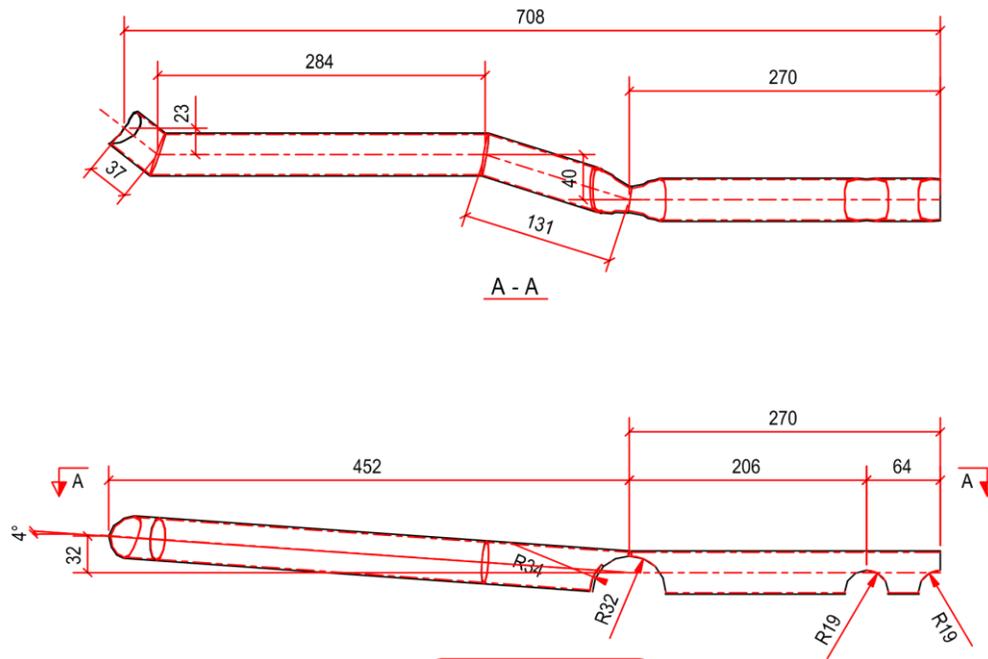
ESCALA - 1:5

 USAT EIME	Dibujado por: Cusquisiban Zuloeta Willy	Fecha: 06/09/19
	Nombre de plano: Parte t2	Escala: 1:5
		Nº plano: 07



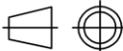
t3 - TUBE38.1X1.2
 ESCALA - 1:5

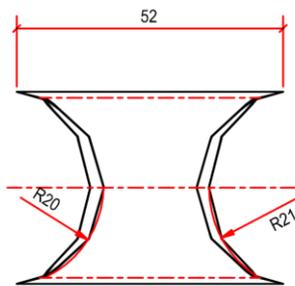
 USAT EIME	Dibujado por: Cusquisiban Zuloeta Willy	Fecha: 06/09/19
	Nombre de plano: Parte t3	Escala: 1:5
		N° plano: 08



t4 - TUBE38.1X1.2

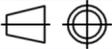
ESCALA - 1:5

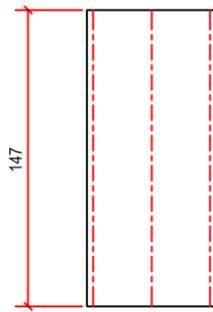
 USAT EIME	Dibujado por: Cusquisiban Zuloeta Willy	Fecha: 06/09/19
	Nombre de plano: Parte t4	Escala: 1:5 N° plano: 09



t5 - TUBE38.1X1.2

1:1

 USAT EIME	Dibujado por: Cusquisiban Zuloeta Willy	Fecha: 06/09/19
	Nombre de plano: Parte t5	Escala: 1:1
		Nº plano: 10

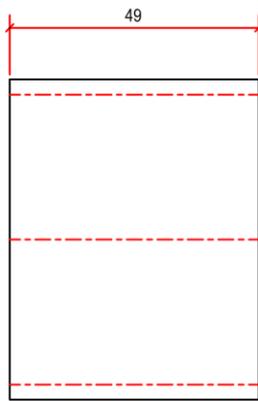


t6 - TUBE63.5X3

ESCALA - 1:2.5

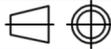
Tekla structures

	Dibujado por:	Cusquisiban Zuloeta Willy	Fecha:	06/09/19
	Nombre de plano:	Parte t6	Escala:	1:2.5
			Nº plano:	11

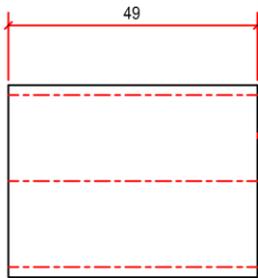


t7 - TUBE63.5X3

ESCALA - 1:1

	Dibujado por:	Fecha:
	Cusquisiban Zuloeta Willy	06/09/19
USAT EIME	Nombre de plano:	Escala:
	Parte t7	1:1
		Nº plano:
		12

Tekla structures

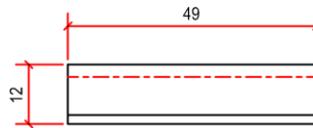
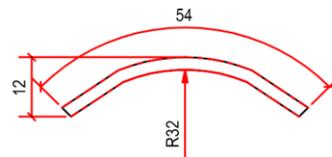


t8 - TUBE38.1X2

ESCALA - 1:1

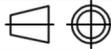
 USAT EIME	Dibujado por: Cusquisiban Zuloeta Willy	Fecha: 06/09/19
	Nombre de plano: Parte t8	Escala: 1:1
		Nº plano: 13

Tekla structures



t9 - PL3X49

ESCALA - 1:1

	Dibujado por:	Cusquisiban Zuloeta Willy	Fecha:	06/09/19
	Nombre de plano:	Parte t9	Escala:	1:1
			Nº plano:	14