



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA
DE DIRECCIÓN Y SISTEMA DE FRENOS EN UN PROTOTIPO
GO KART ELÉCTRICO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA
AUTOMOTRIZ”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

ELFER EFREN BRAVO AGUILAR

JUAN CARLOS MALQUI TRUJILLO

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA
DE DIRECCIÓN Y SISTEMA DE FRENOS EN UN PROTOTIPO
GO KART ELÉCTRICO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA
AUTOMOTRIZ”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: ELFER EFREN BRAVO AGUILAR

JUAN CARLOS MALQUI TRUJILLO

DIRECTOR: ING. VICTOR DAVID BRAVO MOROCHO

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Elfer Efren Bravo Aguilar & Juan Carlos Malqui Trujillo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, ELFER EFREN BRAVO AGUILAR y JUAN CARLOS MALQUI TRUJILLO, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 30 de mayo de 2023




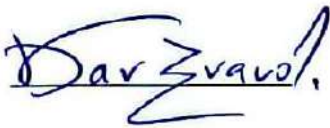
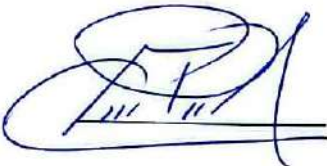
Elfer Efren Bravo Aguilar
070577002-2



Juan Carlos Malqui Trujillo
220036642-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN Y SISTEMA DE FRENOS EN UN PROTOTIPO GO KART ELÉCTRICO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**, realizado por los señores: **ELFER EFREN BRAVO AGUILAR y JUAN CARLOS MALQUI TRUJILLO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Javier Milton Solis Santamaria PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-05-30
Ing. Victor David Bravo Morocho DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-05-30
Ing. Edison Patricio Abarca Pérez ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-05-30

DEDICATORIA

A Dios por darme salud espiritual, física, mental y la fuerza necesaria para culminar esta meta, a mis padres Efren y Norma por todo su amor incondicional, me han enseñado a ser la persona que soy, mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño. Por su sacrificio y apoyo constante han sido la clave de mi éxito, a mis primas Sonia y Alejandrina por apoyarme y motivarme a cumplir mis objetivos.

Elfer

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, forjador y guía de mi buen camino. A mis padres Juan Fernando Malqui Flores y Clara Esther Trujillo quienes ha sido el pilar fundamental en mi vida universitaria, por todo el esfuerzo, paciencia, apoyo incondicional, el deseo de superación y los buenos consejos y enseñanzas que día a día me brindaron durante todo este proceso. A mis hermanos Cristian, Geovanny, Jessica y Andrés por su apoyo incondicional y moral para cumplir este objetivo.

Juan

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento profundo a Dios por darnos la inteligencia, sabiduría y salud para afrontar día a día las diferentes situaciones que se presentaron durante nuestra carrera estudiantil.

A nuestras familias y amistades que siempre nos apoyaron en diversas situaciones durante nuestro proceso académico, a docentes y compañeros estudiantes de la Carrera de Ingeniería Automotriz que nos compartieron sus diversas experiencias y conocimientos para nuestra profesión, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por darnos la oportunidad de formar parte de esta noble institución y convertirnos en profesionales, a nuestro director y asesor que siempre estuvieron presentes en cada uno de los procesos de titulación, brindando sus conocimientos y ayudando a obtener un mejores resultados.

Elfer y Juan

ÍNDICE DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
RESUMEN	xviii
SUMMARY	xix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1.	Antecedentes	2
1.2.	Planteamiento del problema	3
1.3.	Justificación	4
1.4.	Objetivos	5
1.4.1.	<i>Objetivo general</i>	5
1.4.2.	<i>Objetivos específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2.	REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEORICOS	7
2.1.	Estado del arte	7
2.2.	Bases teóricas	8
2.2.1.	<i>Sistemas de dirección</i>	8
2.2.2.	<i>Características que debe cumplir el sistema de dirección de un go kart</i>	8
2.2.2.1.	<i>Sistema de dirección para go kart</i>	9
2.2.3.	<i>Elementos del sistema de dirección</i>	9
2.2.3.1.	<i>Volante de dirección</i>	9
2.2.3.2.	<i>Columna de dirección</i>	10
2.2.3.3.	<i>Rotulas y varillaje de dirección</i>	10
2.2.3.4.	<i>Manguetas o puntas de eje</i>	11
2.2.3.5.	<i>Rines y neumáticos</i>	11
2.2.4.	<i>Geometría de Ackerman</i>	12
2.2.5.	<i>Parámetros que determinan la geometría del sistema de dirección</i>	13

2.2.5.1.	<i>Convergencia y divergencia</i>	13
2.2.5.2.	<i>Ángulo de caída o camber</i>	14
2.2.5.3.	<i>Ángulo de salida</i>	14
2.2.5.4.	<i>Ángulo de avance o caster</i>	15
2.2.5.5.	<i>Radio de giro</i>	16
2.2.6.	<i>Sistema de frenos</i>	16
2.2.7.	<i>Clasificación del sistema de frenos</i>	16
2.2.7.1.	<i>Sistema hidráulico</i>	16
2.2.8.	<i>Componentes de un sistema de frenos.</i>	17
2.2.8.1.	<i>Pedal</i>	17
2.2.8.2.	<i>Varilla de freno</i>	17
2.2.8.3.	<i>Bomba de freno</i>	18
2.2.8.4.	<i>Cañería</i>	18
2.2.8.5.	<i>Caliper</i>	18
2.2.9.	<i>Pastillas de freno</i>	19
2.2.9.1.	<i>Características generales de las pastillas de freno</i>	20
2.2.10.	<i>Tipos de pastillas</i>	20
2.2.10.1.	<i>Orgánicas</i>	20
2.2.10.2.	<i>Semimetálicas</i>	20
2.2.10.3.	<i>Carbono</i>	20
2.2.10.4.	<i>Cerámica</i>	20
2.2.11.	<i>Coefficiente de fricción entre neumático y pista</i>	21
2.2.12.	<i>Discos de freno</i>	21
2.2.13.	<i>Clasificación de los discos de freno</i>	22
2.2.13.1.	<i>Disco sólido</i>	22
2.2.13.2.	<i>Disco con ventilación</i>	22
2.2.13.3.	<i>Disco perforado</i>	22
2.2.13.4.	<i>Disco ranurado</i>	23
2.2.14.	<i>Líquido de frenos</i>	23
2.3.	Conceptos de fórmulas para realizar los cálculos de frenado	24
2.3.1.	<i>Energía cinética</i>	24
2.3.2.	<i>Trabajo</i>	24
2.3.3.	<i>Distancia de frenado</i>	25
2.3.4.	<i>Coefficiente de rozamiento dinámico entre el disco y pastillas de freno</i>	26
2.3.5.	<i>Presión del circuito de freno</i>	27
2.3.6.	<i>Carga de Euler</i>	27

2.3.7.	<i>Aceleración</i>	28
2.3.8.	<i>Software CAD/CAE</i>	28
2.3.9.	<i>Análisis por elementos finitos (FEA)</i>	29
2.3.9.1.	<i>Procedimiento para el cálculo de elementos finitos</i>	29
2.3.10.	<i>Convección</i>	30
2.4.	Marco legal (Normas, leyes y reglamentos)	30
2.4.1.	<i>Tipos de batería</i>	30
2.4.2.	<i>Pesos según el tipo de batería</i>	31
2.4.3.	<i>Peso mínimo</i>	32
2.4.4.	<i>Eje posterior</i>	32
2.4.5.	<i>Frenos</i>	32
2.4.6.	<i>Dirección</i>	33
2.5.	Especificaciones técnicas	33

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	34
3.1.	Diagrama de etapas del proyecto	34
3.2.	Metodología de la investigación a realizar	35
3.3.	Desarrollo del proyecto	36
3.3.1.	<i>Cronograma de actividades</i>	36
3.3.2.	<i>Recursos y materiales</i>	37
3.3.2.1.	<i>Presupuesto</i>	37
3.3.2.2.	<i>Talento Humano</i>	38
3.3.2.3.	<i>Equipos y materiales</i>	38
3.3.3.	Cálculos del sistema de dirección	39
3.3.3.1.	<i>Cálculo de la geometría de Ackerman</i>	39
3.3.3.2.	<i>Ángulo externo e interno mediante software CAD</i>	39
3.3.3.3.	<i>Cálculos matemáticos de Ackerman</i>	40
3.3.3.4.	<i>Ángulo interno o máximo</i>	40
3.3.3.5.	<i>Ángulo externo</i>	40
3.3.3.6.	<i>Ángulo de orientación de las manguetas</i>	41
3.3.3.7.	<i>Ángulo de brazo de la mangueta</i>	41
3.3.3.8.	<i>Ángulo de caída o camber</i>	41
3.3.3.9.	<i>Ángulo de salida</i>	42
3.3.3.10.	<i>Ángulo de avance o caster</i>	42

3.3.4.	<i>Análisis estático de la columna de dirección</i>	43
3.3.4.1.	<i>Ángulo de salida o pivote</i>	43
3.3.4.2.	<i>Par de torsión aplicado en la columna de dirección</i>	44
3.3.4.3.	<i>Esfuerzo de torsión en la columna de dirección</i>	46
3.3.4.4.	<i>Factor de seguridad aplicando el criterio de Von Mises</i>	48
3.3.4.5.	<i>Fuerza aplicada en el volante</i>	49
3.3.4.6.	<i>Asignación de restricción y carga para simulación de la columna de dirección</i>	50
3.3.4.7.	<i>Formula de Euler para columnas</i>	51
3.4.	Diseño del sistema de dirección	53
3.5.	Implementación del sistema de dirección	53
3.5.1.	<i>Cálculos del sistema de frenos</i>	54
3.5.1.1.	<i>Cálculo de velocidad</i>	55
3.5.1.2.	<i>Cálculo de la masa total</i>	55
3.5.1.3.	<i>Peso total</i>	55
3.5.1.4.	<i>Distancia de frenado</i>	56
3.5.1.5.	<i>Desaceleración</i>	56
3.5.1.6.	<i>Tiempo de frenado (t_{fr})</i>	56
3.5.1.7.	<i>Tiempo de reacción</i>	57
3.5.1.8.	<i>Fuerza de frenado</i>	57
3.5.1.9.	<i>Par de frenado</i>	58
3.5.1.10.	<i>Diámetro dinámico del disco (D_m)</i>	58
3.5.1.11.	<i>Área de contacto de la pastilla sobre el disco</i>	58
3.5.1.12.	<i>Radio del disco</i>	59
3.5.1.13.	<i>Fuerza periférica (Fuerza de fricción en el caliper)</i>	59
3.5.1.14.	<i>Fuerza de aprieto (Fuerza generada en el caliper)</i>	60
3.5.1.15.	<i>Fuerza de la varilla de freno</i>	60
3.5.1.16.	<i>Fuerza sobre el cilindro de la bomba</i>	61
3.5.1.17.	<i>Área del pistón del caliper</i>	62
3.5.1.18.	<i>Área del pistón de Bomba de freno</i>	62
3.5.1.19.	<i>Diámetro de la bomba hidráulica de freno</i>	62
3.5.1.20.	<i>Presión del circuito hidráulico de freno (P_f)</i>	63
3.5.1.21.	<i>Rendimiento de frenado</i>	63
3.5.2.	<i>Selección de componentes del sistema de frenos</i>	63
3.5.2.1.	<i>Selección de neumáticos para eje frontal y eje posterior</i>	63
3.5.2.2.	<i>Eje de transmisión</i>	64
3.5.2.3.	<i>Chumaceras</i>	65

3.5.2.4.	<i>Caliper y pastillas</i>	65
3.5.2.5.	<i>Disco de freno autoventilado</i>	66
3.5.2.6.	<i>Bomba de freno de cilindro maestro y varilla de freno</i>	67
3.5.2.7.	<i>Cañerías</i>	67
3.5.3.	<i>Sistema de frenos implementado</i>	68
3.5.4.	<i>Diseño del sistema de frenos</i>	68
3.5.5.	<i>Procedimiento para realizar el análisis estático</i>	69
3.5.5.1.	<i>Dibujo CAD del disco de frenos</i>	69
3.5.5.2.	<i>Mallado</i>	70
3.5.5.3.	<i>La calidad de la malla</i>	70
3.5.5.4.	<i>Soportes fijos</i>	71
3.5.5.5.	<i>Velocidad de rotación</i>	72
3.5.5.6.	<i>Cargas</i>	72
3.5.6.	<i>Análisis termodinámico en el disco de freno de go kart</i>	74
3.5.6.1.	<i>Propiedades térmicas de fundición gris</i>	75
3.5.6.2.	<i>Elevación de temperatura del disco de freno</i>	75
3.5.6.3.	<i>Temperatura en la superficie del disco</i>	75
3.5.6.4.	<i>Temperatura periférica del disco</i>	76
3.5.6.5.	<i>Flujo paralelo en placas planas</i>	76
3.5.6.6.	<i>Número de Nusselt</i>	77
3.5.6.7.	<i>Coefficiente de convección</i>	77
3.5.6.8.	<i>Calor disipado por convección lateral</i>	77
3.5.7.	<i>Procedimiento para realizar el análisis térmico del disco en software CAE</i>	78
3.5.7.1.	<i>Mallado</i>	78
3.5.7.2.	<i>Calidad y detalles de la malla</i>	79
3.5.7.3.	<i>Condición ambiental inicial</i>	79
3.5.7.4.	<i>Asignación de cargas</i>	80

CAPITULO IV

4.	RESULTADOS	82
4.1.	Resultados del sistema de dirección	82
4.1.1.	<i>Resultados de la simulación en Software CAD/ CAE</i>	82
4.1.1.1.	<i>Factor de seguridad</i>	82
4.1.1.2.	<i>Tensiones</i>	83
4.1.1.3.	<i>Desplazamientos</i>	83

4.1.1.4.	<i>Fuerza cortante</i>	84
4.2.	Resultados del sistema de freno	84
4.3.	Resultados del análisis estático del disco de freno.	87
4.3.1.	<i>Deformación</i>	87
4.3.2.	<i>Equivalente de Von Mises</i>	88
4.3.3.	<i>Factor de seguridad</i>	88
4.4.	Resultado del análisis térmico del disco de freno	89
4.4.1.	<i>Temperatura</i>	89
4.5.	Producto terminado	90
4.6.	Hoja de verificación del sistema de dirección	90
4.7.	Hoja de verificación del sistema de frenos	92
CONCLUSIONES		94
RECOMENDACIONES		95
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Tabla de coeficiente de fricción entre neumático y superficie de contacto.....	21
Tabla 2-2:	Características del líquido de frenos.	23
Tabla 3-2:	Coficiente de rozamiento de las pastillas.....	26
Tabla 4-2:	Peso máximo de la batería de tracción dependiendo de la composición química .	31
Tabla 5-2:	Equivalencias acorde a los diámetros externos	32
Tabla 1-3:	Metodología a realizar	35
Tabla 2-3:	Cronograma de actividades	36
Tabla 3-3:	Costos directos.....	37
Tabla 4-3:	Costos indirectos.....	37
Tabla 5-3:	Costo total.....	38
Tabla 6-3:	Especificaciones de talento humano	38
Tabla 7-3:	Equipos y herramientas utilizados	38
Tabla 8-3:	Materiales utilizados	39
Tabla 9-3:	Valores de geometría del sistema de dirección	40
Tabla 10-3:	Factor de concentración de esfuerzos Kt para un eje a torsión	48
Tabla 11-3:	Tiempos de reacción en función de la edad.....	57
Tabla 12-3:	Tabla de neumáticos homologados por la CIK/FIA	63
Tabla 13-3:	Propiedades térmicas del material fundición gris.....	75
Tabla 14-3:	Propiedades del aire a la presión de 1 atm y temperatura de 53,57 °C	76
Tabla 1-4:	Resultados de dimensionamiento del sistema de dirección	82
Tabla 2-4:	Tabla de datos generales del go kart	84
Tabla 3-4:	Tabla de resultados de cálculos de frenos	86
Tabla 4-4:	Tabla de cálculos	87
Tabla 5-4:	Tabla de presión en el circuito de frenos y rendimiento de frenado	87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Sistema de dirección de go kart	9
Ilustración 2-2:	Posición de conducción con las extremidades semiflexionadas	9
Ilustración 3-2:	Modelación de la columna de dirección	10
Ilustración 4-2:	Barra de acoplamiento de dirección y rotula.....	10
Ilustración 5-2:	Montaje de la mangueta.....	11
Ilustración 6-2:	Neumáticos para go kart.....	11
Ilustración 7-2:	Fenómeno de Ackerman.....	12
Ilustración 8-2:	Condiciones de Ackerman en un kart	12
Ilustración 9-2:	Cuadrilátero articulado de Ackerman	13
Ilustración 10-2:	Convergencia positiva en las ruedas delanteras	13
Ilustración 11-2:	Divergencia de las ruedas delanteras	14
Ilustración 12-2:	Ángulo de caída positivo, Ángulo de caída negativo.....	14
Ilustración 13-2:	Ángulo de salida.....	15
Ilustración 14-2:	Ángulo de avance positivo	15
Ilustración 15-2:	Sistema de freno hidráulico	16
Ilustración 16-2:	Pedal de freno.....	17
Ilustración 17-2:	Varilla de freno	17
Ilustración 18-2:	Bomba de freno para go kart	18
Ilustración 19-2:	Cañería de freno flexible	18
Ilustración 20-2:	Pinza de freno fija	19
Ilustración 21-2:	Pinza de freno móvil	19
Ilustración 22-2:	Pastillas de freno	19
Ilustración 23-2:	Disco de freno solido.....	22
Ilustración 24-2:	Disco de freno ventilado.....	22
Ilustración 25-2:	Disco de freno perforado	23
Ilustración 26-2:	Disco de freno ranurado	23
Ilustración 27-2:	Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que actúan en el eje Y	25
Ilustración 28-2:	Longitudes efectivas para varias condiciones de extremo	28
Ilustración 29-2:	Proceso para el análisis de elementos finitos	29
Ilustración 1-3:	Diagrama de etapas del proyecto.....	34
Ilustración 2-3:	Determinación del ángulo interno y externo según el radio de giro en software CAD.....	39
Ilustración 3-3:	Medición del ángulo de caída o camber.	41

Ilustración 4-3:	Medición del ángulo de salida	42
Ilustración 5-3:	Medición del ángulo de avance o caster.	43
Ilustración 6-3:	Medida del ángulo de avance	43
Ilustración 7-3:	Medida de la distancia que produce par de fuerzas.....	44
Ilustración 8-3:	Distancia entre eje vertical del neumático y eje pivote con el suelo en mm	44
Ilustración 9-3:	Distancia de la mangueta con la unión del varillaje en mm	45
Ilustración 10-3:	Distancia entre la columna de dirección con la unión del varillaje en mm ..	46
Ilustración 11-3:	Diámetros y radio de curvatura de la columna de dirección en mm	47
Ilustración 12-3:	Radio del volante en mm.....	49
Ilustración 13-3:	Asignación de la geometría fija	50
Ilustración 14-3:	Asignación restricción de translación	50
Ilustración 15-3:	Asignación del fuerza de torsión	50
Ilustración 16-3:	Valor k para la longitud efectiva	51
Ilustración 17-3:	Descomposición de la fuerza.....	52
Ilustración 18-3:	Componentes del sistema de dirección	53
Ilustración 19-3:	Sistema de dirección implementado	54
Ilustración 20-3:	Medida de pastillas de freno para go kart	58
Ilustración 21-3:	Fuerzas en los frenos de disco	59
Ilustración 22-3:	Relación de palanca del pedal de freno	60
Ilustración 23-3:	Relación de palanca de bomba de cilindro maestro	61
Ilustración 24-3:	Neumáticos de 11 pulgadas, marca Breagstone	64
Ilustración 25-3:	Medida del eje de transmisión	64
Ilustración 26-3:	Medida del diámetro interno de la chumacera	65
Ilustración 27-3:	Caliper o mordaza y pastillas de freno.....	65
Ilustración 28-3:	Caliper o mordaza y pastillas de freno.....	66
Ilustración 29-3:	Medición de disco de freno ventilado OTK 180x13 mm	66
Ilustración 30-3:	Bomba de freno de cilindro maestro y varilla de freno	67
Ilustración 31-3:	Cañerías de circuito de freno	67
Ilustración 32-3:	Sistema de frenos implementado	68
Ilustración 33-3:	Componentes del sistema de dirección	68
Ilustración 34-3:	CAD de elementos a simular	69
Ilustración 35-3:	Vista de mallado del disco de freno	70
Ilustración 36-3:	Detalles del tipo de mallado	70
Ilustración 37-3:	Calidad de malla según el número de elementos	71
Ilustración 38-3:	Asignación de soportes fijos en el disco de freno	71
Ilustración 39-3:	Asignación de la velocidad de rotación en el disco de freno	72

Ilustración 40-3:	Asignación de carga de presión.	72
Ilustración 41-3:	Asignación de cargas de fuerza de rozamiento.	73
Ilustración 42-3:	Diseño del disco de freno.	78
Ilustración 43-3:	Mallado del disco de freno.	78
Ilustración 44-3:	Detalles del tipo de mallado.	79
Ilustración 45-3:	Calidad de la malla.	79
Ilustración 46-3:	Temperatura inicial para el análisis.	80
Ilustración 47-3:	Asignación de la carga de convección.	80
Ilustración 48-3:	Asignación de la carga de flujo de calor.	81
Ilustración 1-4:	Factor de seguridad.	82
Ilustración 2-4:	Tensión de Von Mises.	83
Ilustración 3-4:	Desplazamientos.	83
Ilustración 4-4:	Fuerzas cortantes en pernos del volante.	84
Ilustración 5-4:	Velocidad vs Tiempo de frenado.	85
Ilustración 6-4:	Velocidad vs Distancia de frenado.	85
Ilustración 7-4:	Medidas del disco de freno en mm.	86
Ilustración 8-4:	Deformación total del disco.	87
Ilustración 9-4:	Stress equivalente (Von Mises) del disco de freno.	88
Ilustración 10-4:	Factor de seguridad del disco de frenos.	88
Ilustración 11-4:	Resultados de la simulación térmica del disco de freno.	89
Ilustración 12-4:	Implementación del sistema de frenos y sistema de dirección concluida.	90

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: VOLANTE DE DIRECCIÓN

ANEXO B: SOPORTE DE DIRECCIÓN

ANEXO C: COLUMNA DE DIRECCIÓN

ANEXO D: DISCO DE FRENO

ANEXO E: FICHA TÉCNICA DE FRENOS MARCA FREELINE

RESUMEN

El objetivo de este proyecto técnico fue el dimensionamiento y la implementación del sistema de dirección y sistema de frenos en un prototipo go kart eléctrico para la carrera de ingeniería automotriz, se seleccionó los componentes de dichos sistemas bajo el reglamento técnico para karts eléctricos, que rige la CIK/FIA, además de estar disponibles y accesibles en el mercado. Se comenzó con la fundamentación teórica del sistema de dirección y sistema de frenos familiarizándose con los componentes que conforman estos dos sistemas. Para la implementación del sistema de dirección, se seleccionó una dirección mecánica, formada por volante, columna de dirección, varillaje, manguetas y neumáticos, asimismo se analizó la columna de dirección aplicando un torque de 37,74 [Nm], originado por la fuerza que necesita el piloto para maniobrar el go kart, por otra parte, se verificó el factor de seguridad mediante software CAD-CAE, obteniendo un valor mínimo de 3,83 bajo el criterio de Von Mises, en conclusión el sistema de dirección es apto para su exigencia en las pistas de competencia. En el caso del sistema de frenos, se realizó cálculos de dinámica vehicular para obtener el diámetro del cilindro maestro de la bomba hidráulica y el diámetro externo del disco de freno, de 19 [mm] y 180 [mm] respectivamente. Por consiguiente, se hizo un análisis estático y térmico en software CAE del disco, obteniendo un valor máximo en la deformación de 14,703 [μm] y temperatura máxima de 86,46 [$^{\circ}\text{C}$], teniendo en cuenta que la presión hidráulica en el sistema es de 3,69 [MPa] y la fuerza de frenado es de 1270,40 [N]. En conclusión, el sistema de frenos cumple con las exigencias de desempeño, confiabilidad y rendimiento para reducir la velocidad o detener el prototipo de go kart eléctrico.

Palabras clave: <SISTEMA DE DIRECCIÓN> <SISTEMA DE FRENOS> <PROTOTIPO>
<REGLAMENTO CIK/FIA> <DINÁMICA VEHICULAR> <GO KART ELÉCTRICO>.

1041-DBRA-UTP-2023



SUMMARY

The objective of this technical project was the sizing and implementation of the steering system and braking system in an electric go kart prototype at Automotive Engineering career. The systems components were selected under the technical regulation for electric karts, which governs the CIK/FIA, as well as being available and accessible on the market. It began with the theoretical foundation of the steering system and the braking system, becoming familiar with the components that make up these two systems. For the steering system implementation, a mechanical steering was selected, consisting of a steering wheel, steering column, linkage, knuckles and tires. Likewise, the steering column was analyzed applying a torque of 37,74 [Nm], caused by the force that the pilot needs to maneuver the go kart. On the other hand, the safety factor was verified using CAD-CAE software, obtaining a minimum value of 3,83 under the Von Mises criterion. In conclusion the steering system is suitable for its demand on the competition tracks. In the case of the brake system, vehicular dynamics calculations were made to obtain the diameter of the master cylinder of the hydraulic pump and the external diameter of the brake disc, of 19 [mm] and 180 [mm] respectively. Consequently, a static and thermal analysis of the disk was carried out in CAE software, obtaining a maximum value in the deformation of 14,703 [μm] and a maximum temperature of 86,46 [$^{\circ}\text{C}$], taking into account that the hydraulic pressure in the system is 3,69 [MPa] and the braking force is 1270,40 [N]. In conclusion, the braking system meets the performance, reliability and performance demands to slow down or stop the electric go kart prototype.

Keywords: <STEERING SYSTEM> <BRAKE SYSTEM> <PROTOTYPE> <CIK/FIA REGULATIONS> <VEHICULAR DYNAMICS> <ELECTRIC GO KART>.



Lic. Sandra Paulina Porrás Pumalema

C.I. 0603357062

INTRODUCCIÓN

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo es una de las instituciones más comprometidas en la formación de profesionales que tienen capacidad necesaria para proveer soluciones en la especialidad dentro de su campo, con lo cual el estudiante se motiva a ser indagador, trabajador y dar soluciones concretas y precisas.

Debido a que las competencias de go kart de motores de combustión interna que realiza la ESPOCH cada año son de gran prestigio, se quiere incorporar la categoría go kart eléctricos, para lo cual en base a los conocimientos adquiridos durante la carrera universitaria se trabajará en el desarrollo de este trabajo de integración curricular nombrado dimensionamiento e implementación del sistema de dirección y sistema de frenos para un prototipo go kart eléctrico, el sistema de frenos surge de la necesidad de incorporar frenos hidráulicos que permitan controlar la velocidad del prototipo y garantizar la seguridad del piloto durante la conducción, mientras que el sistema de dirección surge con la propósito de dar comodidad, maniobrabilidad, suavidad y soporte de todas las fuerzas y esfuerzos que se transmiten desde de la pista.

A través de este trabajo de titulación técnica se aportará a la motivación e investigación de las nuevas generaciones que en un futuro se apoyen de este documento para que puedan innovar nuevos prototipos con las exigencias reglamentarias de nuevos sistemas de dirección y sistemas de frenos.

Este documento técnico está constituido por cuatro capítulos detallados a continuación:

En el Capítulo I, se redactan los antecedentes, planteamiento del problema, justificación y objetivos del trabajo de titulación.

En el Capítulo II, se indaga todo el complemento teórico de estos dos sistemas, los conceptos, funcionamiento tanto para el sistema de dirección y sistema de frenos es decir las bases teóricas para el desarrollo del proyecto.

En el Capítulo III, se redacta la metodología que se siguió para el cumplimiento de los objetivos.

En el Capítulo IV, se expone los resultados del trabajo de titulación, posterior a ello las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El go kart tiene su origen en los años 50 en una base militar en California, Estados Unidos, las primeras piezas para la construcción del go kart fueron con restos de un avión en desuso y propulsado por un motor de cortadora de césped, con el pasar de los años este se ha vuelto un deporte para competencia de automovilismo profesional, hoy en día se sigue ciertas especificaciones de la Comisión Internacional de Karting (CIK) para cada una de estas competiciones (SALAZAR, 2011 pág. 6).

La mayoría de los go karts son propulsados mediante motores de combustión interna (MCI) que a raíz de esto se ha venido proponiendo alternativas para disminución de la contaminación ambiental que durante los últimos años se ha convertido en un problema muy grave para la salud de las personas, una de estas alternativas es la de sustituir los motores de combustión por motores más amigables con el medio ambiente, los motores eléctricos están en pleno auge debido a que los mismos ofrecen mayores ventajas en cuanto a la mitigación de la contaminación y proporcionan mayores índices de eficiencia con respecto a los motores de combustión.

Para cumplir con los requisitos de maniobra necesarios para la conducción de un vehículo, es oportuno implementar un sistema encargado de controlar las ruedas frontales para que puedan ser maniobradas de acuerdo con las exigencias y la trayectoria deseadas del conductor (MALLA, 2019 p. 1).

El sistema de dirección, que se utiliza en los go karts es de varillaje debido a la facilidad de instalación, la simplicidad de su diseño y el marco compacto. Esto se debe a que el sistema debe brindar el control de dirección con un radio de giro pequeño. El sistema de frenos debe ser controlado mediante una sola palanca, está prohibido el uso de freno por cable, en base a la norma CIK/FIA, y los discos de freno que pueden ser utilizados son los de acero, acero inoxidable o hierro fundido (MOHIT, y otros, 2022 págs. 18-19)

La industria automotriz trabaja en la seguridad durante la conducción de hecho se ha determinado que el sistema más importante es el sistema de frenos debido a que tiene como finalidad detener el vehículo de manera segura, salvaguardando de riesgos al conductor, por tales motivos se ha

establecido reglas y requisitos que se debe cumplir en cuanto a distancia, estabilidad, comodidad y eficacia de frenado.

1.2. Planteamiento del problema

A lo largo de los años, la industria automovilística ha buscado estrategias para reducir el impacto de contaminación del medio ambiente, mediante el adelanto de nuevas tecnologías en lo que concierne a la utilización de energías alternativas para reducir la contaminación. Las competencias de karting que se realizan internacionalmente en todo el mundo, la mayor parte son con go kart propulsados por motores de combustión interna, siendo un problema en lo que respecta a la contaminación del aire, por esta razón la CIK/FIA implementa la formula E, exclusivamente para go kart eléctricos de esta manera se origina esta categoría con la ideología de tratar de eliminar las competencias con go kart de motores de combustión interna.

En el mundo de la competición automotriz los problemas ambientales están cobrando escala, es por esto que se creó la formula E en el cual el primordial objetivo es incrementar las prestaciones que tiene un vehículo eléctrico tanto en autonomía como en velocidad; siendo la fórmula 1 el objetivo central de todo apasionado a la competencia automotriz y la formula E, de todo innovador o entusiasta de las energías alternativas de propulsión; donde el peso de cada vehículo representa parte importante de estas categorías (LANCHIMBA, 2021 pág. 17).

Las competencias karting que se vienen realizando dentro de la institución educativa son llamativas para otras universidades las cuáles asisten a participar, y el 100 % de go karts participantes son impulsados por motores de combustión interna, los gases que estos motores expulsan a través del tubo de escape son contaminantes para el medio ambiente y nocivos para la salud de las observadores y aficionados que disfrutan éstas competencias, estos gases son el CO_2 , CO , HC y NOx , por lo cual se plantea la transición de la quema de combustibles derivados del petróleo hacia la electromovilidad o movilidad limpia.

Sin duda al ser un go kart eléctrico se implementara un tren de potencia, un motor eléctrico, un controlador y el pack de baterías que tienen una masa considerable para el modelo, se incluye también la masa del conductor que modifica significativamente la masa total del prototipo por lo cual se necesitará de un diseño de frenos de disco que proporcione un frenado óptimo, sin dar problemas de bloqueo o sobrecalentamiento durante la frenada, es más este problema es una de las causas principales por la cual se podría generar un accidente durante la carrera ya que se pierde el rendimiento de los frenos.

El sistema de dirección debe cumplir con varias características que le ofrezcan al conductor comodidad, precisión, facilidad de manejo y estabilidad, todo esto lleva consigo e influye en la conducción: el peso del vehículo, la superficie de los neumáticos, posición del volante con el conductor, materiales con que están fabricado, el modo de ajustar, etc. (LANCHIMBA, 2021 pág. 17).

Actualmente, no hay investigaciones relacionadas en la ESPOCH referentes a go karts eléctricos, por lo tanto, la búsqueda de información e implementación del go kart eléctrico es un origen de nuevas tecnologías que aportan a la transición dentro de las competencias de Copa Karting, además, la carrera de ingeniería automotriz de la ESPOCH no cuenta con un go kart eléctrico para las competiciones venideras de electromovilidad.

1.3. Justificación

Debido a la contaminación ambiental, el planeta está sufriendo cambios climáticos, (calentamiento global) por esta razón el afán primordial es encontrar energías renovables y limpias. (CHOHUAN, y otros, 2020 pág. 948)

Se determinó, la necesidad de tener un go kart eléctrico en la Escuela de Ingeniería Automotriz para ediciones futuras de la copa karting, que se ha venido realizando por movilidad de combustión en las instalaciones de la ESPOCH. Este proyecto se realizará bajo reglamentos de la (CIK/FIA) federación internacional automovilística, el cual indica que un go kart es un vehículo tubular unipersonal que debe ser impulsado por un motor y no debe poseer suspensión (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 pág. 6).

Para cumplir con la selección de componentes del go kart, se realiza el dimensionamiento e implementación del sistema de frenado y sistema de dirección, siendo la dirección una de las secciones más importantes en el vehículo asociado con el sistema de frenos, ya que de estos elementos depende la seguridad, la estabilidad, el confort, debe completar una serie de cualidades que proporcionan al piloto, la seguridad y comodidad necesaria en la conducción.

En el sistema de dirección, se diseñará mediante software CAD, aplicando geometría de Ackerman, y aplicando la geometría en campo al momento de implementar el sistema de dirección, para no tener problemas de subviraje o sobreviraje en las curvas de las pistas.

Para aportar a la construcción o implementación del go kart eléctrico, se realizará el dimensionamiento del sistema de freno, y comprobando mediante formulación matemática aplicando dinámica vehicular, corroborando los parámetros de frenado, dentro de estos se

encuentran la desaceleración, distancia y tiempo de frenado, además distancia hasta el paro. Se realizará el diseño y análisis térmico del disco de freno que se utilizará en el sistema aplicando elementos finitos para verificar la temperatura que alcance el disco mediante la fricción de las pastillas de freno y el disco al momento de presionar el pedal del freno, e implementar el sistema al go kart eléctrico.

El sistema de frenos debe diseñarse de manera que sea eficiente en el go kart, para que el piloto no tenga fallos del sistema en la pista al momento de competir y sufran algún accidente por averías, para seleccionar el freno de disco es necesario determinar su capacidad de torque de frenado requerida sobre la fuerza de frenado.

El disco de freno es recomendable que este hecho de acero inoxidable ya que los discos de carbono están prohibidos según la norma CIK/FIA, la mordaza se debe tomar en cuenta de acuerdo con el disco que se seleccione. (MALLA, 2019 pág. 21)

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Dimensionar el sistema de dirección y frenos, empleando la geometría de Ackerman, dinámica vehicular y simulación CAE para un go kart eléctrico.

1.4.2. Objetivos específicos

- Obtener referencias bibliográficas relacionadas a sistemas de dirección y sistemas de frenos para go kart eléctricos mediante la revisión de artículos de alto impacto y normas internacionales.
- Seleccionar el sistema de dirección mediante la geometría de Ackerman para un chasis homologado y modificado para go kart eléctrico según la norma CIK/FIA.
- Dimensionar aplicando dinámica vehicular un sistema de frenos de disco para un prototipo de go kart eléctrico a través de cálculos, simulación estática y térmica por el método de elementos finitos.

- Implementar el sistema de dirección y sistema de frenos en un go kart eléctrico mediante una selección previa de componentes y realizar una hoja de control.

CAPITULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEORICOS

2.1. Estado del arte

En las competencias de go kart debe prevalecer la seguridad del piloto por ende los sistemas de freno deben implementarse en base a las normas CIK-FIA, en el cual dice que el sistema de frenos debe ser hidráulico capaz de proporcionar un frenado eficiente, según los parámetros regulados por la CIK-FIA los discos de freno de carbono están prohibidos por ende se usa discos de acero, acero inoxidable o hierro fundido (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 pág. 19).

La mayoría de go kart tienen el freno de disco solo en el eje posterior, por ser este tipo de frenos más simple que el freno del tambor permitiendo el enfriamiento rápido debido al flujo de aire del ambiente y la velocidad del go kart.

En base a un artículo académico *Design of Braking System for Go-Kart* publicado en el año 2018 sobre el diseño de sistema de frenado para go Kart, indica que, para mejorar los parámetros de frenado, todas las cargas estáticas y dinámicas las calcularon en las ruedas frontales y posteriores (Design of Braking System for Go-Kart, 2018 pág. 1990). No obstante, en este trabajo de integración curricular se hará el dimensionamiento solo en el eje posterior debido a que la normativa CIK/FIA para prototipos lo permite, el sistema de frenos se calculará mediante dinámica vehicular teniendo en cuenta el peso extra debido a la adecuación del tren de potencia eléctrico asegurando que dichos cálculos proporcionen la información idónea para la selección del sistema de frenos óptimo.

De igual manera el sistema de dirección debe ser implementado y alineado de una forma eficiente permitiendo al piloto un buen agarre en las curvas por lo cual el mecanismo de trabajo debe ser simple, se implementará un sistema de varillaje mecánico con una relación 1:1 utilizando la geometría de Ackerman, la razón por la cual se usa el principio de Ackerman, además proporciona una restricción de 60 grados para bloquear el giro del volante, permitiendo así giros rápidos y precisos en periodos cortos de tiempo. (Design and Analysis of Electric go kart, 2020)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Sistemas de dirección

La misión de la dirección es poder orientar al vehículo de modo que siga el trayecto deseado por el conductor. El sistema de dirección es un conjunto de mecanismos encargados de actuar como interfaz entre el piloto y el vehículo, el conductor gira el volante y el movimiento se transmite a través de la columna de dirección a las varillas de dirección, que convierte el giro en un movimiento lineal que hace girar las ruedas delanteras. (LLIVISACA AUCAPIÑA, 2018 pág. 4)

El sistema de dirección debe mantener seguro al conductor en todo momento, porque durante su funcionamiento debe soportar todas las fuerzas y esfuerzos que se producen en la carretera, convirtiéndose en uno de los sistemas más importante del vehículo.

2.2.2. Características que debe cumplir el sistema de dirección de un go kart

Un sistema de dirección debe cumplir con ciertas características que son fundamentales en vehículos convencionales al igual que los go kart.

a) Seguridad

Esto se refleja en la calidad de los materiales utilizados en el sistema.

b) Suavidad

Esto proporcionara comodidad, sin embargo, en el caso de los go karts, no es necesario, al contrario, no debe ser tan suave porque el go kart está muy pegado al suelo y necesita ser más estable, con la suavidad se pierde estabilidad.

c) Precisión

Si los distintos mecanismos de la dirección no funcionan correctamente, un desgaste o alguna deformación, la precisión en la pista puede perderse.

d) Irreversibilidad

Dado que el volante transmite los giros al sistema y las oscilaciones debidas a las irregularidades del terreno no deben transmitirse de vuelta al volante, evitando los cambios de trayectoria no deseados (MALLA, 2019 pág. 5).

2.2.2.1. Sistema de dirección para go kart

Se planea utilizar una disposición mecánica. Se selecciona este tipo de sistema de dirección debido a su mecanismo de trabajo simple de Ackerman y una relación de dirección de 1:1 entre el ángulo de dirección y el ángulo de la rueda, por lo que se utiliza un enlace de tipo mecánico (SAHEB, y otros, 2016 pág. 98).



Ilustración 1-2: Sistema de dirección de go kart

Fuente: (SAHEB, y otros, 2016)

2.2.3. Elementos del sistema de dirección

2.2.3.1. Volante de dirección

Es el componente que permite la maniobrabilidad de la dirección. Para que el conductor se sienta cómodo mientras conduce, todo se reduce a la ergonomía de la conducción, que también contribuye al agarre y la estabilidad en la pista. El volante debe estar a la altura de los hombros como se indica en la ilustración 2-2 (QUEZADA POMA, 2018 pág. 36).



Ilustración 2-2: Posición de conducción con las extremidades semiflexionadas

Fuente: (QUEZADA POMA, 2018)

2.2.3.2. Columna de dirección

Es una varilla tubular conectada a un soporte en el chasis, el cual está sujeto mediante placas y un acople al volante. Su funcionamiento es sencillo ya que cuando mueves el volante la columna de dirección gira, haciendo que las barras de dirección se muevan y por ende las llantas giren (LANCHIMBA, 2021 pág. 21).



Ilustración 3-2: Modelación de la columna de dirección

Fuente: (QUEZADA POMA, 2018)

2.2.3.3. Rotulas y varillaje de dirección

Las varillas y rotulas permiten el movimiento de las ruedas y que también van unidas a la columna de dirección, dependiendo de la longitud de estas, se puede variar la divergencia o convergencia de las ruedas (LANCHIMBA, 2021 pág. 22).



Ilustración 4-2: Barra de acoplamiento de dirección y rotula

Fuente: (AMAZON, 2020)

2.2.3.4. Manguetas o puntas de eje

Es la parte que conecta las varillas de dirección y los soportes del chasis, aquí es donde se colocan las ruedas. Las manguetas tienen espaciadores que suelen ser dos a cada lado que ayudan a ajustar la separación del chasis con el neumático (LANCHIMBA, 2021 pág. 23).



Ilustración 5-2: Montaje de la mangueta

Fuente: (QUEZADA POMA, 2018)

2.2.3.5. Rines y neumáticos

Rines: Tienen que soportar las fuerzas que se ejercen durante la competencia y es la parte donde se colocan los neumáticos.

Neumáticos: permite la fricción y la tracción, lo que posibilita un frenado y arranque óptimos. Dependiendo de las condiciones de la pista, existen diferentes neumáticos para go karts. Todos los neumáticos utilizados en los karts deben de estar homologados, queda prohibido cualquier modificación de este, así como cualquier tratamiento de los neumáticos con productos químicos (LANCHIMBA, 2021 pág. 24).



Ilustración 6-2: Neumáticos para go kart

Fuente: (AMAZON, 2021)

2.2.4. Geometría de Ackerman

La geometría de Ackerman define la geometría utilizada por los vehículos para generar el ángulo de dirección correcto, ya que cada rueda debe girar con un punto de pivote similar al girar. La principal característica de Ackerman radica en el comportamiento dinámico del vehículo al girar. La rueda interior tiene mayor ángulo de dirección que la rueda exterior, es decir, $\beta > \alpha$. Por el contrario, si las ruedas giraran en ángulos similares, al girar, la rueda interior se deslizaría hacia los lados creando desgaste y calor, reduciendo su eficiencia (LANCHIMBA, 2021 pág. 28).

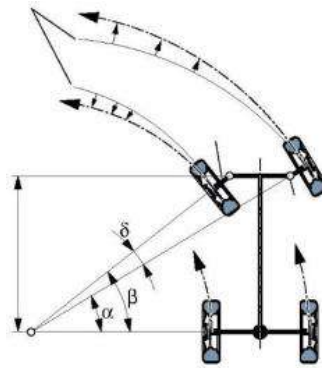
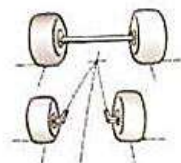


Ilustración 7-2: Fenómeno de Ackerman

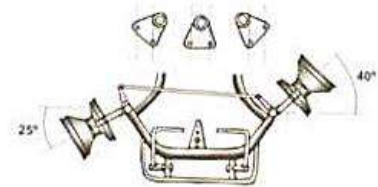
Fuente: (VALDERRAMA GUAL, 2020)



Esquema mostrando el efecto Ackerman



Esquema del tren delantero de un kart mostrando el efecto Ackerman



Esquema del tren delantero de un kart mostrando una dirección de doble perno

Ilustración 8-2: Condiciones de Ackerman en un kart

Fuente: (AGUADO, 2014)

Los puntos se localizan sobre las líneas desde los pivotes centrales del neumático al punto medio del eje posterior, en un go kart hay problemas de que el neumático externo o interno no se comporte como debería y se generaría un peligro (LANCHIMBA, 2021 pág. 28).

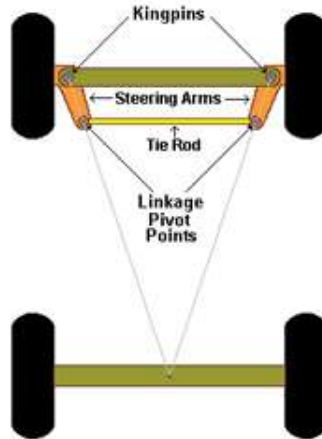


Ilustración 9-2: Cuadrilátero articulado de Ackerman

Fuente: (AGUADO, 2014)

2.2.5. Parámetros que determinan la geometría del sistema de dirección

2.2.5.1. Convergencia y divergencia

La convergencia de las ruedas delanteras significa el ángulo que forma la rueda con el eje longitudinal del kart, si es un ángulo agudo las ruedas están cerradas hacia adelante, si las ruedas están abiertas hay una divergencia, cuando las ruedas están paralelas, no hay convergencia (LANCHIMBA, 2021 pág. 29).

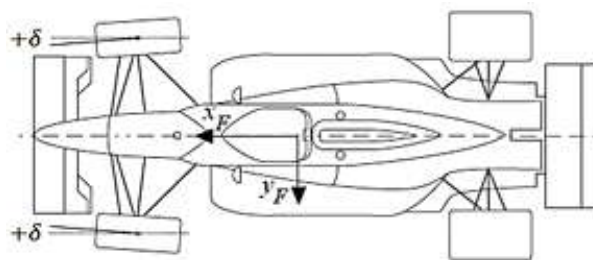


Ilustración 10-2: Convergencia positiva en las ruedas delanteras

Fuente: (LLIVISACA AUCAPIÑA, 2018)

La potencia mínima se pierde y el desgaste de las llantas es menor cuando las ruedas están en paralelo. El desgaste inadecuado provoca el deterioro en los bordes inferiores de las llantas. La convergencia generalmente mantiene el vehículo recto mientras que la divergencia facilita los giros, por lo que todo depende de la configuración, ya que existe un equilibrio entre la maniobrabilidad, el desgaste de los neumáticos y la estabilidad. Si lo hace en las ruedas traseras, se crearía subviraje y no sea posible circular, por lo que las ruedas traseras deben estar paralelas o con muy poca convergencia (LANCHIMBA, 2021 pág. 30).

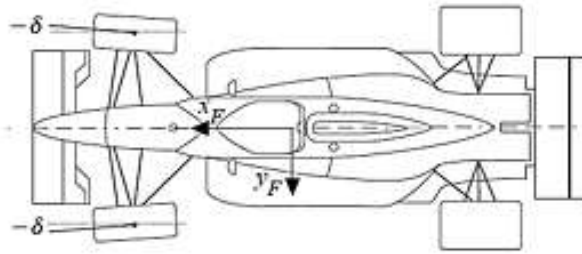


Ilustración 11-2: Divergencia de las ruedas delanteras

Fuente: (LLIVISACA AUCAPIÑA, 2018)

2.2.5.2. Ángulo de caída o camber

Este ángulo mide el centro de la rueda en relación con la vertical, lo que significa que este ángulo comprueba si la parte superior de la rueda es completamente neutra, más lejos del kart o viceversa.

Ángulo de inclinación neutral: La base del neumático está en pleno contacto con la superficie.

Ángulo de inclinación positivo: la parte superior del neumático está más alejada del cuerpo que la parte inferior.

Ángulo de inclinación negativo: lo contrario del positivo donde la parte superior de la rueda está más cerca del cuerpo que la parte inferior.

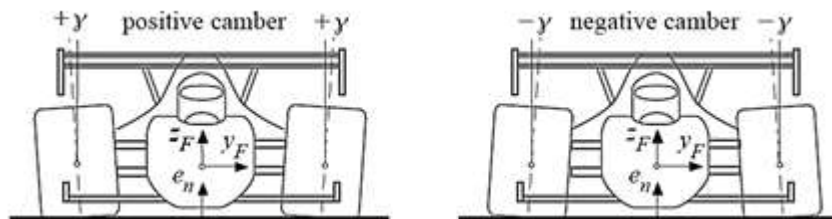


Ilustración 12-2: Ángulo de caída positivo, Ángulo de caída negativo

Fuente: (LLIVISACA AUCAPIÑA, 2018)

Las llantas con ángulo de inclinación neutral extienden la vida útil de los neumáticos. Normalmente, para lograr un camber cero en un Kart, se le da al neumático un camber inicial, ligeramente positivo para que cuando el conductor este sentado en el vehículo, las deformaciones del chasis causadas por el peso hagan que las ruedas se vuelvan completamente vertical. El ángulo de caída suele estar en un rango que varía entre 0,5 y 2 grados de inclinación.

2.2.5.3. Ángulo de salida

Es el ángulo formado por la línea imaginaria que conecta las rotulas inferior y superior de la mangueta y un eje vertical, en un kart, este ángulo debe estar entre 11 y 13 grados.

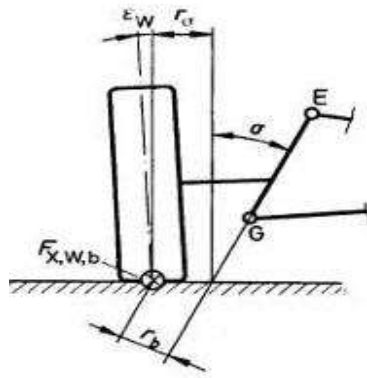


Ilustración 13-2: Ángulo de salida

Fuente: (QUEZADA POMA, 2018)

El ángulo de salida tiene la función de reducir el esfuerzo que implica la alineación de los neumáticos, reduciendo la inclinación de las ruedas, reduciendo el desgaste y favoreciendo la reversibilidad de la dirección.

2.2.5.4. Ángulo de avance o caster

Este ángulo permite que la rueda interior posterior se levante en una curva, este ángulo está formado por el eje vertical de la rueda y el eje del perno que conecta los ejes de manguetas a la C del chasis. En un kart, que no tiene diferencial en el eje posterior, el avance es un factor importante que determina los diversos aspectos de la puesta a punto. El ángulo de avance tiene la función de mantener la dirección estable y precisa, favoreciendo la retornabilidad de la dirección y evitando vibraciones en los neumáticos y su consecuente repercusión en la dirección (FORNI, 2017).

Avance positivo: Úselo solo con tracción posterior cuando mire la línea de giro.

Avance neutro: La dirección no se devuelve automáticamente

Avance negativo: Solo se usa con tracción delantera cuando el centro de giro está detrás de la línea del brazo o pivote.

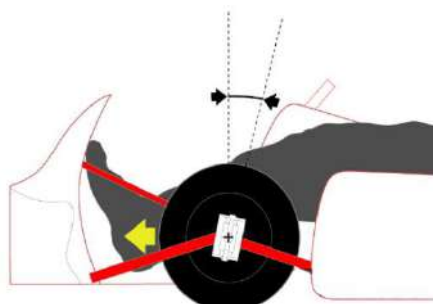


Ilustración 14-2: Ángulo de avance positivo

Fuente: (FORNI, 2017)

2.2.5.5. Radio de giro

La geometría de Ackerman es limitada para ángulos de giros pequeños con la finalidad de garantizar que al tomar una curva la geometría de la dirección funcione correctamente, cabe recalcar que el radio de giro máximo en los vehículos suele ser de un aproximado del doble de la distancia entre ejes.

$$R_g = 2 * L$$

2.2.6. Sistema de frenos

El sistema de frenos está diseñado para reducir o detener el movimiento de uno o más elementos de una máquina cuando sea necesario. La energía mecánica del movimiento se convierte en calorífica durante el frenado por fricción entre dos partes llamadas frenos.

2.2.7. Clasificación del sistema de frenos

El sistema de frenos se clasifica en hidráulico, mecánico y neumáticos. El sistema más utilizado es el hidráulico y es el que se implementará en el prototipo de go kart.

2.2.7.1. Sistema hidráulico

Se compone de pedal, cilindro maestro, tubos y frenos en las ruedas. Gracias a los componentes antes mencionados, su funcionamiento permite aplicar una gran cantidad de tensión al frenar con muy poco esfuerzo para pisar el pedal. Se basa en el principio de Pascal de que "la presión aplicada en un punto de un fluido cerrado se transmite con igual intensidad en todas las direcciones" (GUAÑANA, 2021 pág. 23).

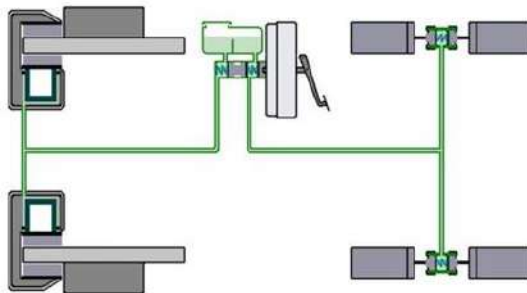


Ilustración 15-2: Sistema de freno hidráulico

Fuente: (GUAÑANA, 2021)

2.2.8. Componentes de un sistema de frenos.

2.2.8.1. Pedal

Es el encargado de transmitir la reacción del piloto accionado por su pie izquierdo, hacia el cilindro maestro de la bomba por medio de una varilla que conecta el pedal con la bomba. El pedal se instala con determinado tope graduado, con el fin de evitar sobre esfuerzo, además de contar con muelle de retorno, el cual ayuda a regresar a su posición inicial de manera rápida cuando el conductor deja de presionar el pedal.



Ilustración 16-2: Pedal de freno

Fuente: (PUETATE MEDINA, 2016)

2.2.8.2. Varilla de freno

Es una varilla delgada de metal que conecta el pedal del freno a la bomba de freno, y tiene una rosca que ajusta los frenos. El conjunto debe tener más de 18 cm de longitud y 0,5 mm de diámetro (GUAÑANA, 2021 pág. 26).



Ilustración 17-2: Varilla de freno

Fuente: (GUAÑANA, 2021)

2.2.8.3. Bomba de freno

Fabricada en aluminio, alberga un cilindro por el que se desplaza un pistón accionado por biela, que es accionado por el pedal del freno. Permite la entrega de líquido de frenos a presión para accionar los cilindros de freno.



Ilustración 18-2: Bomba de freno para go kart

Fuente: (ALIBABA, 2020)

2.2.8.4. Cañería

Componentes que permiten la actuación del líquido de frenos, soportan la presión interna del líquido, factores ambientales y de otro tipo.



Ilustración 19-2: Cañería de freno flexible

Fuente: (CARPIO, 2018)

2.2.8.5. Caliper

Parte estática de un sistema de frenado, también llamadas mordaza, donde se alojan los pistones y las pastillas del sistema. Se puede dividir en 2 tipos, son:

Mordaza fija o de doble acción: Se fija a la base de la mordaza. Permite accionar cada lado del disco, el desplazamiento de la pastilla es accionado por 2 cilindros.



Ilustración 20-2: Pinza de freno fija

Fuente: (CARPIO, 2018)

Mordaza móvil o de acción: Tiene una pastilla de freno a cada lado del disco, y su funcionamiento se realiza mediante un pistón que empuja el disco contra una segunda pastilla.

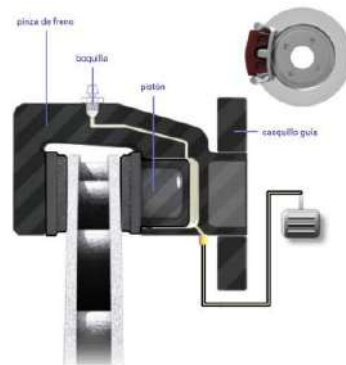


Ilustración 21-2: Pinza de freno móvil

Fuente: (CARPIO, 2018)

2.2.9. Pastillas de freno

Es el elemento de fricción que entra en contacto con el disco para detener el automóvil.



Ilustración 22-2: Pastillas de freno

Fuente: (GUAÑANA, 2021)

2.2.9.1. Características generales de las pastillas de freno

- Coeficiente de fricción adecuado
- Estabilidad entre la abrasión y la resistencia al desgaste
- Estable en cualquier rango de presión y temperatura
- Compresibilidad en frío y caliente, lo que permite que el material absorba irregularidades y vibraciones de la superficie en la cual estarán en contacto
- Resistencia a desgaste y golpes

2.2.10. Tipos de pastillas

2.2.10.1. Orgánicas

Fabricado en asbesto y materiales orgánicos, tiene un buen coeficiente de fricción con un uso moderado, excelentes resultados a bajas temperaturas, es silencioso, pero se desgasta rápidamente.

2.2.10.2. Semimetálicas

El material que compone la pastilla presenta una mayor resistencia al desgaste, cuya eficacia varía en función de la temperatura de funcionamiento.

2.2.10.3. Carbono

Las pastillas tratadas con carbono son muy duraderas, se utilizan en vehículos de combate, trenes de alta velocidad, aviones y vehículos de carreras. Tienen propiedades como alta fricción, alta resistencia térmica, alta resistencia al desgaste y bajo peso.

2.2.10.4. Cerámica

Sí está conformado por compuestos inorgánicos no metálicos, principalmente carburos y óxidos. Pueden soportar altas temperaturas y se utilizan principalmente en carreras.

2.2.11. Coeficiente de fricción entre neumático y pista

La fricción entre el neumático y la pista determina la aceleración máxima. Asimismo, la distancia mínima de frenado.

De la siguiente tabla 1-2 se escoge las características de superficie tipo asfalto a una velocidad mayor de 70 km/h tomando el valor máximo de coeficiente de fricción cinético de 0,7 en calzada seca.

Tabla 1-2: Tabla de coeficiente de fricción entre neumático y superficie de contacto.

Características de la superficie	Tipo	Seca a menos de 50 km/hr		Seca a Más de 50 km/hr		Húmedad a Menos de 50 km/hr		Húmedad a Más de 50 km/hr	
		Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta
CONCRETO	Nuevo – liso	0.80	1.20	0.70	1.00	0.50	0.80	0.40	0.75
CONCRETO	Usado	0.60	0.80	0.60	0.75	0.45	0.70	0.45	0.65
CONCRETO	Pulimentado por el tránsito	0.55	0.75	0.50	0.65	0.45	0.65	0.45	0.60
ASFALTO o ALQUITRÁN	Nuevo – liso	0.80	1.20	0.65	1.00	0.50	0.80	0.45	0.75
ASFALTO o ALQUITRÁN	Usado	0.60	0.80	0.55	0.70	0.45	0.70	0.40	0.65
ASFALTO o ALQUITRÁN	Pulimentado por el tránsito	0.55	0.75	0.45	0.65	0.45	0.65	0.40	0.60
ASFALTO o ALQUITRÁN	Con exceso de alquitrán	0.50	0.60	0.50	0.60	0.30	0.60	0.25	0.55
ADOQUÍN	Nuevo – liso	0.75	0.95	0.60	0.85	0.50	0.75	0.45	0.70
ADOQUÍN	Pulimentado por el tránsito	0.60	0.80	0.55	0.75	0.40	0.70	0.40	0.60
PIEDRA COMPACTA	Nuevo – liso	0.75	1.00	0.70	0.90	0.65	0.90	0.60	0.85

Fuente: (Procedimiento para la estimación del coeficiente de fricción neumático-vía, 2020)

2.2.12. Discos de freno

Generalmente instalado en las ruedas delanteras, aunque hay excepciones, es un elemento metálico que ayuda al frenado del automóvil. El frenado de alta carga puede elevar la temperatura del disco hasta 600 °C, múltiples estudios han revelado que dicho sobrecalentamiento puede provocar el desvanecimiento de los frenos, un mayor desgaste del par de fricción, la conificación del disco de freno y el agrietamiento por fatiga térmica. (Role of cross-drilled holes in enhanced cooling of ventilated brake discs, 2015)

2.2.13. Clasificación de los discos de freno

2.2.13.1. Disco sólido

No tienen ventilación de ningún tipo, lo que les impide disipar el calor cuando se utiliza el freno. Están fabricados en hierro, lo que los hace resistentes y permite su uso en sistemas de frenado.



Ilustración 23-2: Disco de freno solido

Fuente: (GUAÑANA, 2021).

2.2.13.2. Disco con ventilación

Consta de discos de acero separados por aletas para ventilación y un aligerado adicional al frenar. Las aletas pueden ser inclinadas, rectas o helicoidales.



Ilustración 24-2: Disco de freno ventilado

Fuente: (GUAÑANA, 2021)

2.2.13.3. Disco perforado

La forma y ubicación de las perforaciones permiten ventilar los gases generados durante el frenado. Debido a su forma, es menos capaz de disipar el calor. Su fabricación se realiza por fusión y alto contenido en carbono.



Ilustración 25-2: Disco de freno perforado

Fuente: (GUAÑANA, 2021)

2.2.13.4. Disco ranurado

Las ranuras en el disco permiten que el gas escape como un disco perforado, además de limpiar la pastilla y reducir la vibración (GUAÑANA, 2021 pág. 33).



Ilustración 26-2: Disco de freno ranurado

Fuente: (GUAÑANA, 2021)

2.2.14. Líquido de frenos

El líquido de frenos es el elemento activo del circuito de freno y transmite la presión entre la bomba y el caliper. Éste tiene que cumplir ciertos requisitos para que su función se realice con seguridad y eficacia (DOMINGUEZ, y otros, 2018 pág. 266).

Tabla 2-2: Características del líquido de frenos.

Comprobación	FMVSS 116				SAE J1703
	DOT 3	DOT 4	DOT 5	DOT 5.1	11.1983
Punto de ebullición en seco en °C (min)	205	230	260	270	205
Punto de ebullición en húmedo en grados centígrados	140	155	180	180	140
Viscosidad en frío a -40 °C, en mm^2/s	1500	1800	900	900	1800

Fuente: (DOMINGUEZ, y otros, 2018)

Las normas que clasifican a los líquidos de frenos son muy parecidas entre sí. Actualmente, la más empleada es la regulada por el *Department of Transportation* (DOT) que agrupa las FMVSS116.

2.3. Conceptos de fórmulas para realizar los cálculos de frenado

2.3.1. Energía cinética

Es la energía que un cuerpo tiene debido a su movimiento, depende de la masa y la velocidad que este cuerpo alcanza en determinado tiempo de su trayecto.

$$E_c = \frac{1}{2} * m * v^2$$

Donde:

E_c : energía cinética del vehículo [J]

m : masa total [kg]

v : velocidad máxima $\left[\frac{m}{s}\right]$

2.3.2. Trabajo

El trabajo por realizar para absorber la energía del frenado se la calcula mediante la siguiente ecuación.

$$T = F_f * d$$

Donde:

T : Trabajo [Nm]

F_f : Fuerza de fricción [N]

d : distancia de frenado [m]

Para encontrar la fuerza de fricción de un cuerpo se multiplica el coeficiente de rozamiento estático por la fuerza normal.

$$F_f = N * \mu_s$$

Donde:

F_f : fuerza de fricción [N]

N : fuerza normal [N]

μ_s : coeficiente de rozamiento estático [adimensional]

Para el cálculo la fuerza normal se considera que el go kart está circulando en una pista plana. Aplicando la primera ley de Newton, la sumatoria de fuerzas en el eje Y igual a 0 porque no existe desplazamiento en el eje vertical, el movimiento es sobre el eje horizontal.

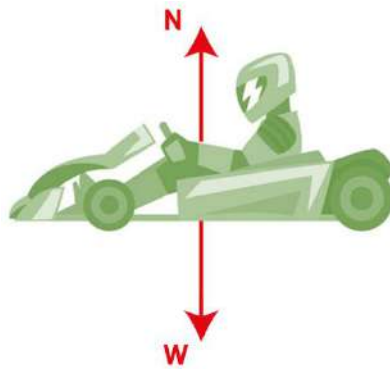


Ilustración 27-2: Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que actúan en el eje Y

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$N - W = 0$$

$$N = W$$

$$N = m * g$$

Donde:

N : fuerza normal [N]

W : fuerza del peso [N]

m : masa total [kg]

g : gravedad de 9,81 $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

2.3.3. Distancia de frenado

Es la distancia que recorre el vehículo desde que se aplican los frenos hasta que el vehículo se detiene por completo. La distancia de frenado depende de factores como la fuerza aplicada al

pedal del freno, el agarre de los neumáticos, la velocidad del vehículo. Para calcular la distancia precisa solo se pueden obtener mediante mediciones directas, ya que algunos factores son variables y difíciles de determinar como la fuerza y velocidad del viento. Sin embargo, en el presente proyecto se determina la distancia de frenado mediante cálculos de dinámica vehicular. Para hallar la distancia de frenado se despeja de la igualdad de la energía cinética con el trabajo que realiza la fuerza de fricción para detener el prototipo.

$$E_c = T$$

$$\frac{1}{2} * m * v^2 = F_f * d$$

Despejando la distancia de frenado de la ecuación anterior:

$$d = \frac{\frac{1}{2} * m * v^2}{F_f}$$

Remplazando la fuerza de fricción

$$d = \frac{\frac{1}{2} * m * v^2}{m * g * \mu_s}$$

La ecuación final para el cálculo de la distancia de frenado es la siguiente.

$$d = \frac{v^2}{2 * g * \mu_s}$$

2.3.4. Coeficiente de rozamiento dinámico entre el disco y pastillas de freno

El material de fricción no debe tener defectos tales como deformaciones, grietas, marcas y oxidación de partes metálicas u otros defectos que afecten el funcionamiento normal del sistema de frenos.

Tabla 3-2: Coeficiente de rozamiento de las pastillas

Letra del código	Coeficiente de fricción
C	$\mu \leq 0,15$
D	$0,15 < \mu \leq 0,25$

E	$0,25 < \mu \leq 0,35$
F	$0,35 < \mu \leq 0,45$
G	$0,45 < \mu \leq 0,55$
H	$\mu > 0,55$
Z	Sin clasificación

Fuente: (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2012)

De la tabla 3-2 se toma un coeficiente de fricción de $u_D = 0,4$ según la normativa de la INEN.

2.3.5. Presión del circuito de freno

Los frenos hidráulicos de los vehículos se basan en el principio de Pascal. Cuando se pisa el freno, el líquido del cilindro maestro transmite la presión recibida a los cilindros de cada rueda, mismos que presionan las pastillas de freno contra el disco de las ruedas impidiendo que sigan girando (PÉREZ MONTIEL, 2015 pág. 271).

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

P: Presión del circuito [Pa]

F: Fuerza aplicada en el émbolo [N]

A: Área en el émbolo [m²]

2.3.6. Carga de Euler

La carga de Euler o carga crítica de pandeo es la máxima carga que es capaz de soportar una pieza conservando su estabilidad, una vez superado ese límite la pieza sufrirá pandeo a lo largo de su longitud y es determinada por la siguiente ecuación.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{Le^2}$$

Donde:

P_{cr}: Carga crítica [N]

E: Modulo de elasticidad del material [Pa]

I: Inercia [m⁴]

Le: Longitud efectiva de la columna [m]

Para el remplazo en la fórmula de la longitud efectiva se hace referencia la siguiente ilustración dependiendo del extremo ya sea articulado o fijo.

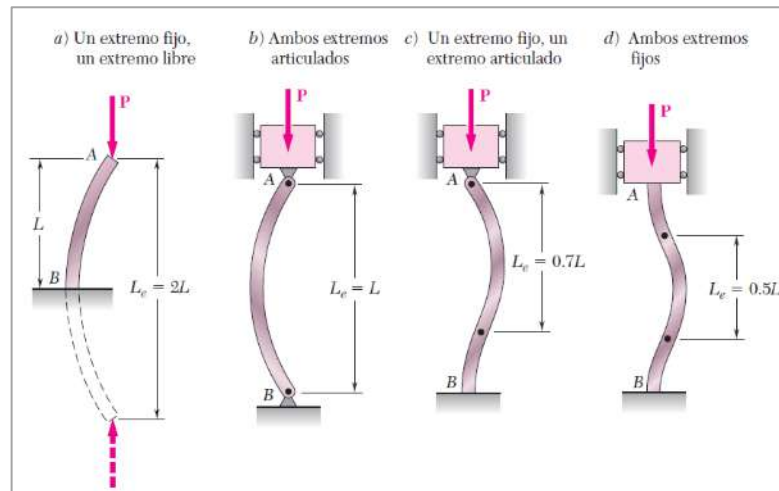


Ilustración 28-2: Longitudes efectivas para varias condiciones de extremo

Fuente: (BEER, y otros, 2013)

Para valores cuando $P < P_{cr}$ el sistema es estable por lo tanto la columna no se pandeara y para valores donde $P > P_{cr}$ el sistema no es estable por lo tanto la columna se pandeara.

2.3.7. Aceleración

Según un artículo publicado en 2017 titulado *The Design and Construction of a Battery Electric Vehicle Propulsion System* la aceleración promedio de un prototipo go kart es de $2,33 \text{ m/s}^2$ con baterías de LiPeO_4 que alcanza una velocidad de 80 km/h en un rango de 12 km , dicha aceleración nos servirá para realizar un estudio sobre la columna de dirección.

2.3.8. Software CAD/CAE

El CAD (*Computer Aided Design*) es una técnica de análisis, una manera de crear un modelo del comportamiento de un producto aun antes de que se haya construido (Diseño asistido por computador, 2006).

Las características generales que deben tener el software CAD/CAE son:

- Simulaciones dinámicas con características especiales de visualización de procesos y resultados (Diseño asistido por computador, 2006 pág. 8).
- Capacidad del software de generar soluciones óptimas según los tipos de aplicación (Diseño asistido por computador, 2006 pág. 8).
- Desarrollo de sistemas virtuales dentro de un entorno, permitiendo en muchos casos eliminar los prototipos físicos (Diseño asistido por computador, 2006 pág. 8).

- Ingeniería concurrente on-line (Diseño asistido por computador, 2006 pág. 8).
- Arquitectura abierta del software (Diseño asistido por computador, 2006 pág. 8).
- Ingeniería inversa (Diseño asistido por computador, 2006 pág. 8).
- Intercambio estandarizado de formatos de archivos para el trabajo multiplataforma (Diseño asistido por computador, 2006 pág. 8).
- Pantalla de trabajo (Workspace) compartido con diferentes aplicaciones y programas adicionales (Diseño asistido por computador, 2006 pág. 8).

CAE simula bajo condiciones aparentemente reales, el efecto de variables sobre el elemento diseñado con el fin de llegar a una forma geométrica optimizada para ciertas condiciones. Es un modelado interactivo tridimensional en tiempo real con análisis mediante pruebas no destructivas (Diseño asistido por computador, 2006 p. 11).

Diseñadores, ingenieros, industriales, arquitectos, etc. Utilizan los programas CAE para verificar la factibilidad de distintas alternativas de diseño. Cuando el CAE se utiliza correctamente, se pueden obtener en poco tiempo soluciones eficientes con un alto grado de confianza (Diseño asistido por computador, 2006 p. 11).

2.3.9. Análisis por elementos finitos (FEA)

Es considerado como una de las herramientas más potentes y probadas para la solución de problemas de ingeniería y ciencia aplicada, es de uso indispensable, los errores que se puedan tener comúnmente ocurren en la definición del problema y en el uso inapropiado de las condiciones de frontera. (Diseño asistido por computador, 2006 p. 11)

2.3.9.1. Procedimiento para el cálculo de elementos finitos

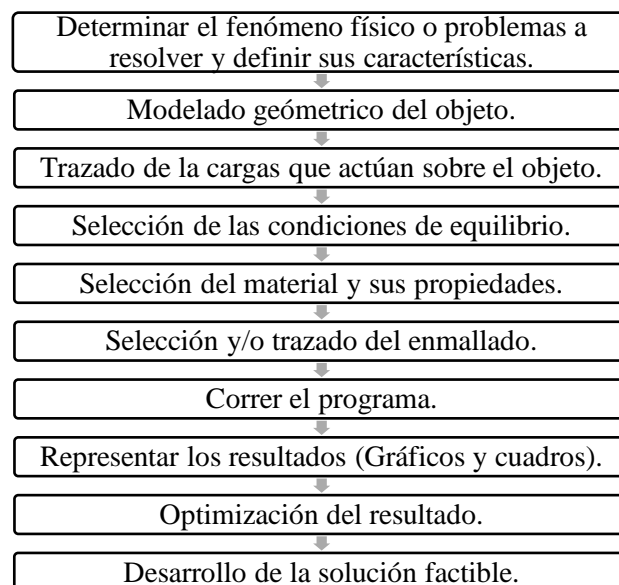


Ilustración 29-2: Proceso para el análisis de elementos finitos

Fuente: (Diseño asistido por computador, 2006)

2.3.10. Convección

Constituye el mecanismo de transferencia de calor a través de un fluido, en presencia de un movimiento masivo de éste. (CENGEL, y otros, 2020 pág. 355)

Se transforma la energía en calor por convección, debido que hay un cuerpo estático y el otro es dinámico, el movimiento entre estos dos cuerpos produce la transferencia de calor.

2.4. Marco legal (Normas, leyes y reglamentos)

Según la normativa internacional de la FIA (Federación Internacional del Automovilismo) en colaboración con la CIK (Comisión Internacional de Kartismo) y la Comisión de Campeonatos Eléctricos y Nuevas Tecnologías de la FIA acordaron cooperar lo más estrechamente posible con el objetivo de lograr un máximo de reglas técnicas idénticas tanto para go kart de combustión interna y los go kart eléctricos (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 pág. 6).

En consecuencia, por consentimiento mutuo el encargado de las regulaciones técnicas para karts a gasolina será la CIK la cual se encuentra publicadas en el documento de Regulaciones Técnicas de Karting y para las regulaciones técnicas de los karts eléctricos será regulada por la Comisión de Campeonatos Eléctricos y de la Nueva Energía de la FIA (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 pág. 6).

Por lo tanto, la Comisión de Campeonatos Eléctricos y de las Nuevas Energías integrará los artículos que sean posibles del Reglamento Técnico de Karting de CIK (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 pág. 6).

Según el artículo 2 de las prescripciones generales de la Regulación Técnica para Karts Eléctricos cualquier modificación se debe ajustar a las normas específicas en la que se va a inscribir el go kart (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 pág. 11).

El diseño e implementación debe regirse a ciertas características como:

2.4.1. Tipos de batería

Los karts eléctricos utilizados en competición se dividen en los siguientes Grupos:

Grupo 1: Válido para baterías de Plomo-Ácido (Pb-Ácido), y Níquel-Hierro (Ni-Fe)

Grupo 2: Válido para baterías de Níquel-Zinc (Ni-Zn), Níquel-Metal-Hidruro (Ni-MH), Litio-Ion (Li-Ion), y Litio-Metal-Polímero (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 pág. 6).

2.4.2. Pesos según el tipo de batería

Grupo 1

Karts eléctricos con baterías de Plomo-Ácido (Pb-Ácido), y Níquel-Hierro (Ni-Fe):

Peso mínimo: chasis de kart de 70 kg, 230 kg total (kart, baterías y conductor) (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 pág. 15).

Peso máximo: 270 kg total (kart, baterías y conductor) (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 pág. 15).

Grupo 2

Karts eléctricos con baterías de Níquel-Zinc (Ni-Zn), Níquel-Metal-Hidruro (Ni-MH), Litio-Ion (Li-Ion) y Litio-Metal-Polímero:

Peso mínimo: chasis de kart de 60 kg, 175 kg total (kart, baterías y conductor) (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 pág. 15).

Peso máximo: 185 kg total (kart, baterías y conductor) (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 pág. 15).

Dependiendo de la composición química del grupo 1 o 2 el peso de la batería se la clasifica de la siguiente manera:

Tabla 4-2: Peso máximo de la batería de tracción dependiendo de la composición química

Grupo 1		Grupo 2	
Célula química	Máximo peso a partir 01-01-2020	Célula química	Máximo peso a partir 01-01-2020
Pb-acido	90 [kg]		
Ni-MH	50 [kg]	Ni-MH	75 [kg]
Ni-Zn	54 [kg]	Ni-Zn	81 [kg]
Ni-Fe	73 [kg]	Ni-Fe	110 [kg]
Li-Ion	15 [kg]	Li-Ion	22 [kg]
Li-Po	15 [kg]	Li-Po	22 [kg]
LiFePO4	29 [kg]	LiFePO4	44 [kg]

Fuente: (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 pág. 28)

2.4.3. *Peso mínimo*

El peso mínimo del kart eléctrico es el peso real del kart vacío. Todos los tanques de líquido (por ejemplo, lubricación, enfriamiento y frenado) deben estar en su nivel normal según lo definido por el fabricante. Los karts eléctricos deben pesar al menos el peso que figura en el pasaporte técnico (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 pág. 7) .

2.4.4. *Eje posterior*

El eje posterior (eje) debe tener un diámetro exterior máximo de 50 mm y un espesor de pared mínimo de 1,9 mm en todos los puntos. Si se utiliza un motor eléctrico, el espesor del eje posterior debe ser en todos los puntos (excepto en los alojamientos de chaveta) como mínimo:

Tabla 5-2: Equivalencias acorde a los diámetros externos

Diámetro externo máximo [mm]	Espesor mínimo [mm]
50	1.9
49	2
48	2
47	2.1
46	2.2
45	2.3
44	2.4
43	2.5
42	2.6
41	2.8
40	2.9

Fuente: (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 p. 13)

2.4.5. *Frenos*

Los frenos deben estar homologados por el CIK-FIA, deben ser hidráulicos, el control del freno (el vínculo entre el pedal y la(s) bomba(s)) debe duplicarse (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 p. 19).

Los discos de freno deben ser obligatoriamente de acero, acero inoxidable o hierro fundido.

Los dispositivos de frenado accionados por cable están prohibidos y se recomienda una luz de freno. Los discos de freno de carbono están prohibidos (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 p. 19).

2.4.6. Dirección

Debe estar controlado por un volante cuyo borde continuo no incorpore ningún ángulo de reflejo en su forma básica. El 1/3 superior e inferior de la circunferencia pueden ser rectos o de radio diferente al resto de la rueda (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 p. 19).

Cualquier dispositivo montado en el volante no debe sobresalir más de 20 mm del plano por delante del volante y no debe tener bordes afilados (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 p. 19).

La columna de dirección debe tener un diámetro mínimo de 18 mm y un espesor de pared mínimo de 1,8 mm (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 p. 19).

Debe montarse con un sistema de clip de seguridad para la tuerca de sujeción del cojinete inferior. Para todas las categorías, la columna de dirección debe ser de acero magnético (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 p. 19).

2.5. Especificaciones técnicas

Distancia entre ejes mínimo 101 cm, máximo 107 cm (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 p. 14).

Vía: al menos 2/3 de la distancia entre ejes utilizada (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 p. 14).

Longitud total: 182 cm máximo sin carenado delantero y/o trasero (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 p. 14).

Ancho total: 140 cm máximo (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 p. 14).

Altura: 65 cm máximo desde el suelo, excluido la altura del asiento (Technical Regulations for Electric Karts, 2020 p. 14).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diagrama de etapas del proyecto

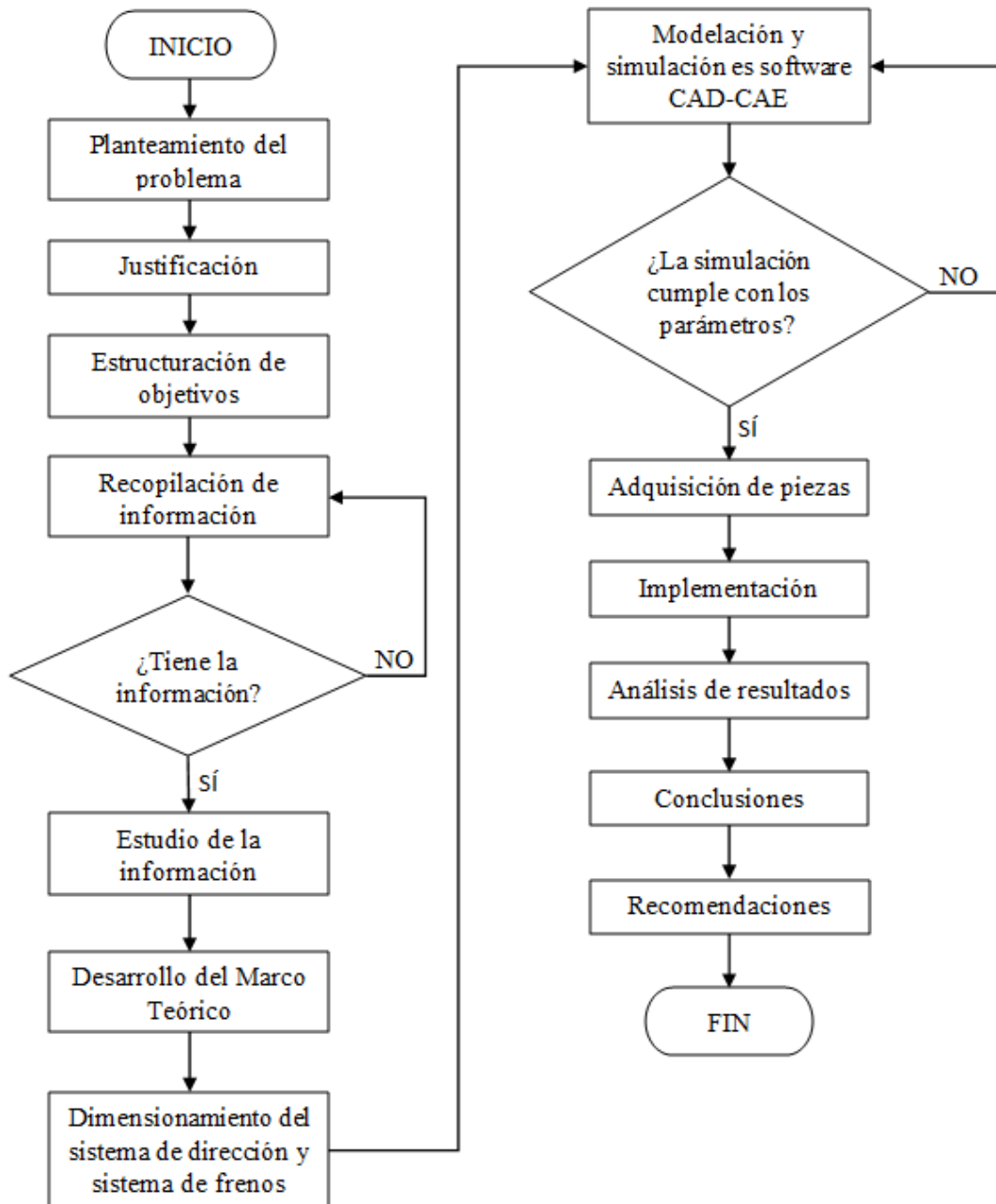


Ilustración 1-3: Diagrama de etapas del proyecto

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

3.2. Metodología de la investigación a realizar

Tabla 1-3: Metodología a realizar

Objetivos	Preguntas	Metodología	Técnica	Herramientas
OE1: Obtener referencias bibliográficas relacionadas a sistemas de dirección y sistemas de frenos para go kart eléctricos mediante la revisión de artículos de alto impacto y normas internacionales.	P1: ¿Qué es el sistema de dirección y cuál es su finalidad en el go kart? P2: ¿Qué es el sistema de frenos y cuál es su finalidad en el go kart?	Investigación bibliográfica por medio del método deductivo.	-Seleccionar información.	-Artículos científicos -Libros digitales -Trabajos desarrollados de titulación
OE2: Seleccionar el sistema de dirección mediante la geometría de Ackerman para un chasis homologado y modificado para go kart eléctrico según la norma CIK/FIA.	P1: ¿Qué sistema de dirección se necesita para la configuración del chasis? P2: ¿Qué parámetros considero para aplicar la geometría de Ackerman en el sistema de dirección?	- Para la selección del sistema de dirección se parte de los conceptos particulares para llegar a hechos generales utilizando el método inductivo.	-Dimensionamiento del sistema de dirección sobre el chasis del go kart. - Aplicar medidas de ángulos para la geometría de Ackerman.	- Herramientas de medición
OE3: Dimensionar aplicando dinámica vehicular un sistema de frenos de disco para un prototipo de go kart eléctrico a través de cálculos y simulación térmica por el método de elementos finitos.	P1: ¿Qué cálculos se necesita para el dimensionamiento de cada una de las partes del sistema de frenos? P2: ¿Qué sistema de freno se necesita para la configuración del chasis? P3: ¿Qué software es apropiado para realizar el modelado y simulación?	- Para la selección del sistema de frenos se parte de los conceptos particulares para llegar a una conclusión general aplicando el método inductivo. -Para simular mediante software CAE se utiliza el método analítico en que se toma el disco y las pastillas de freno para realizar su estudio.	-Dimensionamiento del sistema de frenos sobre el chasis de go kart. - Aplicar cálculos de dinámica vehicular en las distintas variables del frenado. -Recopilación de medidas del disco de frenos. -Utilizar software para modelación y simulación.	- Herramientas de medición - Computador - Software de modelado CAD - Software de simulación CAE
OE5: Implementar el sistema de dirección y sistema de frenos en	P1: ¿El sistema de dirección brinda	Para la implementación del sistema de dirección y	-Ubicación y acoplamiento de las	-Herramientas mecánicas

un go kart eléctrico mediante una selección previa de componentes y realizar una hoja de control.	confort y seguridad al conducir el go kart? P2: ¿El sistema de frenos brindará seguridad en la competencia de go kart?	sistema de frenos se utiliza el método sintético en el cual se integra cada uno de sus componentes para estudiar en su totalidad.	piezas de cada uno de los sistemas.	
---	---	---	-------------------------------------	--

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

3.3. Desarrollo del proyecto

3.3.1. Cronograma de actividades

Tabla 2-3: Cronograma de actividades

Actividades	Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				R. Acad. Enero			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Planteamiento del problema de la investigación	X																			
Redacción del Capítulo I		X	X																	
Investigación bibliográfica sobre el sistema de dirección				X																
Investigación bibliográfica sobre el sistema de frenos					X															
Análisis de la información y redacción del Capítulo II						X														
Dimensionamiento del sistema de dirección y sistema de frenos							X													
Establecimiento de recursos humanos y materiales								X												
Modelación y simulación mediante software CAD – CAE									X											
Redacción del Capítulo III										X										
Redacción del Capítulo IV											X									
Adquisición de piezas para el sistema de dirección y sistema de frenos												X								
Implementación del sistema de dirección en el chasis del go kart																X				
Implementación del sistema de frenos en el chasis del go kart																	X			
Redacción de conclusiones y recomendaciones																			X	
Presentación final																				X

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

3.3.2. Recursos y materiales

3.3.2.1. Presupuesto

Tabla 3-3: Costos directos

Material	Cantidad	Costo unitario [\$]	Costo Total [\$]
Volante de dirección	1	30	30
Columna de dirección	1	55	55
Rótulas y varillaje de dirección	2	35	70
Puntas de eje	2	48	96
Bomba de freno	1	55	55
Mordaza	1	85	85
Pastillas de freno de ferodo	1 juego	15	15
Cañerías	1	30	30
Eje posterior	1	120	120
Disco de freno hiperventilado	1	100	100
Varilla de freno	1	30	30
Rines y neumáticos	4	75	300
Líquido de freno DOT 4	1 frasco (250 ml)	4	4
Manzanas de ruedas delanteras	2	50	100
Chumaceras	2	100	200
Manzanas de ruedas posteriores	2	75	150
Porta disco	1	30	30
Chavetas	3	15	45
		TOTAL	1515

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

Tabla 4-3: Costos indirectos

Gastos	Ciudad	Cantidad	Costo unitario [\$]	Costo total [\$]
Transporte	Ambato	2	3	6
	Latacunga	4	7	28
Total				34

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

Tabla 5-3: Costo total

Costos	Costo total [\$]
Costos directos	34
Costos indirectos	1515
Total, de costos	1549

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

3.3.2.2. Talento Humano

Tabla 6-3: Especificaciones de talento humano

Talento Humano	Especificaciones
Director	Realiza el seguimiento de los avances en el proyecto de investigación, tanto en la parte técnica y la redacción del trabajo de titulación Dar recomendaciones para mejorar el trabajo.
Asesor	Realizar el seguimiento del trabajo escrito antes, durante y después de la redacción de cada parte del avance. Recomendaciones para los avances de la parte técnica.
Investigadores	Recolección de información de diferentes fuentes como trabajos de titulación con temas similares al tema de trabajo de titulación, libros, revistas y artículos científicos. Redactar en documento el proceso de realización del proyecto, conceptos, fórmulas, para lograr la completa realización de los objetivos. Realizar la parte técnica, de la implementación del sistema de dirección y sistema de freno del go kart.

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

3.3.2.3. Equipos y materiales

Tabla 7-3: Equipos y herramientas utilizados

Ítem	Proveedor	Descripción	Observación
1	Dewalt	Taladro de banco de 1 HP	
2	Stanley	Torquimetro	
3	Mitutoyo	Calibrador digital - pie de rey	
4	Stanley	Esmeril de banco de ½ HP	
5	Stanley	Flexómetro	
6	Husky	Caja de herramientas de 92 piezas	
7	Dewalt	Amoladora angular, 4-1/2 pulgadas	
8	Somet	Herramienta para medir ángulos (goniómetro)	

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

Tabla 8-3: Materiales utilizados

Ítem	Descripción	Cantidad	Observaciones
1	Guaípe	1 lb	
2	Lija superfina de 500 granos	1	
3	Detergente de limpieza	Funda de 250 g	

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

3.3.3. Cálculos del sistema de dirección

3.3.3.1. Cálculo de la geometría de Ackerman

El dimensionamiento e implementación de cada uno de los elementos del sistema de dirección se han realizado con las medidas correspondientes en base a la configuración del chasis del go kart en el cual se realizará la implementación.

3.3.3.2. Ángulo externo e interno mediante software CAD

El ángulo y radio de giro se determinan geoméricamente mediante un programa CAD o mediante fórmulas matemáticas. En este trabajo se utilizaron las dos formas mencionadas para validar los resultados.

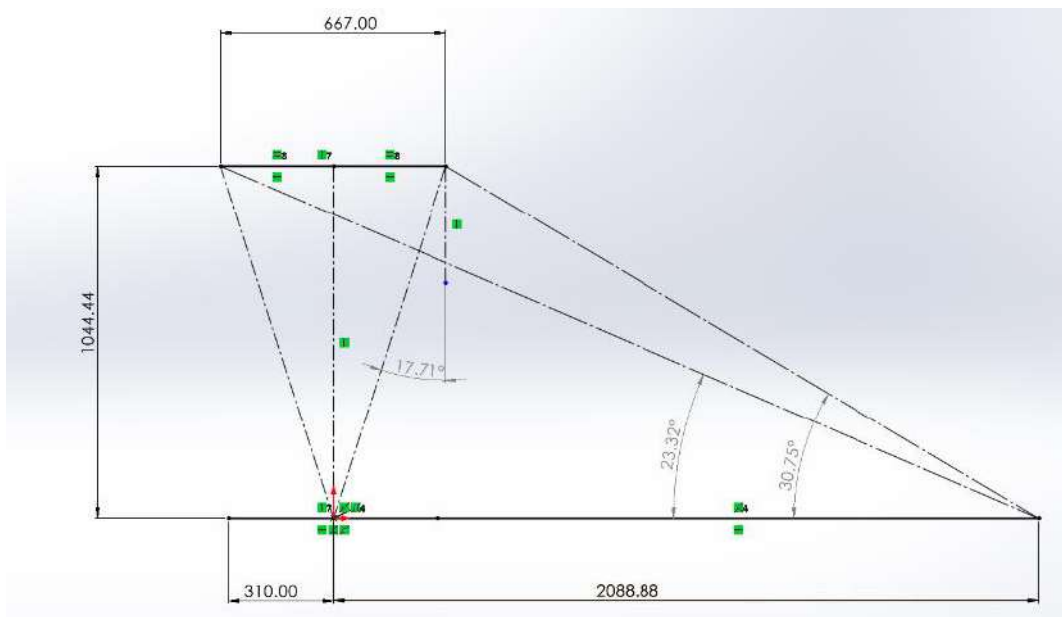


Ilustración 2-3: Determinación del ángulo interno y externo según el radio de giro en software CAD.

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

3.3.3.3. Cálculos matemáticos de Ackerman

Datos:

L = distancia entre ejes

b = ancho frontal

δ_i = ángulo interno

δ_e = ángulo externo

θ = ángulo del trapecio

Tabla 9-3: Valores de geometría del sistema de dirección

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
Ancho frontal	B	667	mm
Distancia entre ejes	L	1044,44	mm
Radio de giro	R_g	2088,88	mm

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

Determinar las condiciones de Ackerman

3.3.3.4. Ángulo interno o máximo

$$\delta_i = \tan^{-1} \left(\frac{L}{R_g - \frac{b}{2}} \right)$$

$$\delta_i = \tan^{-1} \left(\frac{1044,44 \text{ mm}}{2088,88 \text{ mm} - \frac{667 \text{ mm}}{2}} \right)$$

$$\delta_i = 30,75^\circ$$

3.3.3.5. Ángulo externo

$$\delta_0 = \tan^{-1} \left(\frac{L}{R_g + \frac{b}{2}} \right)$$

$$\delta_0 = \tan^{-1} \left(\frac{1044,44 \text{ mm}}{2088,88 \text{ mm} + \frac{667 \text{ mm}}{2}} \right)$$

$$\delta_0 = 23,32^\circ$$

3.3.3.6. Ángulo de orientación de las manguetas

La ecuación permitió calcular el valor numérico del ángulo de alineación de los brazos de la mangueta de dirección, en función de las características del chasis de go kart.

$$\tan(\theta) = \frac{\frac{d}{2}}{L} = \frac{d}{2L}$$

3.3.3.7. Ángulo de brazo de la mangueta

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{d}{2L}\right)$$
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{667 \text{ mm}}{2 * 1044,44 \text{ mm}}\right)$$
$$\theta = 17,71^\circ$$

3.3.3.8. Ángulo de caída o camber

El camber es ligeramente positivo, tomando en cuenta que el chasis es flexible y al momento de sentarse el piloto, quede en camber neutral. El ángulo de inclinación de camber se mide con respecto al eje vertical, con vista desde la parte delantera o posterior del kart.



Ilustración 3-3: Medición del ángulo de caída o camber.

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

En cuanto al chasis homologado, se realizó la medición del ángulo de caída con el goniómetro, cuya medida es de 1° de inclinación o camber positivo, esta configuración se puede variar en otros tipos de chasis que viene con la disposición de hacerlo, pero en esta disposición no hay esta posibilidad.

3.3.3.9. *Ángulo de salida*



Ilustración 4-3: Medición del ángulo de salida

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

El ángulo de salida en el chasis homologado según la configuración marca Birel es de 11° , se recalca que no se puede hacer ninguna modificación debido a que el chasis no tiene la posibilidad de modificación.

3.3.3.10. *Ángulo de avance o caster*

Se utiliza avance positivo porque la tracción es posterior.

Los ángulos de avance dependiendo de las condiciones de suelo son:

- Condición seca: 18°
- Condición húmeda: 23°

La posibilidad de modificar el ángulo de avance o caster en diferentes configuraciones de chasis es posible, sin embargo, en el chasis homologado Birel utilizado para este trabajo es fijo y es de 18° , ángulo medido mediante la utilización de goniómetro.



Ilustración 5-3: Medición del ángulo de avance o caster.

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023



Ilustración 6-3: Medida del ángulo de avance

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

3.3.4. Análisis estático de la columna de dirección

3.3.4.1. Ángulo de salida o pivote

La principal función es reducir el esfuerzo necesario en el volante para poder orientar las ruedas de dirección.

El par de torsión para vencer es el creado por el rozamiento del neumático, es decir, el producto de $F_r * d$. Cuanto menor sea el valor de distancia d menor será el par y menor el esfuerzo que se aplique en el volante.

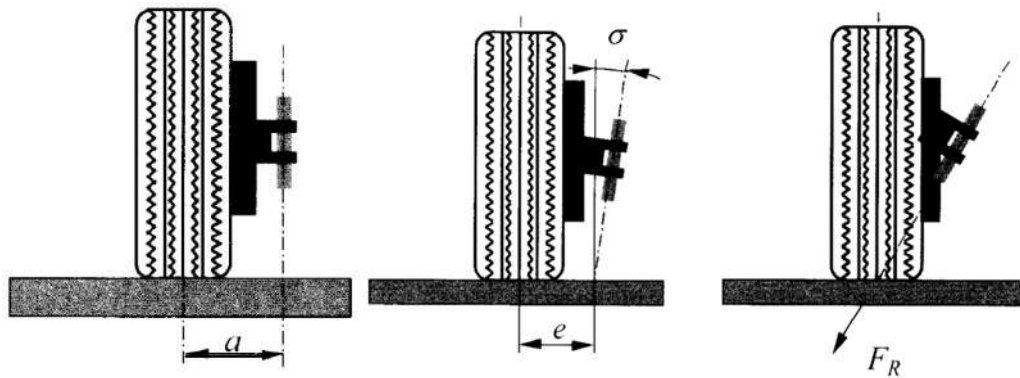


Ilustración 7-3: Medida de la distancia que produce par de fuerzas

Fuente: (LUQUE, y otros, 2012)

Para encontrar la distancia ***d*** se lo realiza mediante software CAD, se toma en cuenta el diámetro del neumático delante que es de 10 in (254 mm) y el ancho de 5 in (127 mm). Además, la distancia entre el perno rey y el lado vertical interno del neumático de 90 mm. El ángulo de salida del pivote es de 11°.

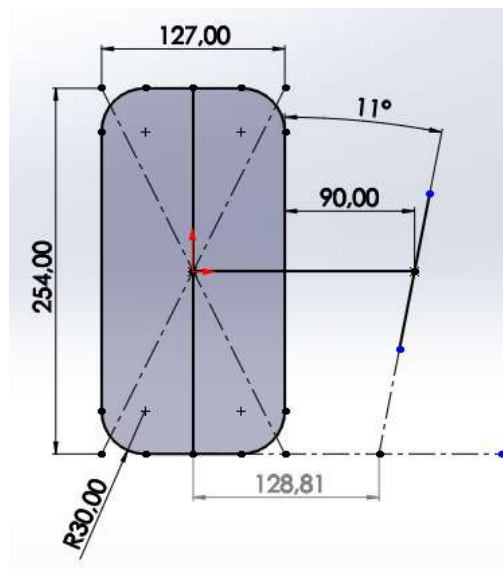


Ilustración 8-3: Distancia entre eje vertical del neumático y eje pivote con el suelo en mm

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

3.3.4.2. Par de torsión aplicado en la columna de dirección

$$T = N \cdot \mu \cdot d$$

Donde:

T: Par resistente a vencer para producir el giro del neumático

N: Peso en el eje delantero

μ: Coeficiente de rozamiento entre neumático y pista

d: Distancia del centro de contacto del neumático con el suelo y el eje de pivote (0,12881 m)

Para la mayoría de los go karts según (Wood, 2016) independientemente de su categoría, se recomienda que la distribución de pesos sea del 43 % a la parte frontal y 57 % a la parte posterior, por lo que para determinar el par de torsión se necesita el peso de la parte frontal quedando de la siguiente manera:

Peso total del go kart: 1814,85 N

Peso del eje delantero: $1814,85 \text{ N} \cdot 0,43 = 780,39 \text{ N}$

El coeficiente de rozamiento entre neumático y superficie de la pista = 0,7

Aplicando la fórmula para calcular el par de torsión en las ruedas

$$T = 780,39 \text{ N} \cdot 0,7 \cdot 0,12881 \text{ m}$$

$$T = 70,37 \text{ Nm}$$

Fuerza que debe ejercer las barras de acoplamiento o varillajes sobre la mangueta para vencer el par resistente sobre el pivote

$$F_{vr} = \frac{T}{d_{mn}}$$

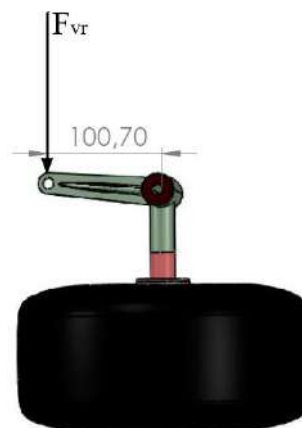


Ilustración 9-3: Distancia de la mangueta con la unión del varillaje en mm

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

Donde

F_{vr} : Fuerza sobre el extremo de la mangueta

d_{mn} : distancia de la mangueta $\rightarrow 100,70 \text{ mm}$

$$F_{vr} = \frac{70,37 \text{ Nm}}{0,1007 \text{ m}}$$

$$F_{vr} = 698,81 \text{ N}$$

Par de torsión aplicado en la columna de dirección

$$T_c = F_{vr} \cdot d_{col}$$

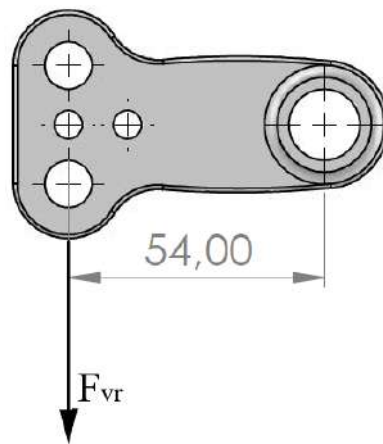


Ilustración 10-3: Distancia entre la columna de dirección con la unión del varillaje en mm

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

Donde:

d_{col} : Distancia de la columna al varillaje $\rightarrow 54 \text{ mm}$

T_c : par de torsion en la columna de dirección

$$T_c = 698,81 \text{ N} * 0,054 \text{ m}$$

$$T_c = 37,74 \text{ Nm}$$

3.3.4.3. Esfuerzo de torsión en la columna de dirección

La columna de dirección está sometida a esfuerzo cortante por el momento torsor, dicho par se lo calcula con la siguiente formula:

$$\tau_{torsión} = \frac{T_c * C_2}{\frac{\pi}{2} * (C_2^4 - C_1^4)}$$

Donde:

$C_2 =$ Radio externo de la columna de dirección

$C_1 =$ Radio interno de la columna de dirección

La columna de dirección posee un diámetro externo de 20 mm y diámetro interno de 15 mm.

$$\tau_{torsión} = \frac{37,74 \text{ Nm} * 0,01 \text{ m}}{\frac{\pi}{2} * (0,01^4 - 0,0075^4) \text{ m}^4}$$

$$\tau_{torsión} = 35146649,91 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cong 35,15 \text{ MPa}$$

Factor de concentración de esfuerzo cortante por torsión debido al cambio de sección

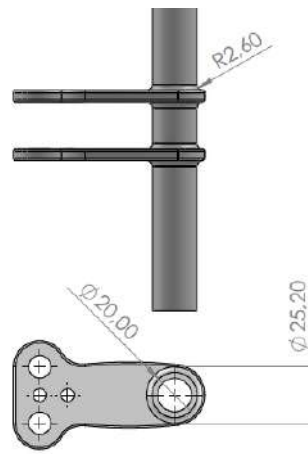


Ilustración 11-3: Diámetros y radio de curvatura de la columna de dirección en mm

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

$$\frac{D}{d} = \frac{25,20}{20} = 1,26$$

Tabla 10-3: Factor de concentración de esfuerzos K_t para un eje a torsión

$K_t \cong A \left(\frac{r}{d} \right)^b$		
donde:		
D/d	A	b
2.00	0.863 31	-0.238 65
1.33	0.848 97	-0.231 61
1.20	0.834 25	-0.216 49
1.09	0.903 37	-0.126 92

Fuente: (NORTON, 2011 pág. 999)

Los valores de A y b se obtienen mediante interpolación

$$\frac{A - 0,83425}{1,26 - 1,20} = \frac{0,84897 - 0,83425}{1,33 - 1,20} \rightarrow A = 0,84104$$

$$\frac{b - (-0,21649)}{1,26 - 1,20} = \frac{-0,23161 - (-0,21649)}{1,33 - 1,20} \rightarrow b = -0,22347$$

Reemplazando valores en la formula se tiene

$$K_t \cong A * \left(\frac{r}{d} \right)^b$$

$$K_t \cong 0,84104 * \left(\frac{2,60}{20} \right)^{-0,22347}$$

$$K_t \cong 1,32685581$$

Esfuerzo cortante por torsión máximo alcanzado en el punto crítico

$$\tau_{m\acute{a}x} = K_t * \tau_{torsión}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 1,32685581 * 35,15 \text{ MPa}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 46,63 \text{ MPa}$$

3.3.4.4. Factor de seguridad aplicando el criterio de Von Mises

$$\left(\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_z + \sigma_z^2 + 3\tau_{m\acute{a}x}^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{S_y}{n}$$

Donde:

σ : Esfuerzo normal por flexión (No existe en la columna de dirección)

S_y : Resistencia a la fluencia del material

n : Factor de seguridad

Despejando la fórmula del criterio de Von Mises para obtener el factor de seguridad, queda la siguiente forma:

$$n = \frac{S_y}{(3\tau_{m\acute{a}x}^2)^{\frac{1}{2}}}$$

El material de la columna de dirección es AISI 1045 HR

$$n = \frac{S_y}{(3\tau_{m\acute{a}x}^2)^{\frac{1}{2}}}$$
$$n = \frac{310 \text{ MPa}}{(3 * (46,63 \text{ MPa})^2)^{\frac{1}{2}}}$$
$$n = 3,83$$

3.3.4.5. Fuerza aplicada en el volante

$$F_{vol} = \frac{T_c}{r_{vol}}$$

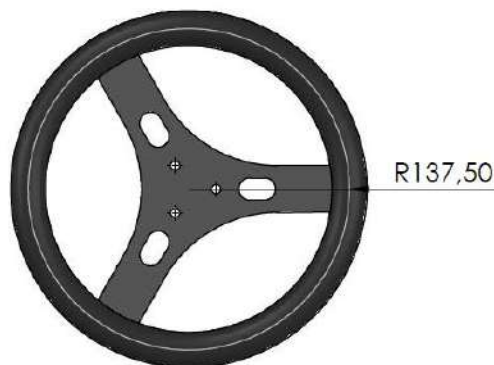


Ilustración 12-3: Radio del volante en mm

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

$$F_{vol} = \frac{37,74 \text{ Nm}}{0,1375 \text{ m}}$$

$$F_{vol} = 274,47 \text{ N}$$

3.3.4.6. Asignación de restricción y carga para simulación de la columna de dirección

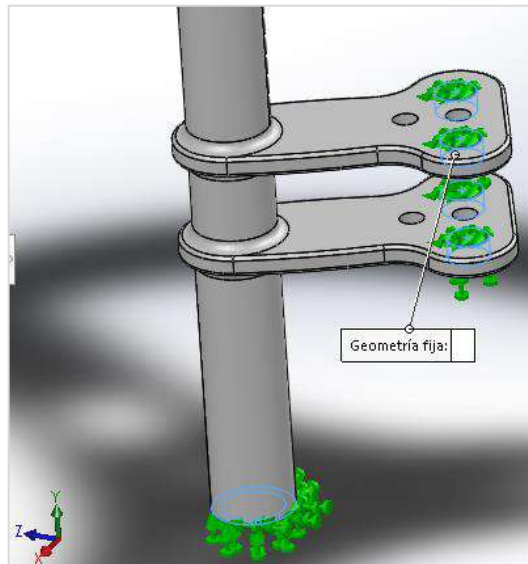


Ilustración 13-3: Asignación de la geometría fija

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

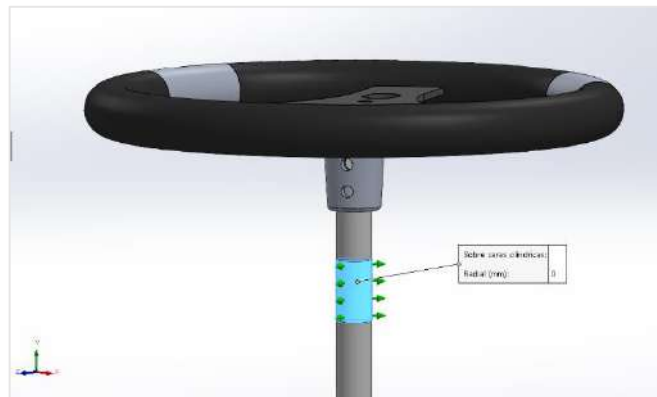


Ilustración 14-3: Asignación restricción de translación

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023



Ilustración 15-3: Asignación de la fuerza de torsión

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

3.3.4.7. Formula de Euler para columnas

Módulo de elasticidad del material: $E = 200 \text{ GPa}$

Inercia

$$I = \frac{\pi}{4}(r_e^4 - r_i^4)$$

r_e : radio externo $\rightarrow 10 \text{ mm}$

r_i : radio interno $\rightarrow 7,5 \text{ mm}$

$$I = \frac{\pi}{4}(10^4 - 7,5^4) \text{ mm}^4$$

$$I = 5368,93 \text{ mm}^4 \rightarrow 5,37 * 10^{-9} \text{ m}^4$$

L: Longitud de la columna de dirección $368 \text{ mm} = 0,368 \text{ m}$

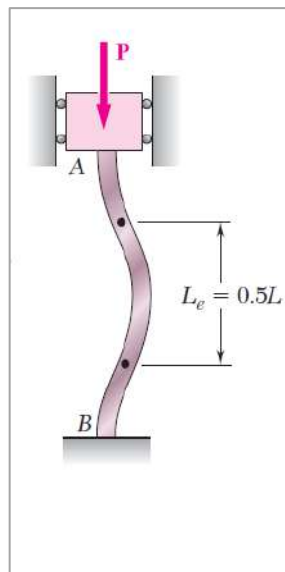


Ilustración 16-3: Valor k para la longitud efectiva

Fuente: (BEER, y otros, 2013 pág. 539)

K de diseño: 0,5

Remplazando en la ecuación de Euler

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{(K * L)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * 200 \text{ GPa} * 5,37 * 10^{-9} \text{ m}^4}{(0,5 * 0,368)^2}$$

$$P_{cr} = 313027,19 \text{ N} \rightarrow 313,03 \text{ kN}$$

Datos para calcular la fuerza crítica del piloto sobre el volante

$$m_p: 70 \text{ kg}$$

$$a: 2,33 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

La aceleración de $2,33 \text{ m/s}^2$ es un dato que se estima a partir de estudios realizados en Ecuador el cual el estimado de velocidad máxima a llegar es de 80 km/h con baterías de Ion Litio.

En cuestión de que se produjera un choque se debe analizar caso de que todo el peso del conductor va a ir dirigido hacia delante ya que sería el caso más crítico por la cual debemos hacer dicho análisis para verificar si la columna de dirección va a resistir, el ángulo utilizado es el que se mide según la disposición del chasis teniendo así un ángulo de 38° .

$$F = m_p * a$$

$$F = 70 \text{ kg} * 2,33 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 163,10 \text{ N}$$

$$F \cos \theta = 163,10 \text{ N} * \cos (38^\circ) = 128,52 \text{ N}$$

$$F \sin \theta = 163,10 \text{ N} * \sin (38^\circ) = 100,41 \text{ N}$$

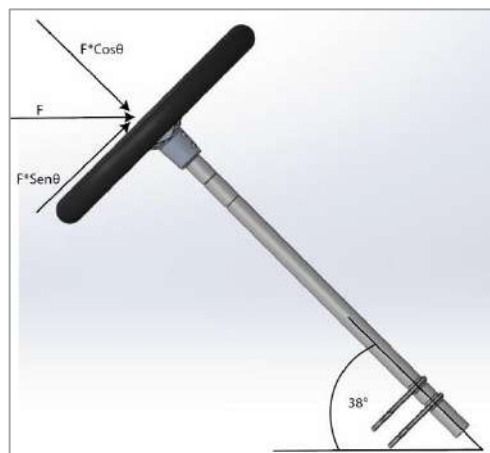


Ilustración 17-3: Descomposición de la fuerza

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

La fuerza que será utilizada para el análisis de pandeo es la que va en dirección a lo largo de la columna de dirección con un valor total de $128,52 \text{ N}$, dicho valor es menor a la carga crítica (P_{cr}) que tiene un valor de $313027,19 \text{ N}$, es decir se cumple que $F (P) < P_{cr}$, en conclusión, la columna de dirección es estable y no se pandeará.

3.4. Diseño del sistema de dirección

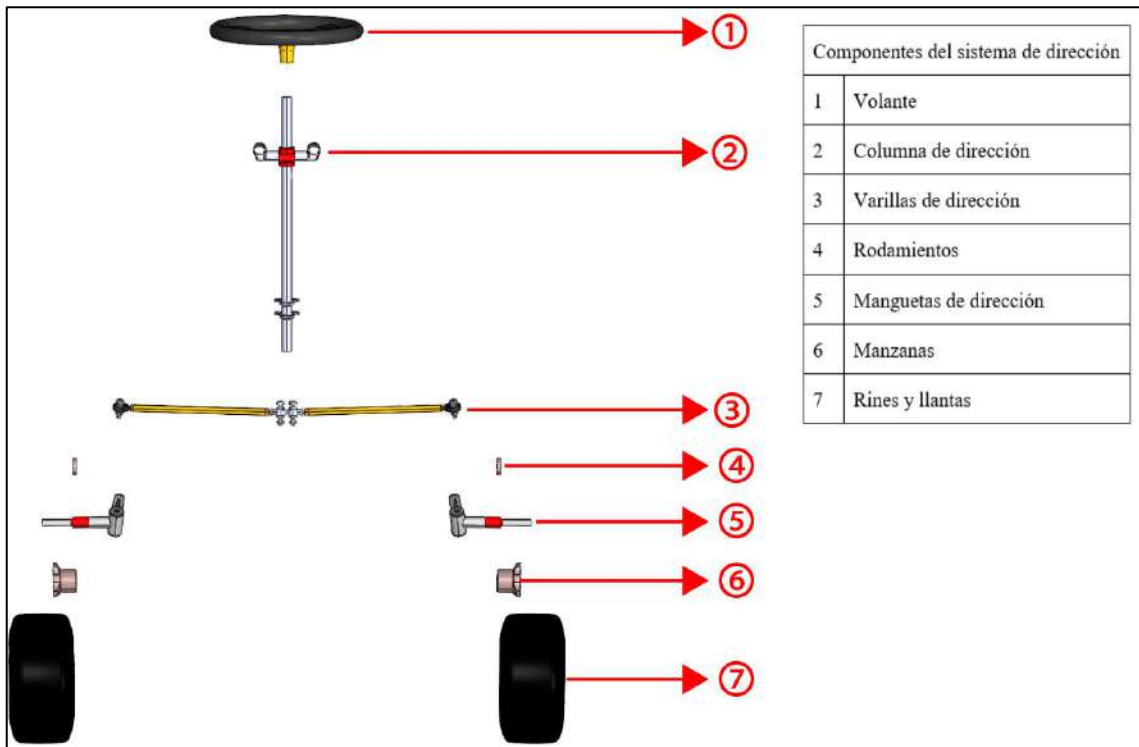


Ilustración 18-3: Componentes del sistema de dirección

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

La modelación de las piezas o elementos del sistema de dirección se realizó en software CAD, teniendo en cuenta los valores obtenidos en los cálculos de los ángulos y radio de giro. Hay que considerar un mínimo margen de error, ya que, las dimensiones establecidas a nivel de construcción pueden variar debido al proceso de los materiales en la construcción. Los planos que contienen los elementos del sistema de dirección se encuentran en anexos.

Para el dimensionamiento y modelación de cada uno de los elementos que conforman el sistema de dirección se consideró que sean estandarizados, tanto en dimensión como en material, debido a que puede darse caso de falla en algún elemento o pieza del sistema se pueda reemplazar con facilidad, recurriendo a catálogos o distribuidores de repuestos para dicho sistema.

3.5. Implementación del sistema de dirección

En la implementación del sistema de dirección se seleccionó el conjunto completo para la marca Birel, debido a que esta marca se encarga de fabricación de piezas homologadas que convenientemente es de la misma marca del chasis que será utilizado para la realizar este proyecto técnico.

Los componentes implementados fueron los siguientes:

- Volante de duraluminio con colchón de poliestireno y tapizado con símil cuero.
- Columna de dirección de acero cromada de 495 mm.
- Uniballes de acero 12.4 con centro de bronce y esferas de acero al cromo níquel.
- Barras de dirección de aluminio.
- Puntas de eje delanteras: acero al cromo níquel cromadas.
- Manzanas delanteras: magnesio.
- Suplementos plásticos: plástico del tipo polietileno de alta densidad.



Ilustración 19-3: Sistema de dirección implementado

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

3.5.1. Cálculos del sistema de frenos

El sistema de frenos del go kart fue diseñado para lograr el máxima rendimiento de frenado y proporcionar seguridad. Para el dimensionamiento del sistema de frenos se toma en cuenta la masa total la cual es la suma de la masa del go kart más la masa del piloto y la velocidad máxima que alcanza el prototipo.

Cálculos:

Datos.

$$v_{max} = 70 \text{ km/h}$$

$$u_s = 0,7$$

$$m_{gk} = 115 \text{ kg}$$

$$m_p = 70 \text{ kg}$$

$$R_{neu} = 0,1397 \text{ m}$$

3.5.1.1. Cálculo de velocidad

$$v = \frac{v_{max}}{3,6}$$

Donde:

v_{max} : velocidad máxima $\left[\frac{km}{h}\right]$

v : velocidad máxima $\left[\frac{m}{s}\right]$

$$v = \frac{70 \text{ km/h}}{3,6}$$

$$v = 19,44 \text{ m/s}$$

3.5.1.2. Cálculo de la masa total

$$m = m_{gk} + m_p$$

Donde:

m : masa total [kg]

m_{gk} : masa del go kart [kg]

m_p : masa del piloto [kg]

$$m = 115 \text{ kg} + 70 \text{ kg}$$

$$m = 185 \text{ kg}$$

3.5.1.3. Peso total

$$W = m * g$$

Donde:

W : Peso total [N]

g : gravedad 9,81 $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

$$W = 185 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W = 1814,85 \text{ N}$$

3.5.1.4. Distancia de frenado

$$d = \frac{v^2}{2 * g * \mu_s}$$

Donde:

d : distancia de frenado [m]

μ_s : coeficiente de rozamiento estático [adimensional]

$$d = \frac{\left(19,44 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2} * 0,7}$$
$$d = 27,52 \text{ m}$$

3.5.1.5. Desaceleración

$$a = g * \mu_s$$

Donde:

a : desaceleración $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

$$a = 9,81 \frac{m}{s^2} * 0,7$$
$$a = 6,867 \frac{m}{s^2}$$

3.5.1.6. Tiempo de frenado (t_{fr})

$$t_{fr} = \frac{v}{a}$$
$$t_{fr} = \frac{19,44 \frac{m}{s}}{6,867 \frac{m}{s^2}}$$
$$t_{fr} = 2,83 \text{ s}$$

3.5.1.7. Tiempo de reacción

Es el tiempo transcurrido desde que el piloto percibe la necesidad de frenar, hasta el momento que comienza a actuar sobre el pedal. En este tiempo el sistema de freno no funciona, la velocidad del kart no cambia y corresponde a la velocidad inicial de frenado. En la tabla 11-3 se muestran los resultados que se obtuvieron de numerosos ensayos en Estados Unidos a 1000 conductores. (MARTÍN, y otros, 2012 pág. 2)

Tabla 11-3: Tiempos de reacción en función de la edad

Edad	Tiempo de reacción en segundos
Menos de 20 años	0,58
De 20 a 29 años	0,58
De 30 a 39 años	0,58
De 40 a 49 años	0,60
De 50 a 59 años	0,61
De 60 años o más	0,63

Fuente: (MARTÍN, y otros, 2012)

Se seleccionó el tiempo de reacción de 0,58 segundos, para calcular la distancia (d_r) que recorre el go kart en este transcurso de tiempo.

$$d_r = v * t$$
$$d_r = 19,44 \frac{m}{s} * 0,58 s$$
$$d_r = 11,28 m$$

3.5.1.8. Fuerza de frenado

$$F_{fr} = m * a$$

Donde

F_{fr} : Fuerza de frenado [N]

$$F_{fr} = 185 kg * 6,867 \frac{m}{s^2}$$
$$F_{fr} = 1270,40 N$$

3.5.1.9. Par de frenado

$$M_{fr} = F_{fr} * R_{neu}$$

Donde

M_{fr} : Par de frenado [Nm]

$$M_{fr} = 1270,40 \text{ N} * 0,1397 \text{ m}$$

$$M_{fr} = 177,47 \text{ Nm}$$

3.5.1.10. Diámetro dinámico del disco (D_m)

$$D_m = \frac{M_{fr}}{F_{fr}}$$

$$D_m = \frac{177,47 \text{ Nm}}{1270,4 \text{ N}}$$

$$D_m = 0,140 \text{ m}$$

3.5.1.11. Área de contacto de la pastilla sobre el disco

Para obtener el diámetro externo del disco de freno se realiza la búsqueda de medidas de pastillas de freno posterior para go kart.

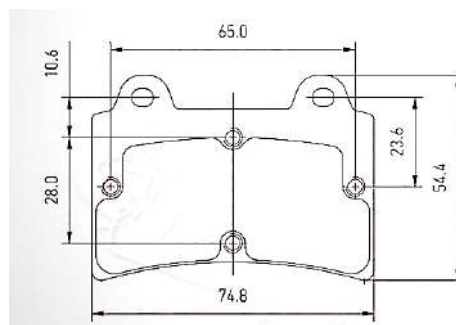


Ilustración 20-3: Medida de pastillas de freno para go kart

Fuente: (KPS RACING, 2022)

En la ilustración 20-3 se observa la medida del ancho de contacto del material de fricción de la pastilla de aproximadamente 28 mm, por ende, se suma al diámetro dinámico de la pastilla que es de 140 mm, obteniendo como resultado 168 mm de diámetro, el cual se busca un disco

autoventilado con diámetro superior y cerca de 168 mm obteniendo un disco de 180 mm de diámetro externo, con diámetro dinámico de 152 mm.

3.5.1.12. Radio del disco

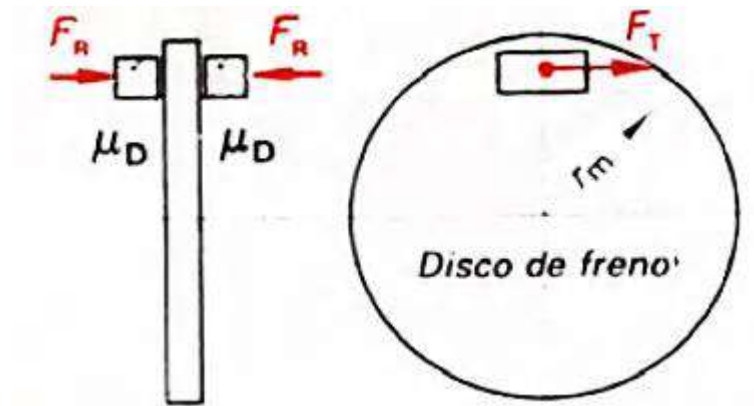


Ilustración 21-3: Fuerzas en los frenos de disco

Fuente: (KINDLER, y otros, 2001)

$$r_m = \frac{D_m}{2}$$

r_m : Radio del disco [m]

$$r_m = \frac{0,152 \text{ m}}{2}$$

$$r_m = 0,076 \text{ m}$$

3.5.1.13. Fuerza periférica (Fuerza de fricción en el caliper)

$$F_T = \frac{M_{fr}}{r_m}$$

F_T : Fuerza Periférica [N]

$$F_T = \frac{177,47 \text{ Nm}}{0,076 \text{ m}}$$

$$F_T = 2335,13 \text{ N}$$

3.5.1.14. Fuerza de aprieto (Fuerza generada en el caliper)

$$F_R = \frac{F_T}{2 * u_D}$$

F_R : Fuerza de aprieto [N]

$$F_R = \frac{2335,13 \text{ N}}{2 * 0,4}$$

$$F_R = 2918,91 \text{ N}$$

Datos del pedal de freno

$$F_{pie} = 140 \text{ N}$$

$$r_1 = 10,73 \text{ cm}$$

$$r_2 = 7,16 \text{ cm}$$

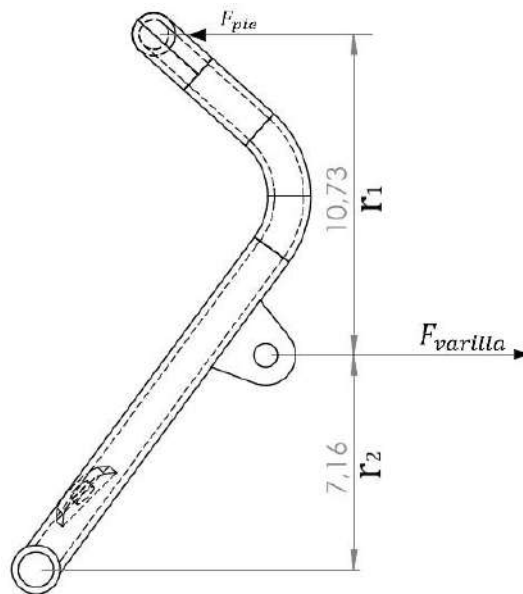


Ilustración 22-3: Relación de palanca del pedal de freno

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

3.5.1.15. Fuerza de la varilla de freno

$$F_{varilla} = \frac{F_{pie} * (r_1 + r_2)}{r_2}$$

Donde:

$F_{varilla}$: Fuerza de la varilla de regulación [N]

r_1 : Brazo de palanca 1 del pedal de freno [cm]

r_2 : Brazo de palanca 2 del pedal de freno [cm]

$$F_{varilla} = \frac{140 \text{ N} * (10,73 \text{ cm} + 7,16 \text{ cm})}{7,16}$$

$$F_{varilla} = 349,80 \text{ N}$$

Datos de distancia del mecanismo de bomba

$$r_1' = 6 \text{ cm}$$

$$r_2' = 2 \text{ cm}$$

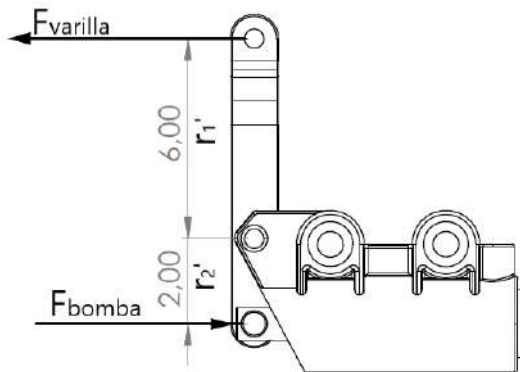


Ilustración 23-3: Relación de palanca de bomba de cilindro maestro

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

3.5.1.16. Fuerza sobre el cilindro de la bomba

$$F_{bomba} = \frac{F_{varilla} * r_1'}{r_2'}$$

Donde:

F_{bomba} : Fuerza sobre el émbolo de la bomba [N]

r_1' : Brazo de palanca 1

r_2' : Brazo de palanca 2

$$F_{bomba} = \frac{349,80 \text{ N} * 6 \text{ cm}}{2 \text{ cm}}$$

$$F_{bomba} = 1049,4 \text{ N}$$

3.5.1.17. Área del pistón del caliper

$$A_{pc} = \frac{\pi * D_c}{4}$$

Donde:

A_{pc} : Área de pistón del caliper [mm^2]

D_c : Diámetro del cilindro del caliper [mm]

$$A_{pc} = \frac{\pi * (31,75 \text{ mm})^2}{4}$$

$$A_{pc} = 791,73 \text{ mm}^2$$

3.5.1.18. Área del pistón de Bomba de freno

$$A_{pb} = \frac{F_{bomba} * A_{pc}}{F_R}$$

A_{pb} : Área del pistón de la bomba

$$A_{pb} = \frac{1049,4 \text{ N} * 791,73 \text{ mm}^2}{2918,91 \text{ N}}$$

$$A_{pb} = 284,64 \text{ mm}^2 = 2,8464 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

3.5.1.19. Diámetro de la bomba hidráulica de freno

$$D_{pb} = \sqrt{\frac{4 * A_{pb}}{\pi}}$$

D_{pb} : Diámetro del piston de la bomba

$$D_{pb} = \sqrt{\frac{4 * 2,8464 * 10^{-4} \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D_{pb} = 0,01904 \text{ m} = 19,04 \text{ mm}$$

3.5.1.20. Presión del circuito hidráulico de freno (P_f)

$$P_L = \frac{F_{bomba}}{A_{pb}}$$
$$P_L = \frac{1049,4 \text{ N}}{2,8464 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$
$$P_L = 3686762,23 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 36,87 \text{ Bar}$$

3.5.1.21. Rendimiento de frenado

$$\eta_f = \frac{F_{fr}}{W} * 100$$

Donde:

η_f : Rendimiento de frenado [%]

$$\eta_f = \frac{1270,40 \text{ N}}{1814,85 \text{ N}} * 100$$
$$\eta_f = 70 \%$$

3.5.2. Selección de componentes del sistema de frenos

3.5.2.1. Selección de neumáticos para eje frontal y eje posterior

Según el reglamento que rige la CIK/FIA se presenta diferentes neumáticos homologados para las competencias de go kart independientemente de la categoría, en la siguiente tabla 12-3 se puede apreciar los neumáticos más usados en las competencias karting.

Tabla 12-3: Tabla de neumáticos homologados por la CIK/FIA

Fabricante	País	Marca
Hoosier Racing Tire	USA	Hoosier
Mg Industria Comercio SA	BRA	MG WT
LeCon Srl	ITA	LH
Vega SpA	ITA	Vega
Reifenwerk Heidenau GmbH	GER	MOJO
Bridgestone Corporation	JPN	Bridgestone

Sumitomo Rubber Industries	JPN	Dunlop
The Yokohama Rubber Co.	JPN	Yokohama/Advan

Fuente: (CIK/FIA, 2016)

En este trabajo técnico se utilizarán neumáticos de la marca Bridgestone con diámetro de 10 pulgadas para la parte frontal y de 11 pulgadas en la parte posterior del prototipo.



Ilustración 24-3: Neumáticos de 11 pulgadas, marca Breagstone

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

3.5.2.2. Eje de transmisión



Ilustración 25-3: Medida del eje de transmisión

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

El eje de transmisión se seleccionó según la normativa CIK/FIA citada en el capítulo II de las normas legales para go kart eléctricos que son similares para go kart implementados con motores de combustión interna que en este caso se seleccionó un eje hueco de 50 mm de diámetro y 1.9 mm de espesor de material de acero al cromo níquel, al ser el eje hueco permite la transmisión de mucho más torque a las ruedas motrices del prototipo de go kart eléctrico.

3.5.2.3. Chumaceras



Ilustración 26-3: Medida del diámetro interno de la chumacera

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

Chumaceras o cajas de 50 mm de diámetro interno para la sujeción del eje de transmisión, son el soporte de unión entre el chasis del go kart y el eje, seleccionadas por su bajo peso debido a que están fabricadas de aluminio.

3.5.2.4. Caliper y pastillas



Ilustración 27-3: Caliper o mordaza y pastillas de freno

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

El caliper seleccionado según la normativa CIK/FIA con la numeración estándar 75-76-77/FR/11 del sistema de frenos para go kart fabricado de aluminio 6061, material aleado que tiene excelentes propiedades mecánicas una de ellas es la de disipar el calor que se genera al momento del frenado, cuenta con dos cilindros de 31,75 mm para ejercer la presión sobre las pastillas, al hablar de piezas o elementos homologados se habla de piezas que han sido realizadas bajo planos

y que deben cumplir ciertas características de evaluación. Dichas hojas de fabricante se las podrá encontrar en la sección de anexos en la parte final de este documento.



Ilustración 28-3: Caliper o mordaza y pastillas de freno

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

De igual forma las pastillas seleccionadas son de esta misma numeración estándar 75-76-77/FR/11, tienen un espesor de 15 mm, el material de fricción es de ferodo con bajo contenido de cobre con base de acero, su bajo contenido de cobre hace que sea un excelente disipador de calor la cual es un requerimiento importante al momento del frenado, ya que se sabe que mientras el sistema de frenos se encuentre demasiado caliente la eficacia del frenado disminuye.

3.5.2.5. Disco de freno autoventilado



Ilustración 29-3: Medición de disco de freno ventilado OTK 180x13 mm

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

Se seleccionó el disco de freno autoventilado OTK fabricado con hierro fundido gris debido a su construcción y geometría avala buenas características de disipación de calor en menos tiempo, garantiza un freno óptimo durante todo el tramo de carrera. Para cálculos se necesita el radio

dinámico del disco de frenos que es entre el centro de contacto de las pastillas y el disco, respecto al centro del disco.

3.5.2.6. Bomba de freno de cilindro maestro y varilla de freno



Ilustración 30-3: Bomba de freno de cilindro maestro y varilla de freno

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

La bomba de freno del cilindro maestro implementado está bajo normativa de la CIK-FIA 75-76-77/FR/11 cuenta con el diámetro del pistón de 19 mm la cual según los cálculos realizados es el óptimo para este sistema de frenos, esta bomba de freno fabricado de aluminio 6061 material liviano que reduce la masa del sistema de frenos de igual manera la varilla de freno la cual es encargada de transmitir la fuerza del pie hacia la bomba está fabricada de acero inoxidable, su composición del material es apta para este tipo de trabajos.

3.5.2.7. Cañerías



Ilustración 31-3: Cañerías de circuito de freno

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

Las cañerías seleccionadas son de la numeración CIK-FIA 77/FR/11 con un máximo de soporte fabricadas de malla de acero 1030 con recubrimiento vinílico las cuales garantizan que soportarán las presiones internas del circuito, dándonos la seguridad de que las cañerías no tendrán algún tipo de falla.

3.5.3. Sistema de frenos implementado



Ilustración 32-3: Sistema de frenos implementado

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

El sistema de frenos queda como en la ilustración 32-3 dicha implementación resulta de un análisis dinámico de los cálculos realizados en el capítulo III.

3.5.4. Diseño del sistema de frenos

Se establece la identificación de los componentes del circuito de frenos hidráulico que se ocuparán en la implementación del sistema de frenos del go kart eléctrico para lo cual se realiza un modelado de las piezas que conforman dicho sistema.

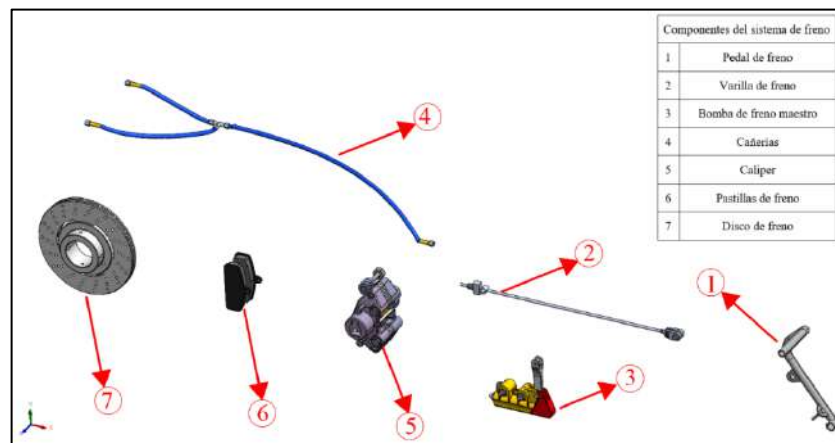


Ilustración 33-3: Componentes del sistema de dirección

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

Una vez que se estableció cuáles serán los componentes del sistema de frenos es indispensable entender cómo funciona dicho sistema, el frenado se inicia en el pedal del freno que por lo general se encuentra ubicado en la sección delantera izquierda del go kart, este pedal recibe la fuerza ejercida por el pie del piloto, la misma fuerza es transmitida a la bomba a través de una varilla de acero inoxidable 304L, esta fuerza es la que acciona el cilindro maestro de la bomba y permite ejercer una fuerza sobre el líquido de frenos el cual fluye por las cañerías hacia el calíper, así se genera una fuerza suficiente para accionar los pistones y estos empujan a las pastillas contra el disco permitiendo la fricción reduciendo la velocidad.

3.5.5. Procedimiento para realizar el análisis estático

3.5.5.1. Dibujo CAD del disco de frenos

El procedimiento para realizar el análisis estático se utilizará el paquete de Workbench de ANSYS para este análisis solo se escoge el disco y se realiza una partición en la zona donde estará en contacto con las pastillas para simular el comportamiento que se tendrá al momento de aplicar la presión que se tiene durante todo el circuito de frenos, y la fuerza de rozamiento generada por la fuerza de apriete y de esta manera observar la deformación y el factor de seguridad.

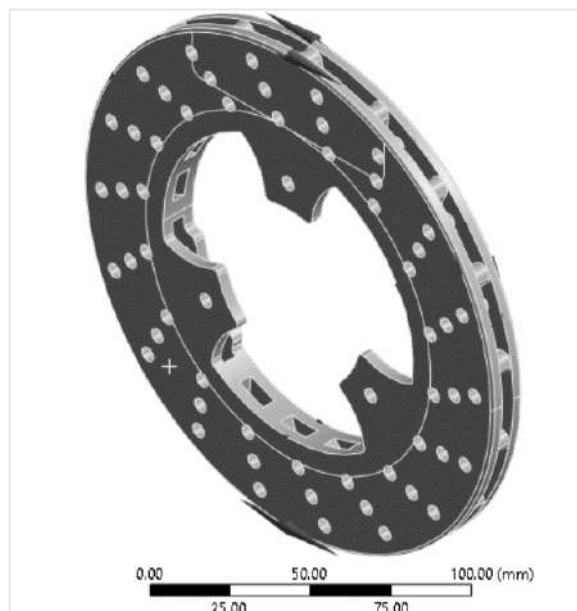


Ilustración 34-3: CAD de elementos a simular

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

Los elementos CAD para el análisis estático son el disco de freno y zona de las pastillas, el material seleccionado para la simulación en el disco es el hierro fundido gris.

3.5.5.2. Mallado

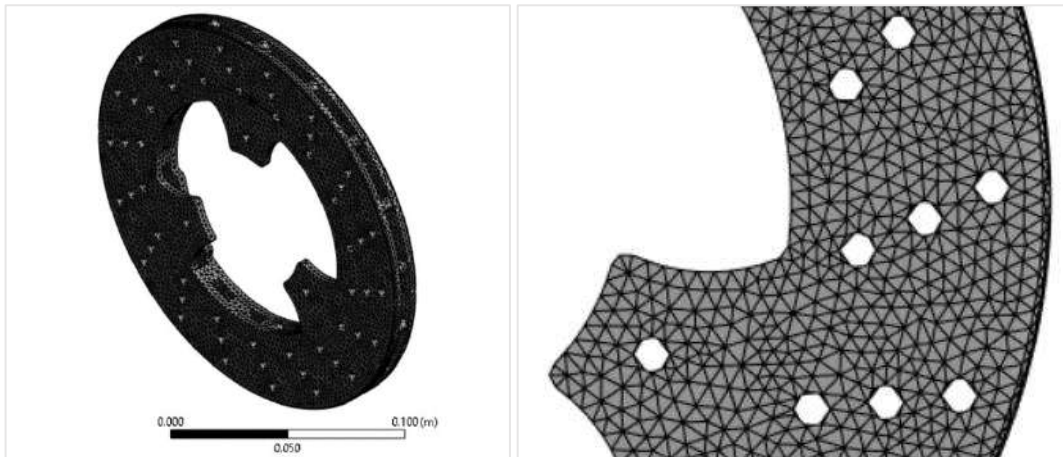


Ilustración 35-3: Vista de mallado del disco de freno

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

El tipo de mallado que se asignó es del tipo tetraédrico lineal debido a que se trata de una geometría compleja y el tamaño de la malla es de 2.5 mm, la razón por la que se usa este tipo de mallado es por la precisión al momento del cálculo debido a que se tiene mayor cantidad de elementos de malla a analizar, es decir, el valor a calcular o los resultados van a ser los esperados a la realidad.

3.5.5.3. La calidad de la malla

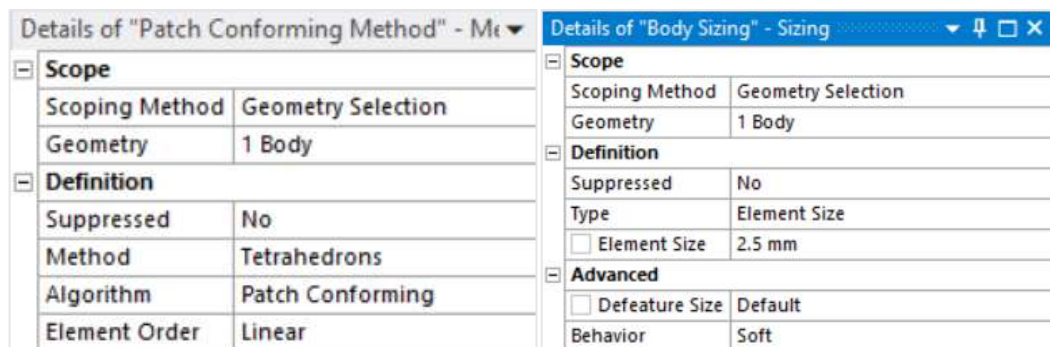


Ilustración 36-3: Detalles del tipo de mallado

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

El método jacobiano fue el elegido para determinar la calidad de la malla, debido a que se la califica en la escala de 0 a 1, donde el 0 indica un mallado de mala calidad, y 1 buena calidad.

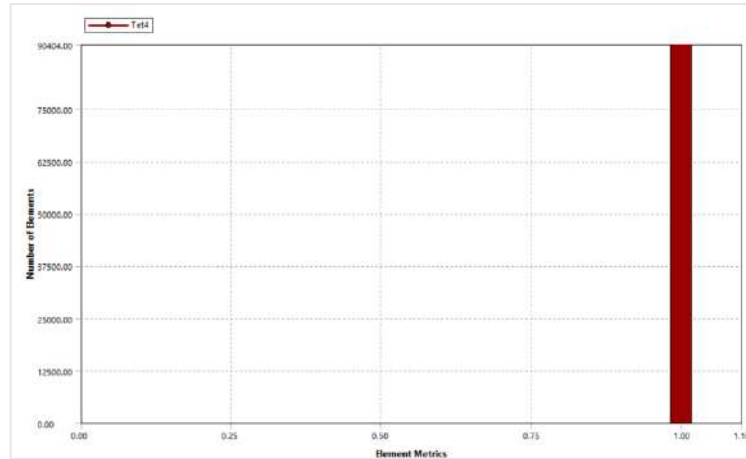


Ilustración 37-3: Calidad de malla según el número de elementos

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

3.5.5.4. Soportes fijos

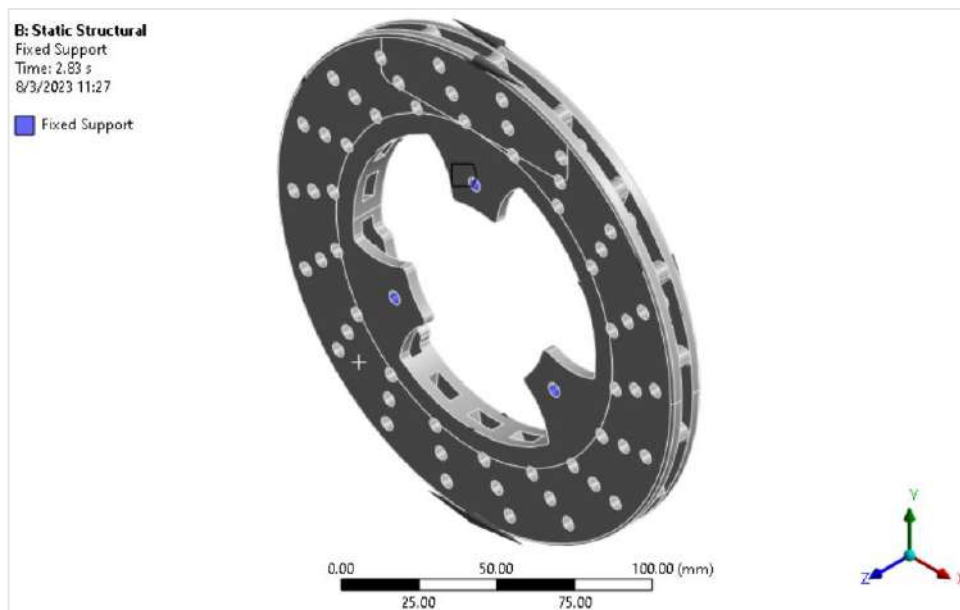


Ilustración 38-3: Asignación de soportes fijos en el disco de freno

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

En la asignación de soportes se los coloca en el lugar que estarán ubicados los pernos, se garantiza la restricción de movimiento, rotación y desplazamiento.

3.5.5.5. Velocidad de rotación

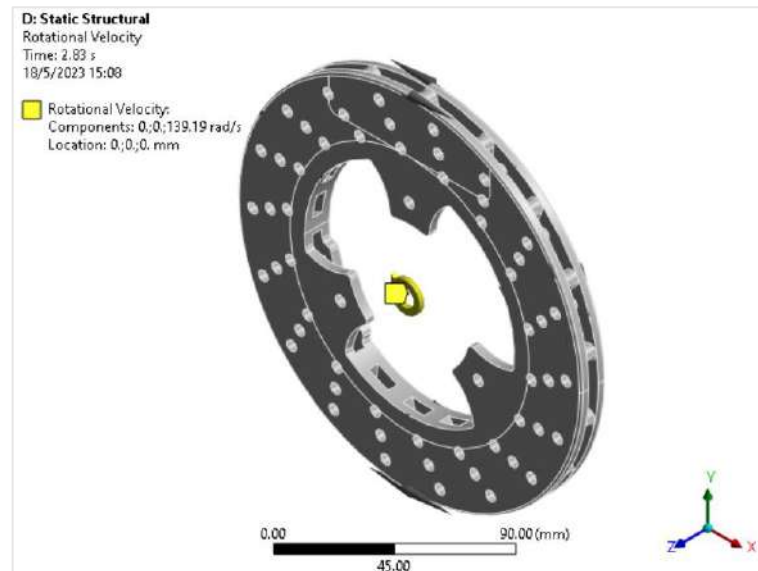


Ilustración 39-3: Asignación de la velocidad de rotación en el disco de freno

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

La velocidad de rotación de la simulación será de 70 km/h pero al momento de la asignación en el disco se la debe poner en radianes por segundo para lo cual transformando esta velocidad a tal magnitud nos queda de 139.19 rad/s tomando en cuenta el eje de giro del software.

3.5.5.6. Cargas

Presión

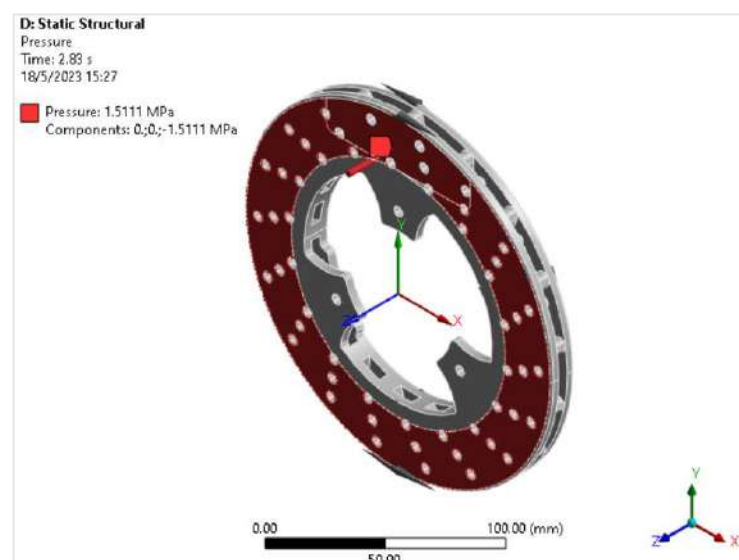


Ilustración 40-3: Asignación de carga de presión.

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

La asignación de la carga de presión se la ubica en las 2 caras exteriores en donde van a ejercer presión las pastillas sobre el disco de freno en dirección hacia las caras del disco, simulando el frenado.

Con los datos de fuerza de aprieto por pistón (F_R), el área de contacto entre la pastilla de freno y el disco obtenida mediante el software de diseño CAD (A_P), se calcula la presión (P_{pf}).

$$P_{pf} = \frac{F_R}{A_P}$$

Donde:

$$F_R = 2918,91 \text{ N}$$

$$A_P = 1931,83 \text{ mm}^2$$

$$P_{pf} = \frac{2918,91 \text{ N}}{1931,83 \text{ mm}^2 * \frac{1 \text{ m}^2}{(1000 \text{ mm})^2}}$$

$$P_{pf} = 1510955,93 \text{ Pa} = 1,5111 \text{ MPa}$$

Fuerza de rozamiento

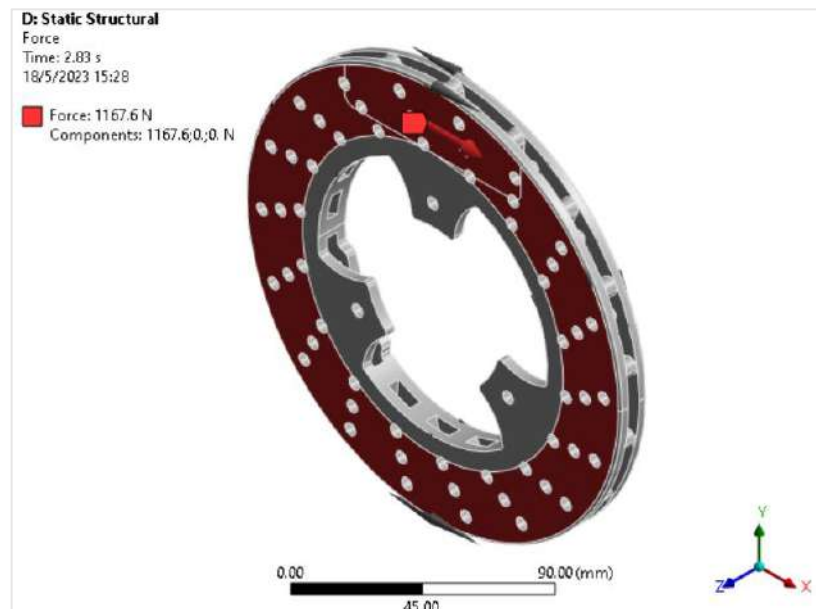


Ilustración 41-3: Asignación de cargas de fuerza de rozamiento.

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

La fuerza de rozamiento se aplica en dirección contrario al movimiento del disco de freno en las caras que estarán en contacto las pastillas con el disco. El valor de la fuerza para cada cara del disco se obtiene dividiendo la fuerza periférica para dos.

3.5.6. Análisis termodinámico en el disco de freno de go kart

Se aplica cálculos dinámicos del sistema de frenado, para obtener la energía disipada en el freno posterior, tomando como datos la velocidad inicial de frenado, masa del go kart, y el factor de corrección para masas rodantes i para una velocidad media es de 1,05. (GARCÍA LEÓN, y otros, 2018 pág. 11)

$$E_f = \frac{i * m * (V_i^2 - V_f^2)}{2}$$

Donde:

i : Factor de corrección para masas rodantes

$$E_f = \frac{1,05 * 185 \text{ kg} * \left(\left(19,44 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 - 0 \right)}{2}$$
$$E_f = 36704,86 \text{ J}$$

El 90 % de calor se disipa en el disco de freno y el 10 % en la pastilla de freno (GARCÍA LEÓN, y otros, 2018 pág. 12)

$$E_{disco} = E_f * 0,9$$
$$E_{disco} = 36704,86 \text{ J} * 0,9$$
$$E_{disco} = 33034,37 \text{ J}$$

Para determinar la temperatura que se genera en el proceso de frenado, se considera el área de la pastilla, el tiempo de frenado y la energía disipada en el disco. (GARCÍA LEÓN, y otros, 2018 pág. 12)

$$q_{total} = \frac{E_{disco}}{A_p * t}$$

Donde:

A_p : Área de la pastilla de freno ($1931,83 \text{ mm}^2$)

t : Tiempo de frenado ($2,83 \text{ s}$)

$$q_{total} = \frac{33034,37 \text{ J}}{\left(\frac{1931,83}{1000^2} \right) \text{ m}^2 * 2,83 \text{ s}}$$
$$q_{total} = 6042417,38 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

3.5.6.1. Propiedades térmicas de fundición gris

Tabla 13-3: Propiedades térmicas del material fundición gris

Nombre:	Fundición gris
Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error:	Tensión de Mohr
Predeterminado:	Coulomb
Conductividad térmica:	45 W/(m * K)
Calor específico:	510 J/(kg * K)
Densidad:	7200 kg/m ³

Fuente: (JIMÉNEZ ESCOBAR, y otros, 2012)

3.5.6.2. Elevación de temperatura del disco de freno

$$\Delta T = \frac{E_{disco}}{m_d * C_p}$$

Donde:

m_d : masa del disco (1,02 kg)

$$\Delta T = \frac{33034,37 J}{1,02 kg * 510 \frac{J}{kg * ^\circ C}}$$

$$\Delta T = 63,5 ^\circ C$$

3.5.6.3. Temperatura en la superficie del disco

$$T_1 - T_\infty = \Delta T$$

Donde:

T_∞ : Temperatura ambiente (22 °C)

$$T_1 = \Delta T + T_\infty$$

$$T_1 = 63,5 ^\circ C + 22 ^\circ C$$

$$T_1 = 85,5 ^\circ C$$

3.5.6.4. Temperatura periférica del disco

$$T_f = \frac{T_\infty + T_1}{2}$$
$$T_f = \frac{22 \text{ }^\circ\text{C} + 85,5 \text{ }^\circ\text{C}}{2}$$
$$T_f = 53,75 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tabla 14-3: Propiedades del aire a la presión de 1 atm y temperatura de 53,57 °C

Número de Prandtl (Pr)	0,7218
Viscosidad cinemática ν (m^2/s)	$1,834 * 10^{-5}$
Conductividad térmica k ($\text{W}/\text{m} * \text{ }^\circ\text{C}$)	0,02762

Fuente: (CENGEL, y otros, 2020)

3.5.6.5. Flujo paralelo en placas planas

Para efectuar el cálculo se supone que la temperatura ambiente es de 22 °C, la velocidad del aire de 19,44 m/s y 1 atmosfera de presión. (GARCÍA LEÓN, y otros, 2016 pág. 22)

$$Re_L = \frac{V_m * L}{\nu_D}$$

Donde:

Re_L : número crítico de Reynolds (Adimensional)

V_m : velocidad media del aire. (m/s)

L : longitud de la placa plana (m)

ν_D : viscosidad cinemática de Denver. (m^2/s)

$$\nu_D = \frac{\nu}{P}$$

Donde:

ν : viscosidad cinemática del aire (m^2/s)

P : presión atmosférica (1 atmosfera)

$$\nu_D = \frac{1,834 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}}{1}$$

$$v_D = 1,834 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re_L = \frac{V_m * L}{v_D}$$

$$Re_L = \frac{19,44 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,180 \text{ m}}{1,834 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re_L = 190796,07$$

Valor de Re_L es menor al número crítico de Reynolds de $5 * 10^5$, por lo tanto, es flujo laminar (CENGEL, 2007 pág. 400)

3.5.6.6. Número de Nusselt

$$Nu = 0,664 * Re_L^{0,5} * Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0,664 * 190796,07^{0,5} * 0,7218^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 260,17$$

3.5.6.7. Coeficiente de convección

$$h = \frac{k}{D} * Nu$$

$$h = \frac{0,02762 \frac{\text{W}}{\text{m} * ^\circ\text{C}}}{0,180 \text{ m}} * 260,17$$

$$h = 39,92 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}}$$

Se calculó el área superficial de las dos caras del disco, y según las medidas del diseño en software CAD se obtuvo el valor de $0,03096363 \text{ m}^2$

3.5.6.8. Calor disipado por convección lateral

$$Q = h * A_l * (T_1 - T_\infty)$$

$$Q = 39,92 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}} * 0,03096363 \text{ m}^2 * (85,5 ^\circ\text{C} - 22 ^\circ\text{C})$$

$$Q = 78,49 \text{ W}$$

3.5.7. Procedimiento para realizar el análisis térmico del disco en software CAE

Para realizar el análisis térmico mediante software CAE solo se realizó la simulación al disco porque es el elemento que sufre mayor porcentaje de transferencia de calor, y posterior a los resultados que el programa nos dé, realizar las debidas conclusiones del estudio.

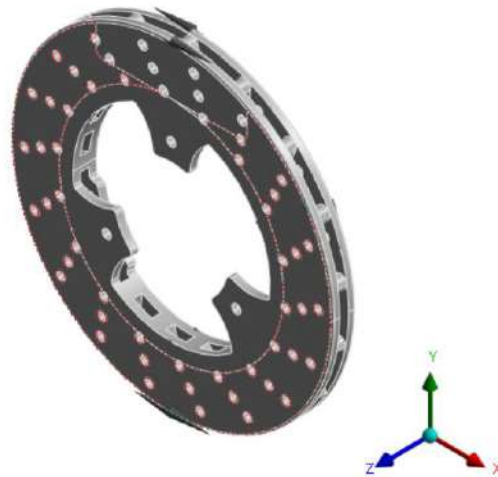


Ilustración 42-3: Diseño del disco de freno

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

3.5.7.1. Mallado

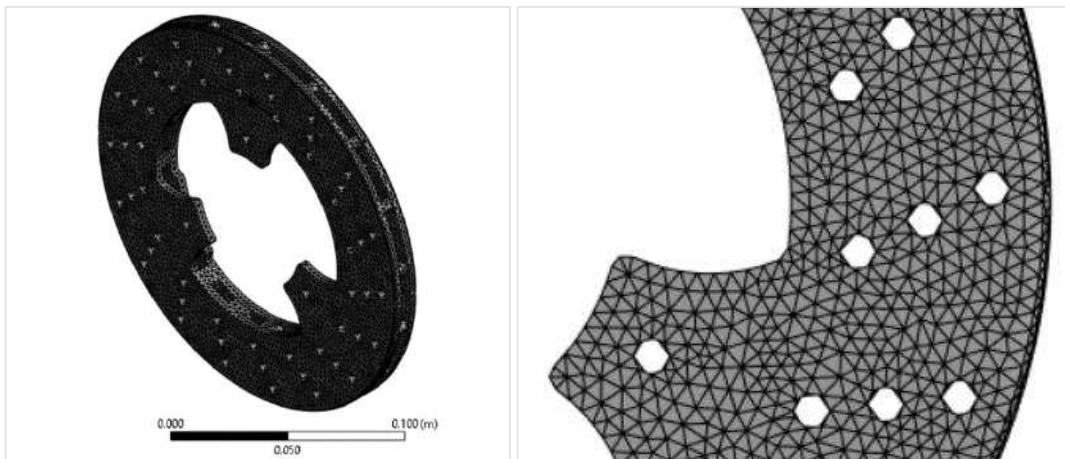


Ilustración 43-3: Mallado del disco de freno.

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

3.5.7.2. Calidad y detalles de la malla

Details of "Patch Conforming Method" - M...		Details of "Body Sizing" - Sizing	
Scope		Scope	
Scoping Method	Geometry Selection	Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body	Geometry	1 Body
Definition		Definition	
Suppressed	No	Suppressed	No
Method	Tetrahedrons	Type	Element Size
Algorithm	Patch Conforming	<input type="checkbox"/> Element Size	2.5 mm
Element Order	Linear	Advanced	
		<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
		Behavior	Soft

Ilustración 44-3: Detalles del tipo de mallado

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

El tipo de malla es tetraédrica con tamaño de 2.5 mm por el método de radio jacobiano. Se puede observar que la calidad de la malla por el número de elementos es cercana a 1. En el cual cerca de 1, la malla es de buena calidad y alejado de 1, la malla es de mala calidad.

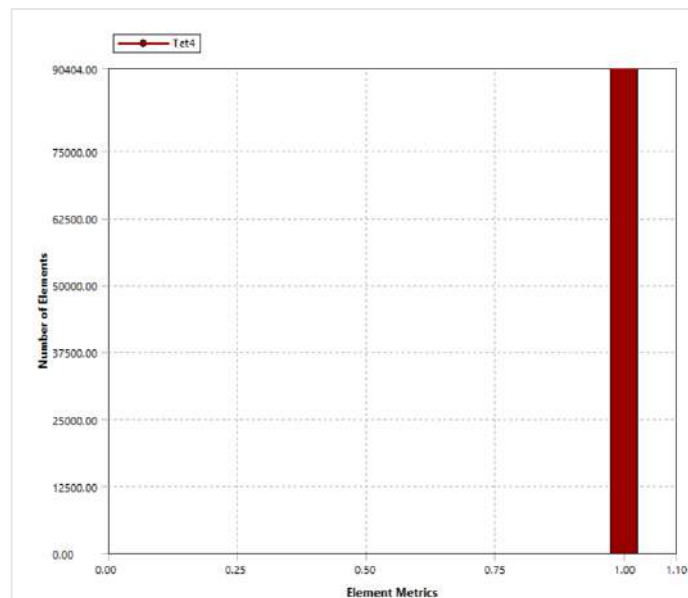


Ilustración 45-3: Calidad de la malla

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

3.5.7.3. Condición ambiental inicial

En el caso de las condiciones iniciales se considera la temperatura del ambiente de 22°C debido a que el disco en un principio se encuentra a dicha temperatura.

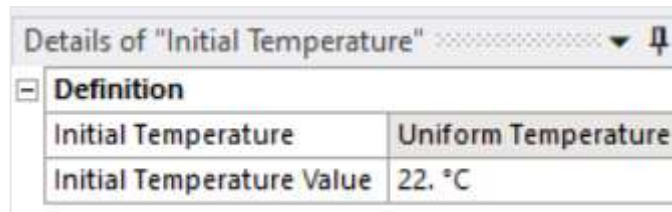


Ilustración 46-3: Temperatura inicial para el análisis

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

3.5.7.4. Asignación de cargas

Convección

Se asigna la carga de convección de $39,92 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ en las caras paralelas externas al movimiento del disco de freno.

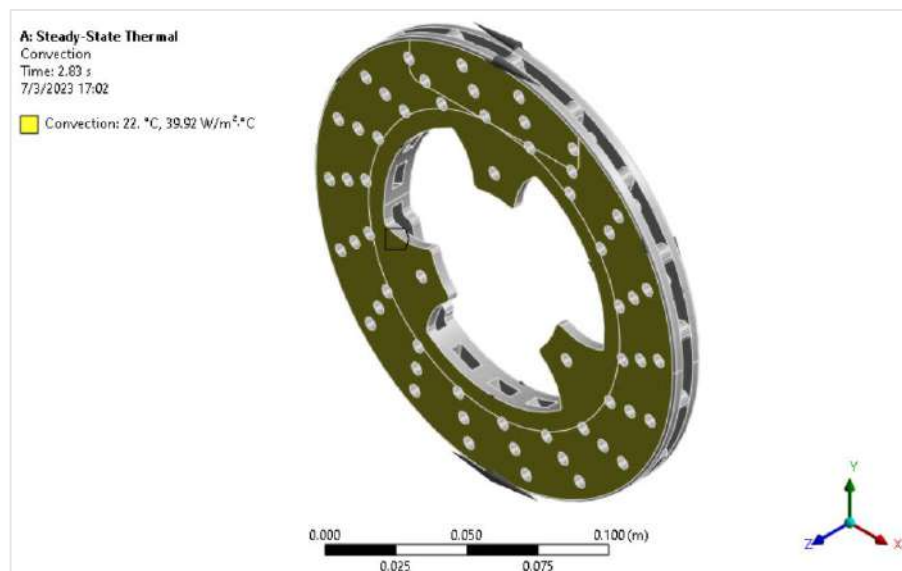


Ilustración 47-3: Asignación de la carga de convección

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

Flujo de calor

El flujo de calor de 78.49 W se asigna en las caras del disco que van a estar sometidas a fricción, es decir, en el área de contacto entre las pastillas y el disco de freno autoventilado, cuando se encuentra en movimiento y se presionan los frenos.

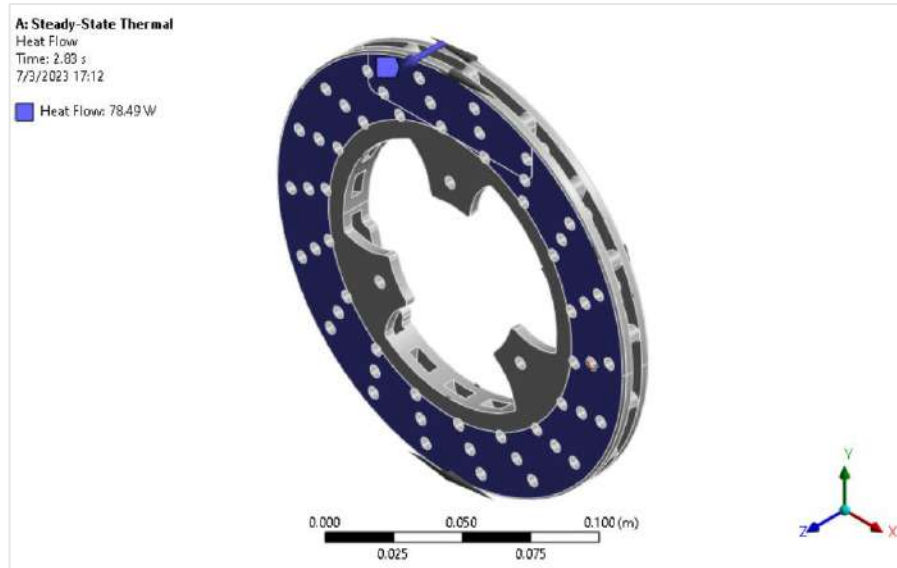


Ilustración 48-3: Asignación de la carga de flujo de calor

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Resultados del sistema de dirección

Los resultados obtenidos por medio de cálculos aplicando geometría de Ackerman se presentan en la tabla 1-4.

Tabla 1-4: Resultados de dimensionamiento del sistema de dirección

Descripción	Valor	Unidad
Ángulo de orientación de los brazos de manguetas	17,71	Grados
Ángulo de caída o Camber	1	Grados
Ángulo de avance o Caster	18	Grados
Ángulo de salida	11	Grados

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

El ángulo interno es mayor que el ángulo externo, por ende, se encuentra en un rango positivo de Ackerman el cual genera estabilidad y desgaste normal del neumático. El ángulo de avance o caster es fijo con valor 18° grados, apto para condiciones de superficie seca.

4.1.1. Resultados de la simulación en Software CAD/ CAE

4.1.1.1. Factor de seguridad

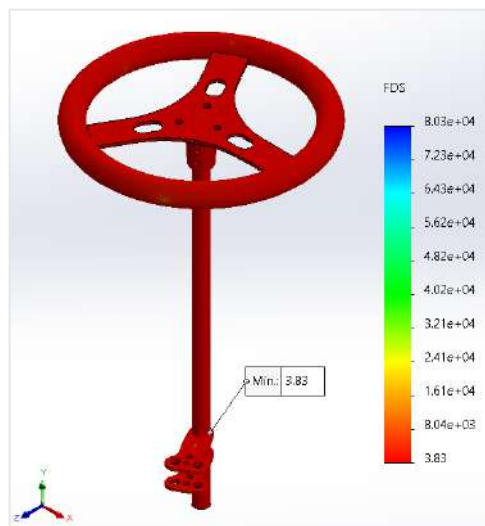


Ilustración 1-4: Factor de seguridad

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

4.1.1.2. Tensiones

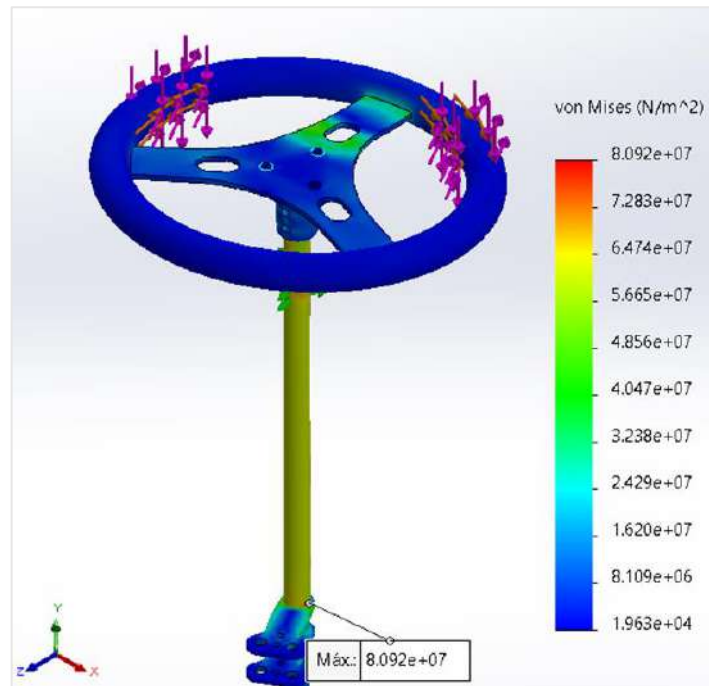


Ilustración 2-4: Tensión de Von Mises

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

4.1.1.3. Desplazamientos

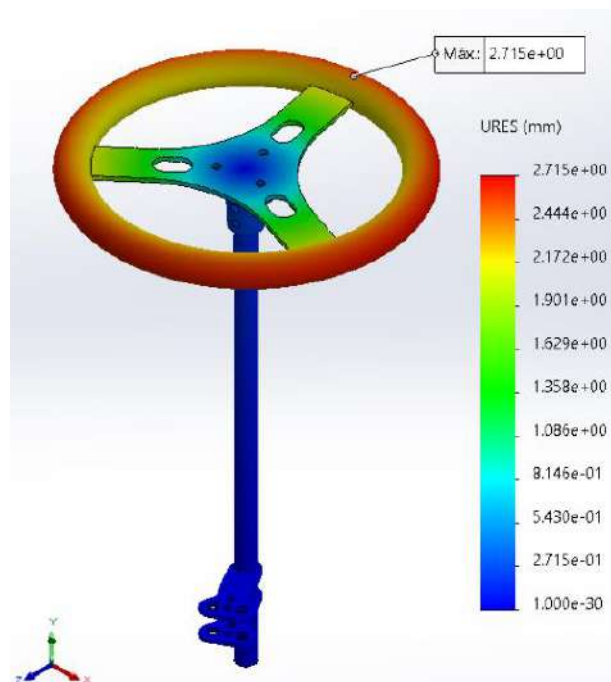


Ilustración 3-4: Desplazamientos

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

4.1.1.4. Fuerza cortante

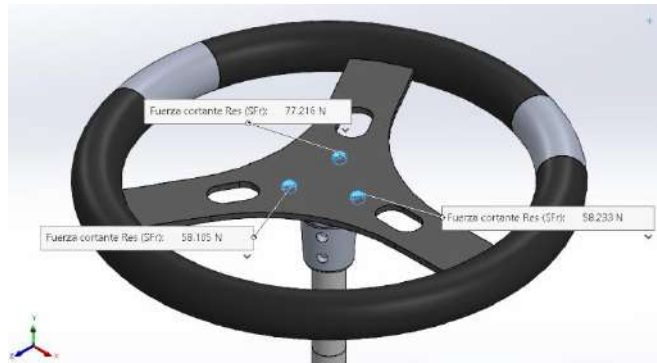


Ilustración 4-4: Fuerzas cortantes en pernos del volante

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

4.2. Resultados del sistema de freno

Los resultados se basan en el proceso de cálculos realizados en la metodología, y la comparación de resultados con datos de bibliografías de investigaciones publicadas.

Para el dimensionamiento, en función de la configuración del chasis y bajo el reglamento de la CIK/FIA, tomando como datos de partida la masa máxima de un go kart eléctrico. Para la velocidad máxima que alcanzará el go kart se realizó en base a datos de trabajos de investigación realizados de prototipos go kart eléctricos.

En la siguiente tabla se muestran los datos iniciales para los cálculos.

Tabla 2-4: Tabla de datos generales del go kart

Descripción	Valor	Unidad
Masa del Go Kart con piloto	185	Kg
Velocidad máxima del Go kart	70	Km/h
Coefficiente de fricción cinética	0,7	-
Diámetro del neumático en el eje posterior	27,94	cm

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

Con los cálculos realizados se obtiene los resultados de la tabla 2-4. Para encontrar el diámetro del disco de freno que se debe utilizar en el eje posterior de go kart y comparando con las dimensiones de discos de freno que hay en el mercado.

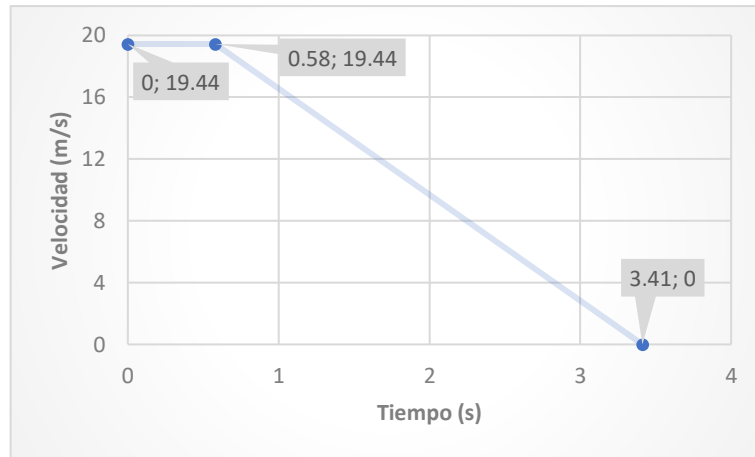


Ilustración 5-4: Velocidad vs Tiempo de frenado

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

En la ilustración 5-4 se muestra la curva de velocidad vs. tiempo de reacción y frenado. El tiempo de reacción es 0,58 segundos, en el que se observa que la velocidad es constante y el tiempo de frenado empieza de 0,58 segundos hasta 3,41 segundos, dando como intervalo de tiempo de 2,83 segundos.

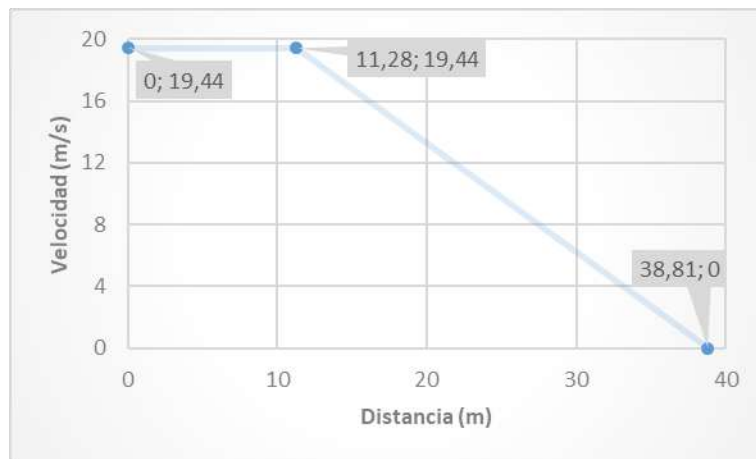


Ilustración 6-4: Velocidad vs Distancia de frenado

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

En la ilustración 6-4 se puede observar la curva de la velocidad vs distancia de frenado, tanto la distancia recorrida de reacción en el primer instante cuando no se pisa aún el pedal del freno de 11,28 m y la distancia recorrida cuando se aplica los frenos hasta detener el prototipo de 27,53 m con un total de 38,81 m

Tabla 3-4: Tabla de resultados de cálculos de frenos

Descripción	Valor	Unidad
Desaceleración	6,867	m/s ²
Fuerza de frenado	1270,40	N
Par de frenado	177,47	Nm
Diámetro dinámico del disco de freno	152	mm

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

Para la selección del disco de freno se toma como referencia el diámetro que se obtuvo como respuesta y comparando con los discos de freno para go kart que existen en el mercado, se busca las mejores prestaciones, que el disco sea ventilado para que disipe el calor generado por la fricción entre las pastillas de freno y el disco con mayor rapidez.

Se seleccionó el disco de freno de 0,180 m de diámetro, sabiendo un mayor diámetro de disco da como resultado mayor torque de frenado, y el disco es de tipo ventilado.

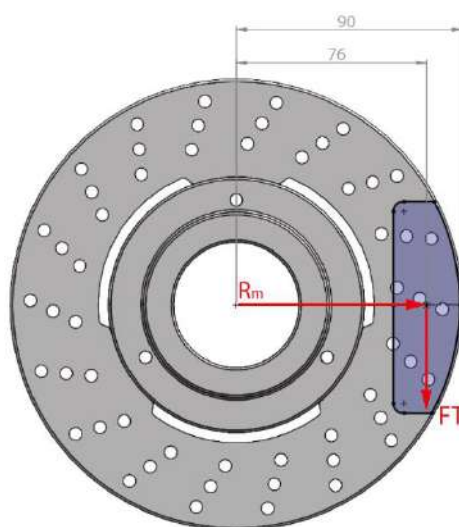


Ilustración 7-4: Medidas del disco de freno en mm

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

Con el disco de freno seleccionado se selecciona el caliper para el diámetro de disco, tomando un caliper de doble efecto (2 pistones), y con diámetro de 31,75 mm.

La selección de pastillas de freno, en función de sus características y prestaciones de acuerdo con la normativa de CIK/FIA, se optó por las pastillas de ferodo al cobre con base de acero con un espesor de 15 mm y el coeficiente de fricción dinámico es de 0,4

Tabla 4-4: Tabla de cálculos

Descripción	Valor	Unidad
Fuerza Periférica	2335,13	N
Fuerza de aprieto	2918,91	N
Fuerza del pie sobre el pedal	140	N
Área del cilindro de la bomba	284,64	mm ²
Diámetro del cilindro de la bomba	19,04	mm

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

Selección de la bomba de freno con diámetro del cilindro de 19 mm.

Tabla 5-4: Tabla de presión en el circuito de frenos y rendimiento de frenado

Descripción	Valor	Unidad
Presión del circuito de freno	36,87	Bar
Rendimiento de frenado	70	%

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

4.3. Resultados del análisis estático del disco de freno.

El análisis del disco de freno se le asignó la presión de 1,5111 MPa en las caras de contacto del disco con las pastillas.

4.3.1. Deformación

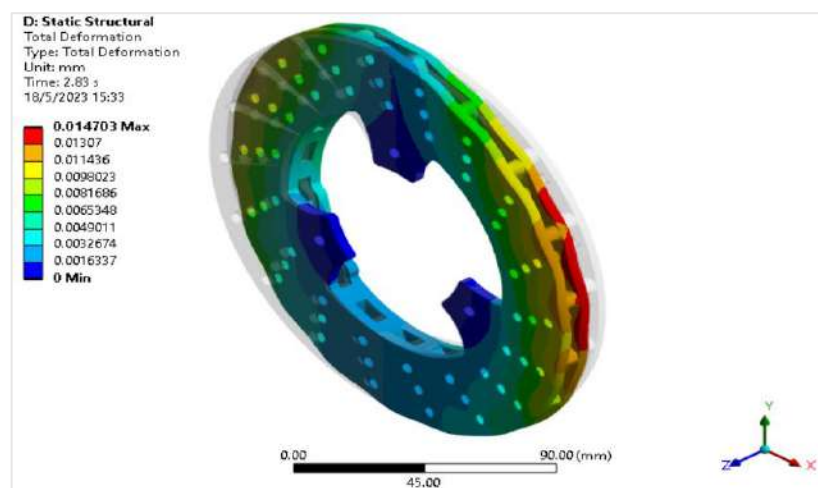


Ilustración 8-4: Deformación total del disco

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

Se tiene una deformación máxima de 14,703 μm entre los dos componentes en la zona de contacto, mientras que la zona de color azul muestra una deformación mínima o nula, dicha deformación es de 0 μm , lo que se puede determinar que la deformación que se genera en el disco de freno ventilado al momento de aplicar las cargas es mínima.

4.3.2. Equivalente de Von Mises

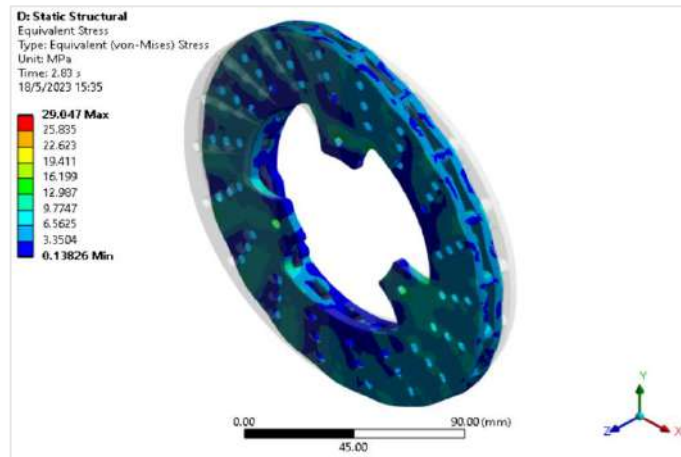


Ilustración 9-4: Stress equivalente (Von Mises) del disco de freno.

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

Al realizar el análisis estructural del disco de freno se puede apreciar en el mapa de colores que se tiene como resultado máximo una tensión de 29,047 MPa, al considerar el esfuerzo límite para el material de hierro fundido gris del cual está hecho el disco de freno es de 240 MPa se afirma que el disco de freno soporta las cargas que se ejercen sobre su superficie.

4.3.3. Factor de seguridad

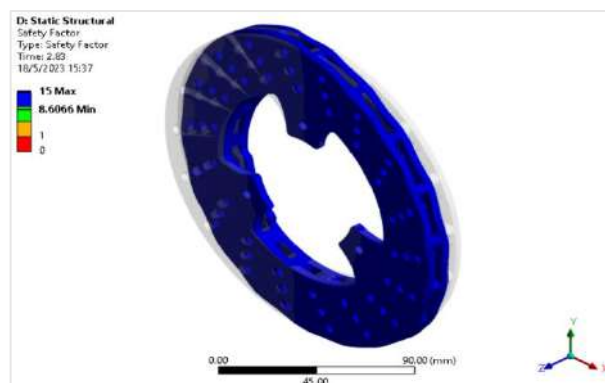


Ilustración 10-4: Factor de seguridad del disco de frenos

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

El factor de seguridad mínimo aplicando las cargas de simulación es de 8,606 el cual es un valor aceptable que garantiza seguridad y confiabilidad en el disco de freno durante el proceso de frenado del prototipo go kart.

4.4. Resultado del análisis térmico del disco de freno

Del resultado de los cálculos de transferencia de calor se obtiene el valor de convección y flujo de calor, que se utilizan como datos de entrada aplicados en las caras planas del disco para el análisis térmico en el software CAE.

4.4.1. Temperatura

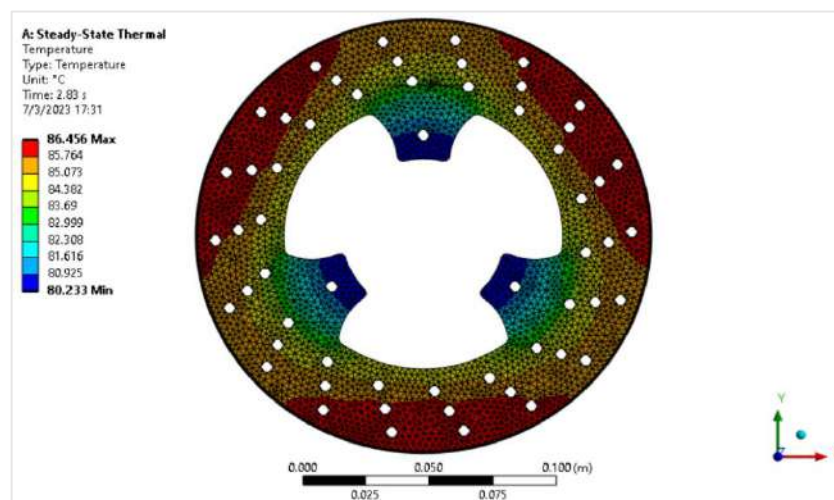


Ilustración 11-4: Resultados de la simulación térmica del disco de freno

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

Obteniendo como resultado una temperatura máxima en el tiempo de frenado con un valor de 86,46 °C.

4.5. Producto terminado



Ilustración 12-4: Implementación del sistema de frenos y sistema de dirección concluida.

Realizado por: Bravo, E.; Malqui, J. 2023

4.6. Hoja de verificación del sistema de dirección

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo			
Facultad de Mecánica			
Carrera de Ingeniería Automotriz			
Estudiantes: Elfer Efren Bravo Aguilar & Juan Carlos Malqui Trujillo			
Fecha: 16 de febrero de 2023			
DESCRIPCIÓN	Cumple	No cumple	
1 Volante	✓		
2 Columna de dirección	✓		
3 Varillas de dirección	✓		
4 Rodamientos	✓		
5 Manguetas de dirección	✓		
6 Manzanas	✓		
7 Rines y llantas	✓		

	Torque Requerido Nm	Torque Medido Nm
Ajuste de pernos del soporte de la columna de dirección al volante	$10 \pm 1 \text{ Nm}$	9 Nm
Ajuste de pernos del varillaje a la columna de dirección	$30 \pm 3 \text{ Nm}$	28 Nm
Ajuste de los pernos del varillaje a las manguetas	$30 \pm 3 \text{ Nm}$	28 Nm
Ajuste de perno rey entre el chasis y las manguetas	$30 \pm 3 \text{ Nm}$	28 Nm
Ajuste de pernos del neumático a la manzana	$30 \pm 3 \text{ Nm}$	28 Nm
Ajuste de la manzana a las manguetas	$95 \pm 5 \text{ Nm}$	95 Nm

4.7. Hoja de verificación del sistema de frenos

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo		
Facultad de Mecánica		
Carrera de Ingeniería Automotriz		
Estudiantes: Elfer Efren Bravo Aguilar & Juan Carlos Malqui Trujillo		
Fecha: 16 de febrero de 2023		
DESCRIPCIÓN	Cumple	No cumple
1	✓	
2	✓	
3	✓	
4	✓	
5	✓	
6	✓	
7	✓	

	Torque Requerido Nm	Torque Medido Nm
Ajuste de perno de pedal freno al chasis	$20 \pm 2 \text{ Nm}$	20 Nm
Conexión de la varilla de freno al pedal y a la bomba de freno	$6 \pm 0,6 \text{ Nm}$	6 Nm
Ajuste de dos pernos de la bomba de freno al chasis	$13 \pm 1 \text{ Nm}$	13,5 Nm
Ajuste de las pastillas de freno al caliper	$6 \pm 0,6 \text{ Nm}$	6 Nm
Ajuste de cañería de freno a la bomba hidráulica y al caliper	$5 \pm 0,5 \text{ Nm}$	5 Nm

Ajuste de pernos del caliper al chasis	$30 \pm 3 \text{ Nm}$	30 Nm
Ajuste de pernos de portadiscos al eje posterior y al disco de freno	$10 \pm 1 \text{ Nm}$	10 Nm
Ajuste de los pernos entre la chumacera y el chasis	$30 \pm 3 \text{ Nm}$	30 Nm
Ajuste de pernos del aro a la manzana	$30 \pm 3 \text{ Nm}$	30 Nm
Ajuste de los pernos la manzana al eje posterior	$13 \pm 1 \text{ Nm}$	13.5 Nm

CONCLUSIONES

En función de la recopilación de información se logró dimensionar y seleccionar los componentes, tanto del sistema de dirección como sistema de freno e implementarlo de forma correcta haciendo hincapié en las normas CIK/FIA.

La selección del sistema de dirección se realizó en función de la configuración del chasis, tomando medidas y modelando en software CAD, con ayuda de cálculos sobre el sistema de dirección de Ackerman y ángulos de camber, salida, caster de 1° , 11° , 18° respectivamente, dichos ángulos son fijos para el modelo de chasis. Y la adquisición de los componentes en el mercado como el volante, columna de dirección, varillaje, manguetas, rines y neumáticos.

Mediante cálculos de dinámica vehicular se obtuvo el diámetro externo del disco de 168 mm, con los resultados obtenidos se seleccionó los componentes del sistema frenos dependiendo de las medidas de los elementos que existan en el mercado y en función de la configuración del chasis, un disco de 180 mm de diámetro. En el análisis estático del disco de freno aplicando la presión que se obtiene de los cálculos 1,5111 MPa y la fuerza de rozamiento de 1167.57 N en las áreas de contacto entre el disco y las pastillas nos determinó una deformación máxima del disco de freno de 14,703 μm , lo que representa una deformación pequeña y al obtener el resultado de la tensión equivalente de Von Mises del disco se obtuvo un resultado máximo de 29,047 MPa valor que no sobre pasa la resistencia de tensión última del material del hierro fundido gris del disco de freno por lo que se concluye que el disco de freno no fallara al momento de aplicarle la presión del circuito durante la frenada y el factor de seguridad mínimo es de 8,606.

Se analizó mediante software CAE la transferencia de calor entre las pastillas de freno y el disco, en condición de velocidad inicial de 70 km/h hasta detener el vehículo, dando como resultado una temperatura máxima instantánea de 86,46 $^\circ\text{C}$, la cual no tendrá ninguna afectación por fatiga térmica, debido a que la temperatura crítica que ocasiona agrietamiento por fatiga es aproximadamente 600 $^\circ\text{C}$.

Se implementó el sistema de dirección y sistema de frenos para el prototipo de go kart eléctrico exitosamente y posterior a ello se determinó mediante una hoja de verificación los ajustes correspondientes de los pernos y tuercas.

RECOMENDACIONES

Se recomienda regirse a los reglamentos técnicos de homologación de la CIK/FIA debido a que se debe cumplir una serie de requisitos para ciertas categorías.

Se recomienda respetar la configuración del chasis debido a que la fabricación está con parámetros ya establecidos, y realizar cualquier cambio, es decir cortar o modificar alguna parte de la estructura, se vería afectado no solo en la configuración sino también en la reglamentación técnica del chasis.

Se recomienda realizar en primer lugar los cálculos pertinentes para la selección del disco de frenos, posterior a ello y en base a la configuración del chasis realizar la selección de cada uno de los componentes del sistema de frenos, de igual forma se recomienda tener la licencia original del software de simulación debido a que la estudiantil tiene ciertos límites.

En este proyecto técnico al ser un go kart eléctrico se recomienda la factibilidad de estudio e implementación de un freno regenerativo ya que las mayores concentraciones de pérdidas por calor se concentran en el disco de freno.

BIBLIOGRAFÍA

AGUADO, Diego. Diseño y análisis de un chasis de kart de competición. (Trabajo de titulación). Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ingeniería Mecánica Carlos III. Madrid-España. 2014. pp 50-51. [Consulta: 2022-11-10]. Disponible en: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23229/PFC_Diego_Sebastian_Aguado_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

ALIBABA. *Bomba de freno Go Kar* [blog]. EE. UU. 2020. [Consulta: 14 de Noviembre de 2022]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/trade/search?tab=all&searchText=bomba+de+freno+go+kart>.

AMAZON. *Extremo de barra de acoplamiento de dirección exterior interior inferior superior junta de bola ajustable para ATV eléctrico Quad go Kart* [blog]. EE. UU. 2020. [Consulta: 14 de Noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.amazon.com/>.

AMAZON. *Neumáticos para go kart* [blog]. EE. UU. 2021. [Consulta: 10 de Noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.amazon.com/>.

BEER, Ferdinand, et al. *Mecánica de Materiales*. Sexta. México : McGraw Hill, 2013. 978-607-15-0934-5, pp. 532-539.

CALVO, Martín; & MIRAVETE, Marco. *Mecánica del automovil*. Barcelona-España: Reverté, 2012. p. 263.

CARPIO, Diego. Diseño y construcción del sistema de frenos de un vehículo de competencia formula SAE eléctrico. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana. Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz. Cuenca-Ecuador. 2018. pp. 7-11. [Consulta: 2022-11-10]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15358>.

CENGEL, Yunus A; & GHAJAR, Afshin J. *Heat and mass Transfer*. Sexta. New York : McGraw-Hill Education, 2020. ISBN 978-0-07-339819-8. p. 62.

CENGEL, Yunus; BOLES, Michael. *Transferencia de Calor y Masa*. Tercera. México : The McGraw-Hill Companies, 2007. ISBN 978-970-10-6173-2. p. 64.

CHOHUAN, Nirmal, et al. "Design and Fabrication of Electric Go-Kart Design and Fabrication of Electric Go-Kart". IJERT [En línea], 2020, (India), Vol. 9 , pp. 948-949. [Consulta: 20 octubre 2022]. ISSN: 2278-0181. Disponible en: <https://www.ijert.org/design-and-fabrication-of-electric-go-kart>.

KUMAR, Naveen; MISHRA, Sumit; & MISHRA, Sidharth. "Design and Analysis of Electric Go Kart". ResearchGate [En línea], 2020, (India), pp. 6. [Consulta: 25 octubre 2022]. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/345416536_DESIGN_AND_ANALYSIS_OF_ELECTRIC_GO_KART.

ROJAS, Oswaldo; & ROJAS, Luis. "Diseño Asistido por Computador". Industrial Data [En línea], 2006, (Perú), Vol. 9 , pp. 7-15. [Consulta: octubre 2022]. ISSN: 1560-9146. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/816/81690102.pdf>

DOMINGUEZ, Esteban; & FERRER, Julian. *Sistema de transmisión y frenado*. Madrid: Editex, 2018. ISBN 978-84-9161-421-0, p. 266.

FORNI, Carlos. *Los efectos del ajuste del avance en la puesta a punto de un kart* [blog]. España. 2017. [Consulta: 7 de noviembre de 2022]. Disponible en:
<https://tkart.it/es/magazine/consejos-de-los-expertos/gli-effetti-della-regolazione-del-caster-sullassetto-del-kart/#1>.

GARCÍA LEÓN, Ricardo Andrés; & FLÓREZ SOLANO, Eder Norberto. "Estudio analítico de la transferencia de calor por convección que afectan los frenos de disco ventilados". Tecnura [En línea], 2016, (Colombia), Vol. 20 , pp. 18-25. [Consulta: 24 enero 2023]. ISBN: 0123-921X. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6371474>.

GARCÍA LEÓN, Ricardo Andrés; ECHAVEZ DÍAZ, Robert Dajjan; & FLÓREZ SOLANO, Eder. "Análisis termodinámico de un disco de freno automotriz con pilares de ventilación tipo NACA 66-209". Inge Cuc [En línea], 2018, (Colombia), Vol. 14 , pp. 11-16. [Consulta: 23 enero 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.17981/ingecuc.14.2.2018.01>

GUAÑANA, Stalin. Implementación del Sistema de Freno de un Go-Kart Eléctrico para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. (Trabajo de titulación). Universidad de las Fuerzas Armadas. Departamento de

Ciencias de la Energía Mecánica. Carrera de Tecnología en Mecánica Automotriz. Latacunga-Ecuador. 2021. pp 23-34. [Consulta: 2022-11-8]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/27335/1/M-ESPEL-MAT-0140.pdf>

NTE INEN 2185-2012. Material de fricción para el sistema de frenos de automotores, requisitos e inspección. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2185-3.pdf>.

JIMÉNEZ ESCOBAR, César Octavio; & MEDINA GONZÁLES, Jose Agustín. Análisis y diseño de un disco de freno de una unidad minibaja. (Trabajo de titulación). Instituto Politecnico nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Ticomán-México. 2012. pp 29-31. [Consulta: 2022-01-30]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12165/1787%202012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

KINDLER, H; & KYNAST, H. *Matemática aplicada para la técnica el automóvil.* Octava. Barcelona : Reverté S.A, 2001. ISBN: 84-291-1443-2. pp. 201-210.

LANCHIMBA, Melanie. Implementación un sistema de dirección para un Go-Kart eléctrico. (Trabajo de titulación). Universidad de las Fuerzas Armadas. Departamento de Ciencias de la Energía Mecánica. Carrera de Tecnología en Mecánica Automotriz. Latacunga-Ecuador. 2021. pp 20-32. [Consulta: 2022-10-12]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/27331/1/M-ESPEL-MAT-0144.pdf>.

LLIVISACA AUCAPIÑA, Carlos Alfredo. Diseño y construcción del sistema de dirección de un vehiculo de competencia formula sae eléctrico. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 2018. [Consulta: 2022-08-31]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15520/1/UPS-CT007621.pdf>.

LUQUE, Pablo; et al. *Ingeniería del Automóvil: sistemas y comportamiento dinámico.* Madrid : Paraninfo, 2012. ISBN: 978-84-9732-282-9.

MALLA, Edison. Implementación y adaptación de un sistema de dirección mecánica y un sistema de frenos hidráulicos en la construcción de un vehículo go kart. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, Ecuador. 2019. [Consulta: 2022-09-02]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24849/1/M-ESPEL-mat-0073.pdf>

MARTÍN, Jesús; & MIRAVETE, Antonio. *Mecánica del Automovil Actualizada*. Barcelona [En línea] Reverté, S.A, 2012. [Consulta: 21 diciembre 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/176157>.

MECAFENIX. Tipos de frenos automotrices. [En línea] 2018. [Consulta: 14 Noviembre 2022.] Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/automotriz/frenos-automotrices/>.

MORISHO, P; & BAHRAM, Abdallah. "Design and Fabrication of an Electric Go-kart". International Journal of Scientific and Research Publications [en línea], 2022, (Kenya), [Consulta: 20 Octubre 2022.], ISSN 2250-3153 Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/370073349_Design_and_Fabrication_of_an_Electric_go-kart

MONDOKART. Disco de freno trasero autoventilado [En línea] 2021. Disponible en: <https://www.mondokart.com/es/tonykart-otk-kosmic-mondokart/sistema-de-frenado-otk-mondokart/discos-freno-otk-mondokart/disco-freno-trasero-180-x-13-mm-otk-tonykart.html>.

NAVARRO CHÁVEZ, José César Lenin. *Epistemología y metodología*. [ed.] Javier Enrique Callejas. México : Grupo Editorial Patria, 2014. pp. 194-195. ISBN 978-607-438-864-0.

NORTON, Robert. *Diseño de Máquinas*. Cuarta. México : Pearson Educación, 2011. pp. 999-1000. ISBN 978-607-32-0589-4.

PÉREZ MONTIEL, Héctor. *Física general*. Quinta. México : Grupo Editorial Patria, 2015. ISBN: 9786077442813. p. 271.

REMOLINA, Edwin; et al. "Procedimiento para la estimación del coeficiente de fricción neumático-vía". Logos Ciencia y Tecnología [en línea], 2020, (Colombia) Vol. XII.

PUETATE MEDINA, Edwin Andrés. Diseño y construcción de los sistemas de suspensión y frenos para un prototipo de go kart con base al reglamento de la FIA. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador. 2016. [Consulta: 2022-11-14]. Disponible en: <https://1library.co/document/q76r63ky-diseno-construccion-sistemas-suspension-frenos-prototipo-kart-reglamento.html>

QUEZADA POMA, Pablo Andrés. Diseño y fabricación del chasis para un kart KF4 según la normativa CIK/FIA. [En línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 2018. [Consulta: 2022-10-30]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15766/1/UPS-CT007735.pdf>.

YAN, H; et al. "Role of cross-drilled holes in enhanced cooling of ventilated brake discs". [En línea]. 2015. (China) pp. 4-22. [Consulta: 20 diciembre 2022] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431115008388>

SAHEB, Shaik Himam; et al. Design report of a go kart vehicle. [En línea]. 2016. [Consulta: 7 Noviembre 2022.] ISSN No. 2455-2143. Disponible en: <http://www.ijeast.com/papers/95-102,Tesma109,IJEAST.pdf>

SALAZAR, Francisco. *Análisis de un kart de competición y sus componentes.* [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España. 2011. [Consulta: 2022-11-3]. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/5673/files/TAZ-PFC-2011-125.pdf>

ŠTOL, Michal. *Pohon Motokáry Elektromotorem.* [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría) Brno University of Technology, República Checa Brno, 2012. [Consulta: 2022-12-14] Disponible en: <http://hdl.handle.net/11012/11994>.

Federation Internationale de L'Automobile. *Technical Regulations for Electric Karts.* París, 2020, págs. 6-9.

CARRASCO, Juan. "Tecnología avanzada del diseño y manufactura asistido por computador CAD/CAM" Redalyc [En línea], 2006, (Colombia) Prospectiva, Vol. 4, pp. 75-81. [Consulta: 9 noviembre 2022]. ISSN 1692-8261. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4962/496251107012.pdf>

BURRISGE, Mark; & ANAHAKOON, Sanath. "The Design and Construction of a Battery Electric Vehicle Propulsion System". Rockhampton [En línea], 2017, (Australia) [Consulta: 17 enero 2023] Disponible en https://www.researchgate.net/publication/318319283_The_Design_and_Construction_of_a_Battery_Electric_Vehicle_Propulsion_System_-_High_Performance_Electric_Kart_Application

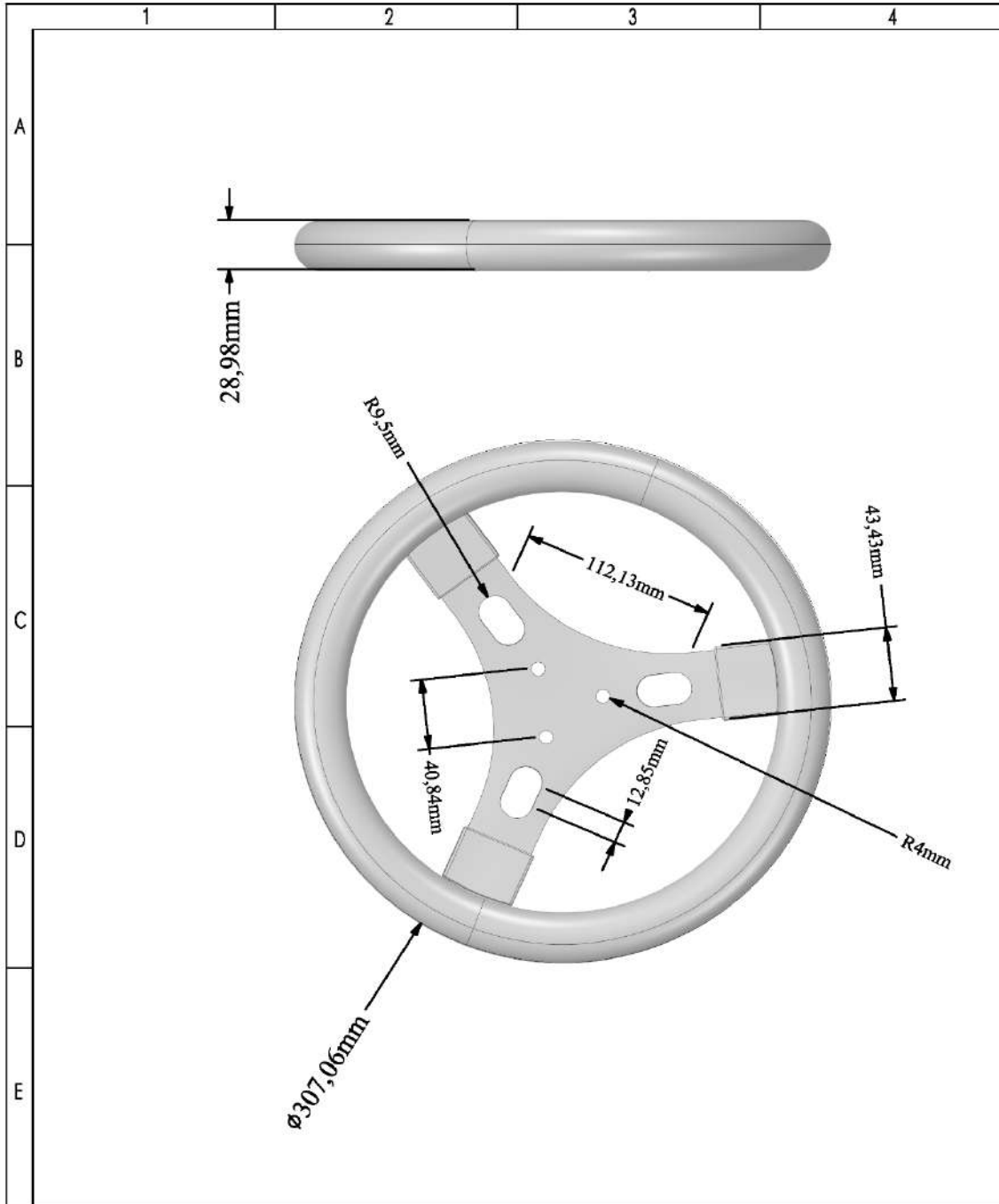
VALDERRAMA GUAL, Francisco Andrés. Diseño en CATIA V5 R19 de un Kart. [En línea] (Trabajo de titulación) Universidad de Sevilla, España. 2020. [Consulta: 10 de Noviembre de 2022.] Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial521.pdf>.

YUAN-LIN, Chen; & CHONG-AN, Wang. "Vehicle Safety Distance Warning System: A Novel Algorithm for Vehicle Safety Distance Calculating Between Moving Cars". IEEE Xplore [En línea] 2022. pp. 1809-1816. [Consulta: 12 enero 2023] Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4212957>

Wood. Woodbridge Kart Club. [En línea] 2016. [Consulta: 16 enero 2023.] Disponible en: <https://www.woodbridgekartclub.com/kart-scaling-weight-distribution/>.

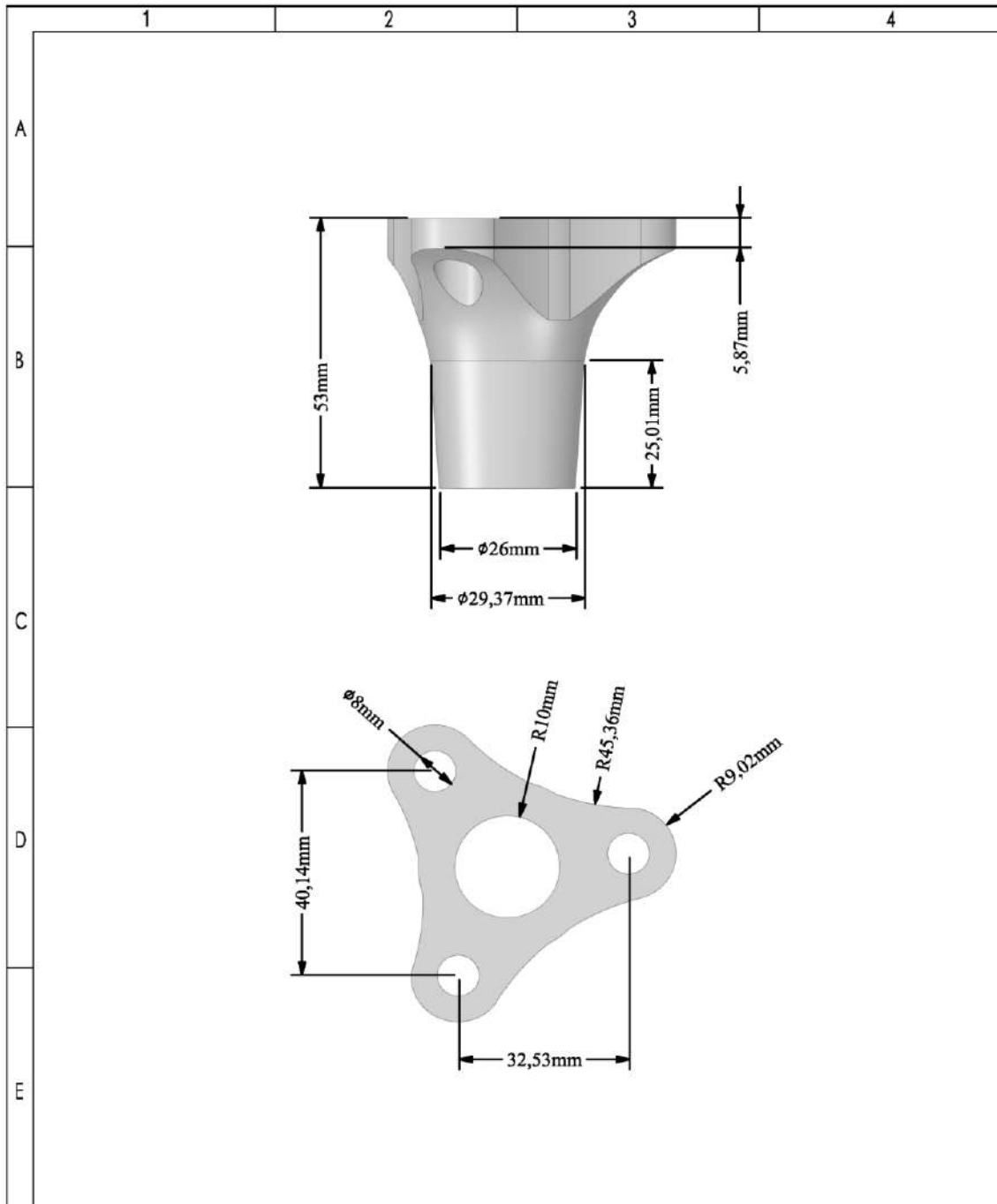
ANEXO



ANEXO A: VOLANTE DE DIRECCIÓN



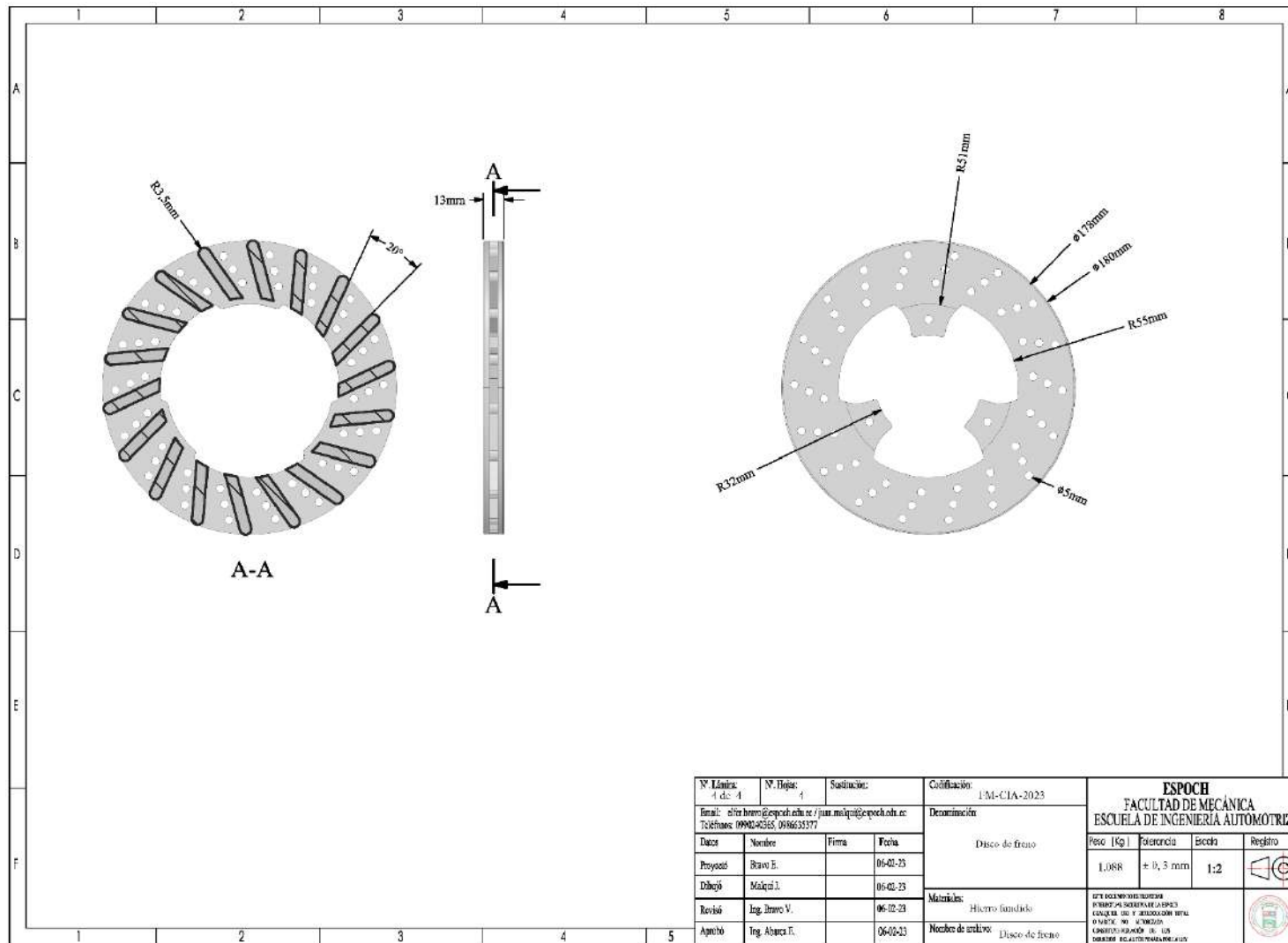
Nº. Lámina: 1 de 4	Nº. Hojas: 4	Sustitución:	Codificación: FM-CLA-2023	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ							
Email: elfer.bravo@esPOCH.edu.ec / juan.malqui@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0990240365, 0986635377			Denominación: Volante de dirección					Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma	Fecha	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE LA ESPOCH. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY.							
Proyectó	Bravo E.		06-02-23					0,64	±0,3mm	1:3	
Dibujó	Malqui J.		06-02-23								
Revisó	Ing. Bravo V.		06-02-23								
Aprobó	Ing. Abarca E.		06-02-23								
			Materiales: Duraluminio y recubrimiento de cuero								
			Nombre de archivo: Sistema de dirección								

ANEXO B: SOPORTE DE DIRECCIÓN



Nº. Lámina: 2 de 4	Nº. Hojas: 4	Sustitución:	Codificación: FM-CIA-2023	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ				
Email: elfer.bravo@esPOCH.edu.ec / juan.malqui@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0990240365, 0986635377			Denominación: Soporte					Peso [Kg]
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: Duraluminio	0,10	± 0,3 mm	1:1	
Proyectó	Bravo E.		06-02-23					
Dibujó	Malqui J.		06-02-23	Nombre de archivo: Soporte	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE LA ESPOCH CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR, PENADA POR LA LEY			
Revisó	Ing. Bravo V.		06-02-23					
Aprobó	Ing. Abarca E.		06-02-23					

ANEXO D: DISCO DE FRENO

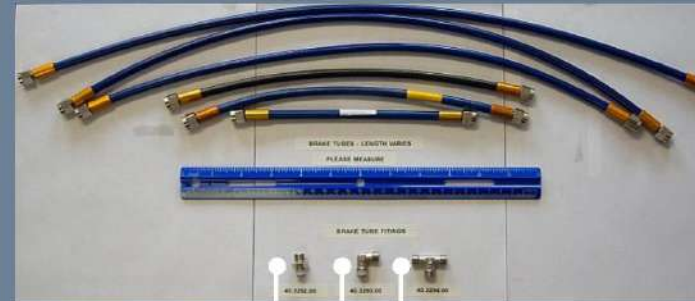


ANEXO E: FICHA TÉCNICA DE FRENOS MARCA FREELINE

FREELINE BRAKES - Pg. 1

Freeline Brakes are #1 in the karting industry, but keeping them serviced is important for safety and reliability. Look for your component and replacement parts by following this part # guide.

Brake Lines - use the ruler in the photos to make sure you order the right length brake lines or brake cables.



Brake Cable Part #'s:

-Brake rod lengths vary - measure

107071.00

105244.00

Brake Line & Fittings Part #'s:

-Line lengths vary - measure

40.3294.00

40.3293.00

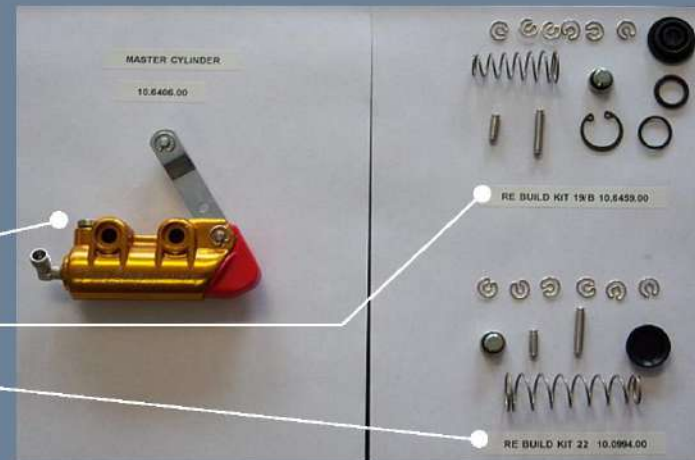
40.3292.00

Master Cylinder Part #'s:

10.6406.00

10.6459.00

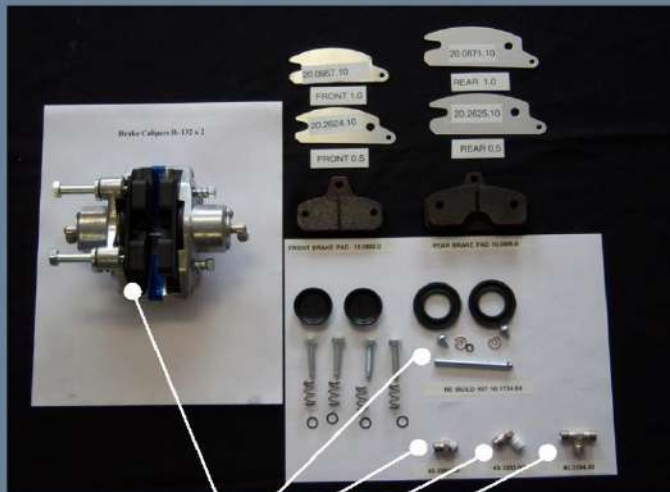
10.0994.00



FREELINE BRAKES - Pg. 2

Freeline Brakes are #1 in the karting industry, but keeping them serviced is important for safety and reliability. Look for your component and replacement parts by following this part # guide.

CALIPER SYSTEMS - Search for your system to locate replacement part #'s.



- Brake Caliper - B132x2
- Rebuild Kit, 10.1734.00
- Fitting, 40.3292.00
- Fitting, 40.3293.00
- Fitting, 40.3294.00
- Front Pad (left) - 10.0892.00
- Rear Pad (right) - 10.0890.00
- Shims:
- (.5 front) 20.2624.10, (.5 rear) 20.2625.10
- (1.0 frt) 20.0957.10, (1.0 rear) 20.0871.10



Brake Caliper C124-H12:

- Rebuild Kit, 10.6370.00
- Pads:
- front (old) 10.4709.00
- front (new) 10.7596.00
- Shims:
- front 1.0 - 20.4712.10
- front .5 - 20.4711.10



- Brake Caliper - C128
- 1.0 Shim, 20.4609.10
- .5 Shim, 20.4608.10
- Rear Pad, 10.4434.00
- Rebuild Kit, 10.6367.00