

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**Diseño y análisis estático de un marco de triciclo delta con material
compuesto PRFV para reducir su masa**

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

AUTOR

Julio Cesar Murgueytio Zapata

ASESOR

Elmer Rolando Polo Briceño

<https://orcid.org/0000-0002-5831-8818>

Chiclayo, 2023

**Diseño y análisis estático de un marco de triciclo delta con
material compuesto PRFV para reducir su masa**

PRESENTADA POR

Julio Cesar Murgueytio Zapata

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Alejandro Segundo Vera Lázaro

PRESIDENTE

Lucio Antonio Llontop Mendoza

SECRETARIO

Elmer Rolando Polo Briceño

VOCAL

Dedicatoria

A quienes me inspiraron, ayudaron y apoyaron. A mis padres, tía y hermana, por haber creído en mí, brindándome ejemplo de superación y sacrificio; enseñándome a valorar el esfuerzo y perseverancia de cada logro. Por el apoyo incondicional en mi formación personal y profesional, por estar a mi lado en todo momento, motivando a alcanzar las metas propuestas, con integridad y respeto

Agradecimientos

A Dios y a la Virgen, como guías de camino, de superación y fortaleza ante los retos presentes.

A mi asesor, Ing. Elmer Polo, por el apoyo y enseñanzas en la materia, por la confianza y ánimos en cada asesoría brindada para el desarrollo de la presente tesis.

A mi familia y amigos, cuyas palabras de aliento, demostraron en mí, inspiración y dedicación.

Tesis final

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	<1%
4	Deyby Huamanchahua, Jhon O. Arce-Cadillo. "Development of Exoskeleton Adjustable to Peruvian Anthropometry for the Rehabilitation of the Upper Right Limb in Patients with Joint Mobility Deficit", 2022 IEEE 13th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON), 2022 Publicación	<1%
5	core.ac.uk Fuente de Internet	<1%
6	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1%

Índice

Resumen.....	10
Abstract.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2. JUSTIFICACIÓN	14
1.3. OBJETIVOS.....	15
II. MARCO TEÓRICO	16
2.1. MARCO DE REFERENCIAS DEL PROBLEMA.....	16
2.2. BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS	17
2.2.1. ANÁLISIS MECÁNICO – ESTÁTICO ESTRUCTURAL.....	17
□ Esfuerzo axial	17
□ Esfuerzo cortante.....	18
□ Esfuerzo por torsión.....	19
□ Factor de seguridad.....	20
□ Diagrama de esfuerzo y deformación	20
□ Centro de gravedad.....	21
□ Sistema de transmisión	21
□ Diagrama de cuerpo libre estático - cinético.....	21
2.2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	21
III. MARCO METODOLÓGICO.....	22
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	22
3.1.1. ENFOQUE	22
3.1.2. TIPO.....	23
3.1.3. NIVEL	23
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	23
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	23
3.4. CRITERIOS DE SELECCIÓN	23
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	23
3.6. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	24
3.7. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	24
3.8. METODOLOGÍA DEL DISEÑO.....	25
3.9. MATRIZ DE CONSISTENCIA	26
IV. RESULTADOS.....	27
Ventajas de diseño de un vehículo de potencia humana – triciclo delta.....	27
Concepto y consideraciones.....	32
Ergonomía, antropometría y su relación con la producción de potencia.....	37
Distribución de piezas y elementos	44

Antropometría y tallaje	44
Inclinación del ángulo del asiento, línea horizontal y respaldar	49
Modelado en software	52
Análisis estático	57
Materiales a utilizar	58
Análisis teórico de cargas y esfuerzos sobre el chasis	60
Simulación análisis estático	70
Comparación con materiales actuales	80
Incidencia de la reducción de masa sobre la resistencia estructural del marco del vehículo.....	90
V. CONCLUSIONES.....	95
VI. RECOMENDACIONES.....	97
Referencias.....	98
ANEXOS	102
Anexo 1.....	102
Anexo 2.....	103
Anexo 3.....	104
Anexo 4.....	105

Lista de figuras

FIG. 1: REPRESENTACIÓN DE ESFUERZO AXIAL SOBRE UN PRISMA MECÁNICO [11, p. 38]	18
FIG. 2: REPRESENTACIÓN DE ESFUERZO CORTANTE SIMPLE SOBRE UN PERNO [11, p. 10]	18
FIG. 3: REPRESENTACIÓN DE ESFUERZO CORTANTE DOBLE SOBRE UN PERNO [11, p. 11]	19
FIG. 4: REPRESENTACIÓN DE ESFUERZO POR TORSIÓN EN UN EJE CIRCULAR [11, pp. 138 - 139]	19
FIG. 5: DIAGRAMA DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN [11, p. 55]	20
FIG. 6: DIAGRAMA DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN [12, p. 110]	21
FIG. 7: HPV TRICICLO ESTILO DELTA [15]	22
FIG. 8: VISTAS ISOMETRICAS DEL BOSQUEJO A DE UN TRICICLO DELTA	34
FIG. 9: PIEZAS PRINCIPALES DEL BOSQUEJO A	35
FIG. 10: VISTAS ISOMETRICAS DEL BOSQUEJO B DE UN TRICICLO DELTA	36
FIG. 11: PIEZAS PRINCIPALES DEL BOSQUEJO B	37
FIG. 12: EFECTO DE ACELERACIÓN DE DIFERENTES VPH – VELOCIDAD VS ÁREA FRONTAL EFECTIVA [25, p. 149]	38
FIG. 13: REPRESENTACION DEL ANGULO DEL ASIENTO EN UNA BICICLETA VERTICAL [28]	42
FIG. 14: MODELO MECANICO Y ANÁLISIS CINEMÁTICO DE UN SISTEMA DE CICLISMO VERTICAL. (HA- HIP ANGLE; KA- KNEE ANGLE; AA- ANKLE ANGLE) [29, p. 62]	42
FIG. 15: ONDAS SINUSOIDALES DESARROLLADAS POR EL ÁNGULO DE LA BIELA Y LA FLEXION DE LA CADERA Y LA RODILLA [29, p. 63].	43
FIG. 16: COMPARATIVA EN MÁXIMO EJERCICIO ENTRE CICLISMO RECLINADO Y VERTICAL [30, p. 42].	43
FIG. 17: MODELO CINEMÁTICO DE UNA PERSONA EN UN SISTEMA DE CICLISMO RECLINADO	44
FIG. 18: PARÁMETROS ANTROPOMÉTRICOS [31, p. 234]	45
FIG. 19: MODELO CINEMÁTICO DE UNA PERSONA EN UN SISTEMA DE CICLISMO RECLINADO CON LA UBICACIÓN DE LONGITUDES EN EL PLANO SAGITAL, ADAPTADO DEL MODELO “MUÑECO DE PRUEBAS” DE FERNANDO SANTOS [35].	47
FIG. 20: CURVA CON AJUSTE DE LA RELACIÓN DE ÁNGULOS DEL ASIENTO Y LA POTENCIA DE SALIDA EN WATTS	50
FIG. 21: RELACIÓN ENTRE EL RANGO DE ÁNGULOS DE ASIENTO Y POTENCIA DE SALIDA	50
FIG. 22: AUMENTO A LA CURVA DE ÁNGULOS DE ASIENTO Y POTENCIA DE SALIDA	51
FIG. 23: CURVA DE LA RELACIÓN DE LA INCLINACIÓN DEL ASIENTO Y EL TIEMPO DE CICLISMO	51
FIG. 24: ACOTACIONES EN MM Y LÍNEAS GUÍA PARA EL MODELO DEL MARCO	53
FIG. 25: CONCEPTO DE MODELADO CAD	53
FIG. 26: VISTA DEL PERFIL RECTANGULAR DEL MARCO	54
FIG. 27: VISTA DEL PERFIL CIRCULAR DEL TUBO GUÍA	54
FIG. 28: VISTA EXPLOSIONADA CON SUBSISTEMAS	55
FIG. 29: VISTA EXPLOSIONADA INCLUYENDO LA TOTALIDAD DEL MARCO	55
FIG. 30: REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA COLOREADA CAD	56
FIG. 31: REPRESENTACIÓN RENDERIZADA ISOMÉTRICA CAD	56
FIG. 32: REPRESENTACIÓN EN VISTA LATERAL CAD	57
FIG. 33: PLANTEAMIENTO DE CARGAS EN EL SISTEMA	61
FIG. 34: DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA	62
FIG. 35: PLANTEAMIENTO DE CARGAS EN SEGMENTO ABC DEL CHASIS	63
FIG. 36: DESCOMPOSICIÓN DE FUERZAS EN EL PUNTO C	63
FIG. 37: DESCOMPOSICIÓN DE FUERZAS EN EL PUNTO D	66
FIG. 38: PLANTEAMIENTO DE CARGAS Y DISTANCIAS EN SEGMENTO RK-RR-RO DEL CHASIS	68
FIG. 39: NUMERACIÓN DE PARTES QUE CONFORMAN EL HPV	70
FIG. 40: VISTA EXPLOSIONADA DE LAS PARTES DE LA ESTRUCTURA A ANALIZAR	72
FIG. 41: MALLADO BASADO EN CURVATURA DE COMBINADO	73
FIG. 42: REPRESENTACIÓN Y GRÁFICA DE ESFUERZOS CON CARGA DE FUERZA DE GRAVEDAD AL MARCO EN MATERIAL PRFV	74
FIG. 43: PUNTO EN DONDE SE HA APLICADO EL MÁXIMO ESFUERZO CON CARGA DE FUERZA DE GRAVEDAD AL MARCO EN MATERIAL PRFV	74
FIG. 44: TENSIONES NORMALES RESPECTO AL EJE Y CON CARGA DE FUERZA DE GRAVEDAD AL MARCO EN MATERIAL PRFV	75

<i>FIG. 45: DESPLAZAMIENTO EN MILÍMETROS DE LA ESTRUCTURA APLICANDO CARGA DE FUERZA DE GRAVEDAD AL MARCO EN MATERIAL PRFV</i>	75
FIG. 46: GRAFICA Y REPRESENTACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD APLICANDO CARGA DE FUERZA DE GRAVEDAD AL MARCO EN MATERIAL PRFV	76
FIG. 47: LUGAR DE APLICACIÓN DE LAS CARGAS	77
FIG. 48: REPRESENTACIÓN Y GRÁFICA DE ESFUERZOS CON MATERIAL PRFV	77
FIG. 49: ESFUERZOS SOBRE EL MIEMBRO ESTRUCTURAL – TUBO GUÍA DEL TIMÓN Y HORQUILLA	78
FIG. 50: PUNTO EN DONDE SE HA APLICADO EL MÁXIMO ESFUERZO	78
FIG. 51: DESPLAZAMIENTO EN MILÍMETROS DE LA ESTRUCTURA CON PRFV	79
<i>FIG. 52: GRAFICA Y REPRESENTACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD APLICADO AL ENSAMBLAJE</i>	79
FIG. 53: REPRESENTACIÓN Y GRÁFICA DE ESFUERZOS CON MATERIAL DE FIBRA DE CARBONO	81
FIG. 54: ESFUERZOS SOBRE EL MIEMBRO ESTRUCTURAL – SOPORTE DONDE SE UBICARÁN LOS AMORTIGUADORES DE FIBRA DE CARBONO	81
FIG. 55: DESPLAZAMIENTOS DE LA ESTRUCTURA CON MATERIAL DE FIBRA DE CARBONO	82
FIG. 56: FACTOR DE SEGURIDAD DEL MARCO CON FIBRA DE CARBONO LAMINADA 45°	82
<i>FIG. 57: ESFUERZO DESARROLLADO SOBRE LA ESTRUCTURA CON ALUMINIO 6061 T6</i>	83
FIG. 58: ESFUERZOS SOBRE EL MIEMBRO ESTRUCTURAL CON ALUMINIO 6061 T6	84
FIG. 59: DESPLAZAMIENTO DE LA ESTRUCTURA CON MATERIAL ALUMINIO 6061 T6	84
FIG. 60: FACTOR DE SEGURIDAD DEL MARCO CON ALUMINIO 6061 T6	85
<i>FIG. 61: ESFUERZOS APLICADOS SOBRE LA ESTRUCTURA CON ALUMINIO 7075 T6</i>	86
FIG. 62: ESFUERZOS SOBRE EL MIEMBRO ESTRUCTURAL CON ALUMINIO 7075 T6	86
FIG. 63: DESPLAZAMIENTO DE LA ESTRUCTURA CON MATERIAL ALUMINIO 7075 T6	87
FIG. 64: FACTOR DE SEGURIDAD DEL MARCO CON ALUMINIO 7075 T6	87
FIG. 65: ESFUERZOS DESARROLLADOS CON MATERIAL ACERO CROMOLY	88
FIG. 66: ESFUERZOS SOBRE EL MIEMBRO ESTRUCTURAL CON ACERO CROMOLY	89
FIG. 67: DESPLAZAMIENTOS DE LA ESTRUCTURA CON MATERIAL DE ACERO CROMOLY	89
<i>FIG. 68: FACTOR DE SEGURIDAD DEL MARCO CON ACERO CROMOLY</i>	90

Lista de Gráficos

GRÁFICO 1: COMPARATIVA DE DENSIDADES DE LOS MATERIALES CONSIDERADOS	91
GRÁFICO 2: COMPARATIVA DE MASAS EN EL CUADRO DEL VEHÍCULO.	91
GRÁFICO 3: COMPARATIVA DEL LÍMITE ELÁSTICO DE LOS MATERIALES CONSIDERADOS.	91
GRÁFICO 4: COMPARATIVA DE ESFUERZOS EN EL CUADRO DEL VEHÍCULO.	92
GRÁFICO 5: COMPARATIVA DE FACTORES DE SEGURIDAD EN EL CUADRO DEL VEHÍCULO.	92
GRÁFICO 6: COMPARATIVA DE DESPLAZAMIENTOS EN EL CUADRO DEL VEHÍCULO.	92
GRÁFICO 7: COMPARATIVA DE PRECIO DE LOS MATERIALES CONSIDERADOS	93

Lista de tablas

TABLA 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA	26
TABLA 2: MATRIZ DE IMPORTANCIA	27
TABLA 3: MATRIZ DE IMPORTANCIA SOBRE LAS NECESIDADES	28
TABLA 4: MATRIZ DE VALORES Y UNIDADES MÉTRICAS	28
TABLA 5: MATRIZ DE NECESIDADES - MÉTRICAS	29
TABLA 6: MATRIZ MORFOLÓGICA	30
TABLA 7: COMPARATIVA DINÁMICA DE VEHÍCULOS CON ESTILO RECLINADO	40
TABLA 8: RELACIÓN ENTRE LOS ÁNGULOS DE LAS ARTICULACIONES Y LA POTENCIA GENERADA	41
TABLA 9: MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS	46
TABLA 10: DATOS ANTROPOMÉTRICOS	48
TABLA 11: DATOS ANTROPOMÉTRICOS EN CM	49
TABLA 12: RELACIÓN ENTRE EL RANGO DE ÁNGULOS DEL ASIENTO, LA POTENCIA DE SALIDA Y EL TIEMPO DE CICLISMO	52
TABLA 13: PROPIEDADES DEL MATERIAL FUNDICIÓN DE RESINA POLIÉSTER RÍGIDA	58
TABLA 14: PROPIEDADES DEL MATERIAL FIBRA DE VIDRIO DE GRADO S	59

TABLA 15: PROPIEDADES DEL MATERIAL SINTETIZADO	59
TABLA 16: REGISTRO DEL MATERIAL Y CONFIGURACIÓN.....	60
TABLA 17: DATOS DE MASA EN DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL CUERPO HUMANO.....	61
TABLA 18: COMPONENTES UTILIZADOS EN EL SISTEMA Y SUS MASAS	70
TABLA 19: PARÁMETROS DE MALLADO.....	72
TABLA 20: FUERZAS ESTABLECIDAS EN EL VEHÍCULO.....	76
TABLA 21: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA FIBRA DE CARBONO [46]	80
TABLA 22: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ALUMINIO 6061 T6 [46].....	83
TABLA 23: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ALUMINIO 7075 T6 [46].....	85
TABLA 24: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO AISI 4130 [46].....	88
TABLA 25: RESUMEN DE MATERIALES Y SUS RESULTADOS	94

Resumen

Los vehículos de tracción humana presentan una tendencia creciente debido a su alta demanda en el ámbito profesional como recreativo. Un criterio importante para el usuario es preferir vehículos de construcción ligera, factor relacionado a la masa, por ende, al material de fabricación. Por ello, los materiales compuestos actualmente se presentan como una alternativa en los vehículos de potencia humana, frente a los materiales utilizados actualmente; por tanto, el estudio desarrollado es acerca del componente de cuadro o marco de un vehículo no profesional impulsado por tracción humana estilo delta (HPV – Human Powered Vehicle). Este marco ha sido analizado con la matriz de un material compuesto liviano, constituido por la combinación de dos materiales de propiedades químicas y mecánicas diferentes, siendo en este caso, la matriz de Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV). Sintetizada mediante el software CES EduPack la matriz isotrópica lineal se configura bajo 7 capas intercaladas entre “Fundición de resina poliéster rígida” de 0,25 mm (capa impar) y “Fibra de vidrio grado S” de 3,00 mm (capa par). Mediante el software SOLIDWORKS, se emplearon las nuevas propiedades mecánicas obtenidas para realizar un análisis estático aplicando las cargas distribuidas en la estructura del marco, comprobando que la relación entre densidad ($2,36 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$), masa (12,1246 kg) y soporte de esfuerzos es óptima en el desarrollo para la aplicación pertinente, pues se registró un esfuerzo máximo de 29,746 MPa sobre el límite elástico de 971,5 MPa; considerándose como una alternativa viable liviana de material compuesto.

Palabras claves: Vehículo de potencia humana, análisis estático estructural, materiales compuestos, masa, poliéster reforzado por fibra de vidrio, antropometría.

Abstract

Human-powered vehicles present an increasing tendency due to their high request in the professional as well as recreational sector. An important criterion for the user is to have a preference for vehicles of lightweight construction, a factor related to the mass, ergo, to the material of manufacture. Therefore, composite materials are currently presented as an alternative in human-powered vehicles, in comparison to the materials currently used; therefore, the study developed is about the frame component of a non-professional human powered vehicle delta style (HPV – delta style). This frame has been analyzed with the matrix of a composite material constituted by the combination of two materials with different chemical and mechanical properties, in this case, the matrix of Fiberglass Reinforced Polyester (FRP). Synthesized using CES EduPack software, the linear isotropic matrix is configured under 7 layers between "Rigid polyester resin casting" of 0,25 mm (odd layer) and "S grade fiberglass" of 3,00 mm (even layer). Using SOLIDWORKS software, the new mechanical properties obtained were used to perform a static analysis applying the distributed loads on the frame structure, proving that the relationship between density ($2,36 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$), mass (12,1246 kg) and stress support is optimal in the development for the relevant application, since a maximum stress of 29,746 MPa over the elastic limit of 971,5 MPa was recorded; being considered as a viable alternative composite material.

Keywords: Human-powered vehicle, static structural analysis, composite materials, mass, Fiberglass Reinforced Polyester, anthropometry