



Universidad César Vallejo

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA**

Diseño de un prototipo simulador de cargas dinámicas para el
análisis de esfuerzos en prótesis transtibial

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Caballero Ponte, Zocimo Eliazar (orcid.org/0000-0003-0684-862X)

Quiroz Marquina, Percy Clever (orcid.org/0000-0003-2202-433X)

ASESOR:

Mg. Mirez Tarrillo, Jorge Luis (orcid.org/0000-0002-5614-5853)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

TRUJILLO – PERÚ

2023

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia y amigos que me han motivado e inspirado en el transcurso de mi carrera profesional. Cada consejo ha sido el pilar para alcanzar mis metas.

Zocimo E. Caballero Ponte

Dedico este trabajo a mis padres y hermanos, fuente inagotable de inspiración y apoyo incondicional durante mi trayectoria en la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica. También a mis amigos y seres queridos que, con su apoyo, han hecho posible este logro.

Percy C. Quiroz Marquina

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ayudarme, guiarme y cuidarme en cada instante de mi vida. Gracias a mis padres y hermanos por su apoyo sincero e incondicional. Agradezco a cada profesor por resolver mis dudas y compartir su conocimiento.

Zocimo E. Caballero Ponte

Quiero agradecer a mi familia por ofrecerme su constante apoyo y comprensión durante el transcurso de mi carrera. También agradecer a mis profesores por su orientación y conocimientos compartidos a lo largo de mi formación profesional.

Percy C. Quiroz Marquina



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, MIREZ TARRILLO JORGE LUIS, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Diseño de un Prototipo Simulador de Cargas Dinámicas para el Análisis de Esfuerzos en Prótesis Transtibial", cuyos autores son CABALLERO PONTE ZOCIMO ELIAZAR, QUIROZ MARQUINA PERCY CLEVER, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 11.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 27 de Diciembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
MIREZ TARRILLO JORGE LUIS DNI: 27423478 ORCID: 0000-0002-5614-5853	Firmado electrónicamente por: JMIREZTA el 27-12- 2023 22:56:16

Código documento Trilce: TRI - 0710712



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, CABALLERO PONTE ZOCIMO ELIAZAR, QUIROZ MARQUINA PERCY CLEVER estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Diseño de un Prototipo Simulador de Cargas Dinámicas para el Análisis de Esfuerzos en Prótesis Transtibial", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
ZOCIMO ELIAZAR CABALLERO PONTE DNI: 72382870 ORCID: 0000-0003-0684-862X	Firmado electrónicamente por: ZCABALLEROP el 27- 12-2023 19:05:57
PERCY CLEVER QUIROZ MARQUINA DNI: 76832921 ORCID: 0000-0003-2202-433X	Firmado electrónicamente por: PQUIROZMA el 27-12- 2023 10:23:58

Código documento Trilce: TRI - 0710710

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR.....	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DE LOS AUTORES	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS	vi
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	3
III. METODOLOGÍA.....	25
3.1. Tipo y diseño de investigación	25
3.2. Variables y operacionalización	25
3.3. Población, muestra y muestreo	28
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	28
3.5. Procedimientos	28
3.6. Método de análisis de datos.....	29
3.7. Aspectos éticos	29
IV. RESULTADOS	30
V. DISCUSIÓN	89
VI. CONCLUSIONES.....	92
VII. RECOMENDACIONES	94
REFERENCIAS	95
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables del sistema de las ecuaciones (2) al (40).....	19
Tabla 2. Promedio de masas en base al W (peso) de la persona. Herman (2015)	20
Tabla 3. Promedio de longitud en base a la altura (H) de la persona. Herman (2015)	21
Tabla 4. Operacionalización de variables.....	27
Tabla 5. Selección de Conceptos.....	35
Tabla 6. Selección de Configuración.....	38
Tabla 7. Factor de corrección por servicio	44
Tabla 8. Factor de corrección por ubicación de tensores (KI)	45
Tabla 9. Factor de corrección por factores ambientales (KD).....	45
Tabla 10. Tensión efectiva aceptable en correas.....	47
Tabla 11. Coeficientes de fricción estática μ_S para diferentes recubrimientos (Valores aproximados)	52
Tabla 12. Factor C1 (válido para el tambor motriz)	53
Tabla 13. Factor C3 (válido para el tambor motriz)	53
Tabla 14. Selección de banda.....	54
Tabla 15. Esfuerzo de Von Mises del acero AISI 3013, 316 Y 1020	69
Tabla 16. Desplazamiento estático del eje 2 del acero AISI 304, 316, y 1020	71
Tabla 17. Factor de seguridad del eje 2 de acero AISI 304, 316 y 1020.....	72
Tabla 18. Esfuerzo de Von Mises del acero AISI 304, 316 y 1020 para el eje 3 ...	79
Tabla 19. Desplazamiento estático del eje 3 del acero AISI 304, 316, y 1020	80
Tabla 20. Factor de seguridad del eje 3 de acero AISI 304, 316 y 1020.....	81
Tabla 21. Costos de fabricación del prototipo simulador de cargas dinámicas	88
Tabla 22. Propiedades de materiales de bandas planas	103
Tabla 23. Factor de corrección en polea para bandas planas	103
Tabla 24. Dimensiones y clasificaciones de cojinetes de bolas serie 02	104
Tabla 25. Fuerzas, distancias y momentos con respecto a "0" de la estructura .	112

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura 1. Fases de la marcha.....	8
Figura 2. Longitud de Paso	8
Figura 3. Plano Sagital del Cuerpo Humano.....	10
Figura 4. Dorsiflexión y Flexión Plantar del pie (Norman, 2011).	10
Figura 5. Contacto del tobillo con el suelo en el primer intervalo	10
Figura 6. Movimiento de las articulaciones de la rodilla en el primer intervalo	11
Figura 7. Movimiento de las articulaciones del tobillo en el segundo intervalo	11
Figura 8. Movimiento de las articulaciones de la rodilla en el segundo intervalo .	11
Figura 9. Longitud de secciones del cuerpo en relación a la altura (H) de la persona.....	12
Figura 10. Nivel de corte de amputación	13
Figura 11. Modelo de 2 eslabones para simular el movimiento de la pierna	14
Figura 12. Ángulos y torque con perturbación y no perturbados en de la pierna, rodilla y tobillo derecho	21
Figura 13. Energía potencial y cinética de una pierna protésica y normal	22
Figura 14. Faja plana de transmisión	23
Figura 15. Polea de 3/8", 1/2" y 5/8"	24
Figura 16. Diagrama de caja negra del prototipo simulador de cargas en prótesis transtibiales.....	26
Figura 17. Posición angular de la pierna simulada en MATLAB.....	30
Figura 18. Cambio de Energías durante la marcha simulado en MATLAB	31
Figura 19. Concepto Solución N° 1	32
Figura 20. Concepto Solución N° 2	33
Figura 21. Concepto Solución N° 3	34
Figura 22. Configuración N° 1	36
Figura 23. Configuración N° 2	37
Figura 24. Dimensionamiento del sistema (mm).....	39
Figura 25. Sistema de Polea y Correa.....	40
Figura 26. Transmisión por banda plana	41
Figura 27. Diagrama de cinta transportadora	52
Figura 28. Diagrama de cuerpo libre del eje y tambor	56
Figura 29. Vista lateral del eje y el rodillo	57
Figura 30. Fuerza cortante	58
Figura 31. Momento flector del eje	58
Figura 32. Esfuerzo de Von Mises.....	59
Figura 33. Desplazamiento estático del rodillo	60

Figura 34. Factor de seguridad.....	60
Figura 35. Modelo 3D del eje 3y eje 2	61
Figura 36. Diagrama de cuerpo libre de la estructura	62
Figura 37. Designación de las poleas y medidas.....	64
Figura 38. Diagrama de cuerpo libre de la polea 2 ubicado en el punto	65
Figura 39. Diagrama de cuerpo libre del eje 2 y la polea 3	66
Figura 40. Diagrama de cuerpo libre del disco manivela.	73
Figura 41. Diagrama de cuerpo libre de la fuerza resultante en el punto A.....	74
Figura 42. Diagrama de cuerpo libre de la fuerza resultante en el punto	75
Figura 43. Diagrama de cuerpo libre del eje 3	76
Figura 44. Esfuerzo de Von Mises del mecanismo de acero A36 y AISI 1020	83
Figura 45. Desplazamiento estático del mecanismo del acero A36 y AISI 1020 ..	84
Figura 46. Factor de seguridad del mecanismo de acero A36 y AISI 1020	84
Figura 47. Esfuerzo de Von Mises de la estructura del prototipo	85
Figura 48. Desplazamiento estático de la estructura del prototipo.....	86
Figura 49. Factor de seguridad de la estructura del prototipo.....	86
Figura 50. Diseño 1: Sistema de movimiento de prótesis	101
Figura 51. Diseño 2: Mecanismo para sostener prótesis	101
Figura 52. Motor eléctrico de 4 polos de 0.33 Hp	102
Figura 53. Diagrama de fuerza cortante y momento en el eje 2 en el plano X-Z	108
Figura 54. Fuerza cortante y momento en el eje 2 en el plano X-Y	109
Figura 55. Fuerza cortante y momento flector del eje 3 en el plano X-Y.....	110
Figura 56. Fuerza cortante y momento flector del eje 3 en el plano X-Z.....	110
Figura 57. Diagrama de cuerpo libre de la estructura y fuerzas generados por los componentes	111
Figura 58. Diagrama de cuerpo libre de un perfil de la estructura.....	113
Figura 59. Propiedades de área de sección transversal del perfil.....	114

RESUMEN

En esta investigación se diseñó un prototipo simulador de cargas dinámicas para el análisis de esfuerzos en prótesis transtibial. Para ello se usó ecuaciones matemáticas del péndulo doble, basado en la metodología de Euler-Lagrange para modelar la marcha humana. El tipo de investigación fue aplicada de diseño exploratorio y descriptivo. La muestra realizada fue a una persona que ha sufrido una amputación transtibial de 1.65 m de altura y de peso de 71.8 kg. Los resultados obtenidos mediante la simulación en MATLAB del péndulo doble, durante la fase de balanceo, el ángulo de variación del fémur va de -20° a 10.79° y la tibia va de desde 0° a -2.62° con respecto a "Y" en un tiempo de 0.52 s. En cuanto al diseño del prototipo se obtuvo un diámetro mínimo de 19.93 mm y 23.41 mm en los ejes de transmisión de movimiento. Finalmente, se evaluó el costo de fabricación de prototipo de S/ 1681.99.

Palabras clave: Diseño, prototipo, péndulo doble, marcha humana.

ABSTRACT

In this research, a dynamic load simulator prototype was designed for stress analysis in transtibial prostheses. For this, mathematical equations of the double pendulum were used, based on the Euler-Lagrange methodology to model human gait. The type of research was applied with an exploratory and descriptive design. The sample taken was from a person who has suffered a transtibial amputation, 1.65 m tall and weighing 71.8 kg. The results obtained through the simulation in MATLAB of the double pendulum, during the swing phase, the angle of variation of the femur goes from -20° to 10.79° and the tibia goes from 0° to -2.62° with respect to the "Y" in a time of 0.52 s. Regarding the design of the prototype, a minimum diameter of 19.93 mm and 23.41 mm was obtained in the motion transmission axes. Finally, the prototype manufacturing cost of S/ 1681.99 was evaluated.

Keywords: Design, prototype, double pendulum, human gait.