



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto de graduación

INSERTAR ACÁ EL TÍTULO DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Trabajo final de graduación sometido a la consideración de la

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

como parte de los requisitos
para aspirar al título y grado de

LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA

Insertar acá el nombre de la o las personas estudiantes

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
Marzo de 2021

Hoja de tribunal

Este [insertar nombre de la modalidad de TFG] fue aceptado por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado y título de Licenciatura en Ingeniería Mecánica.

Director de la Unidad Académica
Dr. Pietro Scaglioni Solano
Director Escuela de Ingeniería mecánica

Asesora directora
Mag. Xinia Campos Monge
Escuela de Ingeniería Mecánica

Asesor interno
Dr. Javier Brenes Cárdenas
Escuela de Ingeniería Mecánica

Asesor externo
Lic. Humberto Fernández Meza
Fábrica de carretas El Milagro, S.A.

Evaluador externo
Mag. Marco Vinicio Calvo Vargas
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ponente
Carlos Roberto Jiménez Bolaños

Ponente
Francela María Torres Avendaño

Ponente
José Joaquín Zamora Chavarría

Agradecimientos

Introducir acá el texto de los agradecimientos. Esta sección es opcional.

Dedicatoria

Introducir acá el texto de la dedicatoria. Esta sección es opcional.

Epígrafe

Introducir acá el texto del epígrafe, en cursiva y con adecuada referencia a la fuente del texto. Esta sección es opcional.

Índice general

Hoja de tribunal	ii
Agradecimientos	iii
Dedicatoria	iv
Epígrafe	v
Índice de ilustraciones	viii
Índice de cuadros	ix
Simbología	x
Siglas y abreviaturas	xi
Resumen	xii
1. Introducción	1
1.1. Descripción general	1
1.2. Justificación	1
1.3. Objetivos	1
1.3.1. Objetivo general	1
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. Metodología general y recursos	2
1.5. Alcance y limitaciones	2
1.6. Aportes y productos materiales	2
1.7. Muestras de código L ^A T _E X específicas	3
1.7.1. Comentarios para las versiones en borrador	3
1.7.2. Inclusión de ilustraciones	4
1.7.3. Inclusión de cuadros	4
1.7.4. Expresiones matemáticas y ecuaciones enumeradas	4
1.7.5. Inclusión de secciones y subsecciones	5
1.7.6. Creación de listas	5
2. Marco teórico	6
2.1. Tema 1	6
2.1.1. Una subsección de lo primero	6
2.2. Tema 2	6
2.3. Otro tema	6
2.4. Más marco teórico	6
2.5. Sigue el marco teórico	6
3. Metodología	7
3.1. Proceso experimental 1	7
3.1.1. Una subsección de lo primero	7
3.2. Proceso experimental 2	7
3.3. Proceso de diseño 1	7
3.4. Método de medida de variable A	7

3.5. Proceso de diseño 2	7
3.6. Proceso de prototipado 1	7
3.7. Metodología de cálculo 1	7
3.8. Técnica de modelado 1	7
3.9. Técnica de optimización 1	7
3.10. Técnica estadística 1	7
3.11. Diseño de encuesta A	7
4. Resultados y discusión	8
4.1. Experimento 1	8
4.1.1. Una subsección de lo primero	8
4.2. Experimento 2	8
4.3. Diseño 1	8
4.4. Medida de variable A	8
4.5. Diseño 2	8
4.6. Prototipado 1	8
4.7. Cálculo 1	8
4.8. Modelado 1	8
4.9. Procesamiento estadístico 1	8
4.10. Resultados procesados de la encuesta	8
5. Conclusión	9
5.1. Conclusiones y aportes de este trabajo	9
5.2. Recomendaciones y trabajo futuro	9
Referencias	10
Anexos	11
Anexo A.1. Diagramas de construcción	12
Anexo A.2. Memoria de cálculo	13
Anexo A.3. Artículo técnico	14
Anexo A.4. Documentación comercial y correspondencia	15
Anexo A.5. Desarrollos especiales	16

Índice de figuras

1.1. Diagrama equivalente de un giroscopio[1]	4
---	---

Índice de cuadros

1.1. Muestra con tiempos de juego.	4
--	---

Simbología

Introducir acá la lista de variables con su debida identificación. Esta sección es opcional y únicamente es pertinente elaborarla si tiene más de diez entradas y si incluye TODAS las variables no convencionales usadas en el documento y sus anexos.

ω_0 Velocidad de rotación inicial [rad/s]

α inclinación eje principal [°]

U_i Campo vectorial de velocidades del fluido

Siglas y abreviaturas

Introducir acá la lista de abreviaturas con su significado. Esta sección es opcional y únicamente se requiere si resultará con más de diez entradas y si incluye TODAS las siglas y abreviaturas usadas en el documento y sus anexos.

BLT Biblioteca Luis Demetrio Tinoco.

IEEE Institute of Electrical and Electronic Engineers.

CIEMI Colegio de Ingenieros Eléctricos, Mecánicos e Industriales.

Resumen

Introducir acá el resumen en español, de 250 a 300 palabras y que incluya los aspectos medulares del propósito del TFG, el enfoque metodológico, los principales resultados y la conclusión más relevante.

Cítese este trabajo como:

C.R. Jiménez-Bolaños, F.M. Torres-Avendaño y J.J. Zamora-Chavarría. *[Insertar título del trabajo final de graduación]* Trabajo final de graduación de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad de Costa Rica. San José, COSTA RICA, 2021.

Abstract

Introducir acá el resumen en inglés, de 200 a 250 palabras y que incluya los aspectos medulares del propósito del TFG, el enfoque metodológico, los principales resultados y la conclusión más relevante. Si usa una herramienta de traducción automática, procure una revisión de estilo por parte de una persona académica con manejo avanzado del idioma inglés.

Capítulo 1

Introducción

Acá se escribe un párrafo introductorio al capítulo.

Todo el documento se elaborará en tipografía Times New Roman (o alguna otra con aspecto gráfico similar) y tamaño 11 puntos, a espaciado interlineal (1.0? 1.2? 1.5?) con márgenes izquierdo de 35 mm (para acoger encuadernado físico) y derecho de 25 mm (?) y superior e inferior de 30 mm (??). Los números de página irán centrados en el margen inferior (?). Todo el documento estará diagramado para papel tamaño A4.

1.1. Descripción general

Acá se escribe la descripción general del propósito del trabajo, el enfoque metodológico que se siguió, y las principales metas que se perseguían. Es similar al Resumen, excepto que no se habla de resultados o conclusiones, y se pretende aclimatar al lector con aspectos globales que se requieren para entender la justificación y los objetivos del trabajo. Usualmente es suficiente con unas 150-200 palabras y alguna ilustración, diagrama o fotografía significativa.

1.2. Justificación

En esta sección se debe explicar, en forma concisa (de 200 a 400 palabras), los eventos *locales* que llevaron a quienes proponen el anteproyecto y por qué se considera pertinente y necesario llevar a cabo el TFG que se propone. La justificación comprende, entre otros, la oportunidad del desarrollo que se presentó, la necesidad que estaba presente, y el marco legal y financiero en que se podrá desarrollar. No se mencionan antecedentes de índole teórico o práctico, dado que esos aspectos van en la sección de *Marco teórico*.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Se enuncia el objetivo general, que describe en una única oración el concepto central de la propuesta, preferiblemente sin necesitar explicaciones adicionales para un experto en el área. Una forma convencional y cómoda para redactarlas es estructurarlo en tres partes: el qué se va a hacer, cómo se va a hacer y para qué se va a hacer.

1.3.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos por lo general son aquellos aspectos que contribuyen al objetivo general o son parte de él. También pueden agregarse objetivos que sin contribuir directamente al objetivo general, son indispensables y su relación es por necesidad metodológica por el tema particular que se desarrolla.

- Insertar enunciado del objetivo específico 1
- Insertar enunciado del objetivo específico 2
- Insertar enunciado del objetivo específico 3
- Insertar enunciado del objetivo específico 4
- Insertar enunciado del objetivo específico 5

Se espera que sean entre cuatro y siete objetivos específicos según la naturaleza del TFG, pero queda a criterio del comité asesor.

Precisamente por su carácter contributivo, es fácil cometer el error de redactar los objetivos específicos como si fueran pasos concretos para lograr el objetivo general, pero esto en realidad sería la metodología. Los objetivos específicos son hitos, no labores específicas, que se necesitan ir completando para que se pueda cumplir con el objetivo general.

1.4. Metodología general y recursos

Se describe de manera sucinta la metodología general de trabajo que se aplicó y se remite al lector al capítulo dedicado a describirla en detalle. En esta sección introductoria, se puede presentar como diagrama de flujo, una descripción en prosa o bien como lista enumerada.

También se explica en forma concisa los recursos invertidos en su ejecución (acceso a talleres, laboratorios, equipos, instrumentos o a instalaciones industriales o a sitios de trabajo, patrocinio monetario directo o donaciones de materiales u otros), así como su origen (empresas, instituciones públicas, otros departamentos de la Universidad, terceras partes interesadas o los mismos autores).

1.5. Alcance y limitaciones

Describir acá el alcance técnico del trabajo y las limitaciones jurídicas de la responsabilidad y los derechos de propiedad intelectual.

1.6. Aportes y productos materiales

Se mencionan de manera explícita los productos materiales **de autoría original** que resultaron del proceso, Sin ser una lista lista exhaustiva ni exclusiva, se podrán contar, por ejemplo, los siguientes tipos de producto:

- Diagramas de construcción y planos de taller,
- Listas de materiales, componentes y equipos,
- Diagramas de flujo para proceso,

- Propuestas de patentes,
- Código fuente de programación,
- Diagramas de control para procesos o maquinaria,
- Manuscritos de artículos técnicos publicables,
- Memorias de cálculo razonadas,
- Modelos digitales o computacionales parametrizables,
- Protocolos de mantenimiento,
- Manuscritos de propuestas de normas técnicas,
- Manuscritos de material monográfico especializado,
- Protocolos de gestión de la información y documentación,
- Protocolos de gestión de proyectos,
- Procedimientos y metodologías,
- Documentos de especificaciones técnicas,
- Procedimientos de calibración,
- Demostraciones extendidas de cálculo, ecuaciones o teoremas,
- Manuales de operación, ensamble o diagnóstico,
- Demostraciones de cálculo, ecuaciones o teoremas,
- Bases de datos de mediciones,
- Cualquier otro material de autoría original con relación directa a los objetivos del TFG.

Es muy importante tener en mente que no cualquier producto material implica necesariamente una componente de novedad¹; para que pueda considerarse como un aporte, debe ser inmediatamente evidente o bien hay que especificar la novedad que implica.

1.7. Muestras de código \LaTeX específicas

Esta sección se elimina... ¡¡No es parte del informe!!

1.7.1. Comentarios para las versiones en borrador

Con el paquete «todo» se pueden hacer comentarios al margen o en línea para efectos de las versiones en borrador. Esto es para incorporar comentarios, dudas o correcciones a los avances del documento.

Este tipo de herramientas sirven para encontrar rápidamente las secciones con duda o los párrafos que están en revisión.

Esto es una nota al margen

¹Por ejemplo, si bien los planos de taller para construir una máquina de diseño original son un aporte (por la originalidad de la máquina), elaborar planos de taller para una serie de componentes que no son de diseño original es una labor rutinaria puramente técnica, por lo que aunque se trata de trabajo meritorio, no implica aporte intelectual.

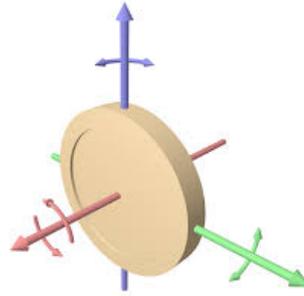


Figura 1.1: Diagrama equivalente de un giroscopio[1]

Cuadro 1.1: Muestra con tiempos de juego.

Denominación	Tiempo (s)
Zanahoria	42,3
Fotocamote	13,2

1.7.2. Inclusión de ilustraciones

Toda ilustración debe estar almacenada en el mismo directorio en que está el archivo `.tex` que recibe la imagen. Los formatos aceptados por \LaTeX son JPEG, PNG, BMP, PS o PDF y se llaman con la sintaxis `«includegraphics»`. El ancho de la imagen y su nombre de referencia se eligen al interno del código como ocurre con la ilustración 1.1, en donde además se especifica el texto del rótulo.

Deje que la diagramación automática coloque el texto en la posición más eficiente para que no queden espacios en blanco ni líneas huérfanas o viudas. Siempre use referencias directas a las imágenes en lugar de depender de su posición relativa.

1.7.3. Inclusión de cuadros

Se pueden construir cuadros con datos manualmente como en el ejemplo del cuadro 1.1. No intente que los cuadros queden en línea con el texto; la diagramación automática los colocará en un lugar adecuado para evitar espacios en blanco o que los cuadros queden divididos.

1.7.4. Expresiones matemáticas y ecuaciones enumeradas

Una vez que se tiene familiaridad con el sistema de introducir las ecuaciones, la diagramación con \LaTeX es impecable, sea para mencionar las variables en la prosa X_1, X_2, \dots, X_n y así para que el autor pueda hacer explicaciones claras sin la interrupción de cambios de línea. Hay muchos tipos de variable o bien se pueden introducir pequeñas ecuaciones en línea con la prosa, como $E[X_i] = \mu$ and $\text{Var}[X_i] = \sigma^2 < \infty$, pero las ecuaciones más grandes o más énfasis se separan del párrafo:

$$S_n = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_i^n X_i.$$

Esto puede ser necesario en más de una ocasión, y luego seguir hablando de otros desarrollos o funciones como $\sqrt{n}(S_n - \mu)$ o bien $\mathcal{N}(0, \sigma^2)$. En la gran mayoría de los textos técnicos formales [2] es obligado el uso de ecuaciones enumeradas para poderle hacer

referencia, como en el caso de la ec. (1.1), asociada a fenómenos de cojinetes de contacto deslizando en condición de lubricación hidrodinámica [3].

$$So = \left(\frac{r}{c}\right)^2 \cdot \frac{\mu \cdot N}{P_{med}}. \quad (1.1)$$

En esta ecuación, **So** se refiere al número de Sommerfeld (adimensional), **r** el radio del eje (mm), **c** la holgura mecánica media (mm), **N** la velocidad de rotación del eje (rev/min), y P_{med} la presión media equivalente (Pa) que sostiene el cojinete. Cuando se requiera explicar el significado o las unidades de medida de cada uno de los términos de la ecuación por ser inusuales o para dar mejor claridad al desarrollo, si son pocas (seis o menos, aproximadamente) se ponen en prosa en el párrafo previo o inmediatamente después de la ecuación. En caso contrario, se ponen en un cuadro con la información correspondiente o, en documentos extensos, se remite al lector a una sección especial en donde están definidas todas las siglas y abreviaturas.

1.7.5. Inclusión de secciones y subsecciones

Los capítulos, secciones y subsecciones se especifican con los comandos apropiados a cada caso, y el compilador de \LaTeX ajusta automáticamente la enumeración y cambios de formato para que el diagramado y las referencias cruzadas sean correctas, como cuando se desea mencionar la sección 1.7.

1.7.6. Creación de listas

Se pueden crear listas con enumeración automática, como la que se muestra a continuación:

1. Primer elemento ordenado
2. luego el segundo elemento ordenado

Cuando el orden no es particular, es preferible usar viñetas como en la siguiente lista:

- Empezando por este elemento
- Continuando con el otro elemento

Ocasionalmente se necesitarán palabras con una descripción o texto afín, como en la lista especial que sigue:

Palabra Definición en particular.

Concepto Explicación.

Idea Textos acompañante.

Como \LaTeX es muy sensible a aspectos de sintaxis, aún cuando se cuente con un compilador tipo WYSIWIG, conviene resolver algunos problemas manualmente, para lo que es mejor acceder a la ayuda que puede la documentación del lenguaje y los foros en línea para obtener rápidamente ayuda, paquetes, archivos muestra y plantillas ya elaboradas y depuradas por otras personas.

Capítulo 2

Marco teórico

En este capítulo se sintetizan los fundamentos teóricos y antecedentes técnicos que sustentan el trabajo, con una extensión de 6 000 a 12 000 palabras, según la modalidad del TFG. Esta sección se omite en el caso de PDG y en su lugar se elabora un capítulo de Marco Temático con una extensión de entre 2 000 y 4 000 palabras.

En el marco teórico hay que poner énfasis en los antecedentes teóricos y técnicos directamente relacionados con los objetivos que cuentan con publicaciones previas, preferiblemente artículos científicos o técnicos (no periodísticos) razonablemente recientes, así como libros monográficos con sello editorial. Sólo se mencionan ecuaciones básicas o conceptos fundamentales de ciencia de la ingeniería cuando es indispensable para la ejecución de la metodología, por lo que hay que evitar repasos de temas de cursos de segundo o tercer año de un bachillerato universitario en ingeniería.

2.1. Tema 1

2.1.1. Una subsección de lo primero

2.2. Tema 2

2.3. Otro tema

2.4. Más marco teórico

2.5. Sigue el marco teórico

Capítulo 3

Metodología

Se describe en este capítulo con detalle los métodos experimentales y de diseño que se aplicaron para cumplir con los objetivos del TFG. Debe ser lo suficientemente específico y claro como para que otra persona con igual acceso a los recursos en mención pueda reproducir los resultados independientemente. No se deben adelantar resultados ni presentar diseños. El criterio del director del comité asesor, quien guía la investigación, es crítico para el correcto diseño metodológico. Acá se incluyen, a manera de muestra incompleta, algunas de las categorías en que podrían caer algunas actividades según el estilo metodológico del comité asesor.

3.1. Proceso experimental 1

3.1.1. Una subsección de lo primero

3.2. Proceso experimental 2

3.3. Proceso de diseño 1

3.4. Método de medida de variable A

3.5. Proceso de diseño 2

3.6. Proceso de prototipado 1

3.7. Metodología de cálculo 1

3.8. Técnica de modelado 1

3.9. Técnica de optimización 1

3.10. Técnica estadística 1

3.11. Diseño de encuesta A

Capítulo 4

Resultados y discusión

Se describe en este capítulo con el debido detalle los resultados de aplicar los métodos experimentales y de diseño previamente planeados y ejecutados. No es necesario presentar los datos crudos, especialmente si son grandes cantidades. Además de los datos procesados en forma gráfica, estadística o analítica, se acompaña su presentación con discusiones y razonamientos que explican su comportamiento y valoran o descartan su validez. Es usual cierta correspondencia con el capítulo de metodología, pero esto depende de los resultados obtenidos y de la preferencia estilística de la persona estudiante y su comité asesor.

En el caso de TFG de diseño o prototipado, se describe además de los resultados de los cálculos y modelos el detalle el funcionamiento y propiedades novedosas del equipo, proceso o procedimiento que se ha elaborado.

4.1. Experimento 1

4.1.1. Una subsección de lo primero

4.2. Experimento 2

4.3. Diseño 1

4.4. Medida de variable A

4.5. Diseño 2

4.6. Prototipado 1

4.7. Cálculo 1

4.8. Modelado 1

4.9. Procesamiento estadístico 1

4.10. Resultados procesados de la encuesta

Capítulo 5

Conclusión

Este capítulo sintetiza el valor científico e intelectual del trabajo y da cuenta de las hipótesis o los objetivos del trabajo. Se espera que tenga una extensión de tres a cinco páginas. También se mencionan las limitaciones con las que se encontró el trabajo, los asuntos pendientes en el tema que no eran parte de los objetivos del trabajo, futuros trabajos que podrían desarrollarse en esa línea de investigación, y potenciales aplicaciones que el diseño, estudio o proceso podría tener. Puede dividirse en “Conclusiones” (aportes directos al tema de investigación) y “Recomendaciones” (observaciones razonables que conviene tener en cuenta para futuros procesos o investigaciones)

5.1. Conclusiones y aportes de este trabajo

En esta sección se responde directamente a los objetivos del trabajo y es muy importante mencionar TODOS los aspectos de novedad (o sea, información que no se encuentra en publicaciones previas) que resultaron de la investigación, hayan sido parte de los objetivos o no. También se plantean acá líneas generales de acción o de investigación futura.

Lo “mucho que se aprendió.” “que se disfrutó el trabajo” NO son conclusiones. Este tipo de comentarios pueden ponerse en la sección de agradecimientos si se consideran importantes.

5.2. Recomendaciones y trabajo futuro

Con frecuencia en el transcurso de cualquier trabajo resultan observaciones de carácter puntual o aspectos que no se estudiaron con debida profundidad pero que podrían ser de utilidad en relación al tema de investigación, sobre todo para trabajos o implementaciones futuras. Ese tipo de cuestiones se mencionan puntualmente en esta sección, en donde también se pueden sugerir proyectos muy específicos para investigaciones futuras (contrario a las conclusiones, en donde se proponen aspectos más integrales).

Bibliografía

- [1] F. P. Beer, E. R. Johnston, P. Cornwell, and B. Self, *Mecánica vectorial para ingenieros. Dinámica*, 11th ed. Ciudad de México: McGraw-Hill, 2017.
- [2] J. Bezos, *Tipografía y notaciones científicas*. Gijón: Ediciones Trea, 2008.
- [3] J. E. Shigley and C. Mischke, *Standard Handbook of Machine Design*. Nueva York: McGraw-Hill, 2000.

Anexos

Anexo A.1. Diagramas de construcción

Anexo A.2. Memoria de cálculo

Anexo A.3. Artículo técnico

Anexo A.4. Documentación comercial y correspondencia

Anexo A.5. Desarrollos especiales