



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA UN
SISTEMA DE GENERACIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA BASADA EN LA
TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA
MAGNÉTICA EN ENERGÍA MECÁNICA**

Autores: Miguel J. Castellano D.
C.I. 20.895.052
Miguel J. Castellano D.
C.I. 20.895.051

Tutor: Ing. Franklin Camejo

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE MECÁNICA
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA BASADA EN LA TRANSFORMACIÓN DE LA
ENERGÍA MAGNÉTICA EN ENERGÍA MECÁNICA**

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

Autores: Miguel J. Castellano D.
C.I. 20.895.052

Miguel J. Castellano D.
C.I. 20.895.051

Tutor: Ing. Franklin Camejo

San Diego, noviembre de 2017



Universidad José Antonio Páez
Facultad de Ingeniería

FI-TG-062-2017-2

Valencia, 07 de Julio de 2017.

Ciudadanos:

Miguel Jesús Castellano

C.I. 20.895.052

Miguel José Castellano

C.I. 20.895.051

Presente.-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 2-2017 de fecha 07/07/2017 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **“DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADA EN LA TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA MAGNÉTICA EN ENERGÍA MÉCANICA”** presentado por usted(es) como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación del Ing. Franklin Camejo, C.I. 13.045.723 y la Ing. Alicia Pizzella, C.I. 4.598.880 como Tutotes Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Ing. José Gregorio Díaz
Decano de la Facultad de Ingeniería

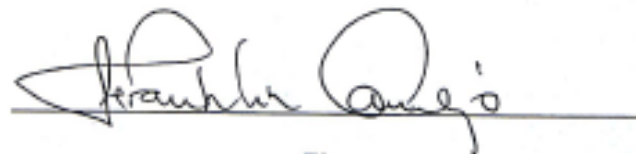


c. c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (2).

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Frankiln Camejo, portador de la cédula de identidad N° 13.045.723, hace constar que ha leído el Proyecto del Trabajo de Grado, presentado por los ciudadanos Miguel Jesús Castellano Draegert, portador de la cédula de identidad N° 20.895.052 y Miguel José Castellano Draegert, portador de la cédula de identidad N° 20.895.051, titulado **Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica basada en la transformación de magnética en energía mecánica**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico, y acepta la tutoría del mencionado Proyecto durante su etapa de desarrollo hasta su elaboración y evaluación; según las condiciones de la Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad José Antonio Páez y sus correspondientes Reglamentos.

En San Diego, a los 25 días del mes de octubre del año 2017.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Franklin Camejo', is written over a horizontal line.

Firma

Franklin Camejo

C.I : 13.045.723

RECONOCIMIENTO

A nuestro tutor Franklin Camejo, a los jurados Giovanni Pizzella y Jesús Armas y profesores que compartieron sus conocimientos para nuestra formación profesional y mostraron gran interés en el desarrollo de este trabajo, y en el transcurso de la carrera profesor Gruber Caraballo, Tomas González e Irahis Rodríguez. Así como nuestra casa de estudios la Universidad José Antonio Páez.

A la profesora Zulay Guillen, por su ayuda incondicional como metodólogo en el desarrollo del trabajo.

A nuestros compañeros durante este trayecto, Jesús Granado, Jehisson Giménez y Anibal Trujillo por la ayuda incondicional en el transcurso de la carrera.

DEDICATORIA

Primeramente a Dios, por habernos guiado, iluminado y haber puesto en nuestro camino a todas las personas que han colaborado para hacernos los seres que somos hoy en día.

A nuestros padres, Miguel Ramón Castellano y Ana Ysabel Draegert por su apoyo incondicional, los consejos que nos han dado y valores que nos han enseñado e inculcado a través de nuestras vidas, como nos han formado, con ayuda de nuestros hermanos Miguel Nicolás, Mariamna, Marina, Scarleth y Kissbell Castellano.

A nuestra segunda madre Leila Homyden, que la vida nos regaló y quien ha permanecido a nuestro lado con su apoyo incondicional a lo largo de nuestro existir.

A nuestros cuñados Raúl Matute y Luis Alberto Arteaga y a todos nuestros sobrinos que llegaron para alegrarnos la vida.

A nuestros Tíos Alejandro Aguilar y Noymar Rangel por estar siempre presentes incondicionalmente para nosotros en las etapas más importantes de nuestra vida.

A la familia Hunter Blair, especialmente a Kaitlin Hunter Blair por su apoyo y consistente interés en la finalización de esta carrera.

A la familia Orlando Rengel por su apoyo, interés y ayuda, que nos alentaron durante el transcurso del tiempo.

A nuestros hermanos de vida, Eduardo Arias, Luis Enrique Arias, Luis Cercio, Paul Cercio, Carlos Ramirez, Alfonso Olivar, Marcelo Khilzi y Cristian Orlando por su apoyo moral en el transcurso de la carrera y el proyecto.

Finalmente queremos dedicar este trabajo a la memoria de nuestro hermano Jesús Nayib Arteaga Homyden, nuestra hermana Liz Aluanna Blanco Draegert y nuestra abuela, Catalina Figuera.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO		pp.
DEDICATORIA		vi
RECONOCIMIENTO		vii
LISTA DE TABLAS		x
LISTA DE GRÁFICOS		xi
RESUMEN INFORMATIVO		xii
INTRODUCCIÓN		1
CAPÍTULO		
I	EL PROBLEMA	
	1.1. Planteamiento del Problema.....	3
	1.2. Formulación del Problema.....	4
	1.3. Objetivos de la Investigación.....	4
	1.3.1. Objetivo General.....	4
	1.3.2. Objetivos Específicos.....	4
	1.4. Justificación.....	5
	1.5. Alcance.....	6
	1.6. Limitaciones.....	6
II	MARCO TEÓRICO	
	2.1. Antecedentes de la Investigación.....	7
	2.2. Bases Teóricas.....	9
	2.2.1. Energía Eléctrica.....	10
	2.2.2. Energía Mecánica.....	11
	2.2.3. Energía Magnética.....	11
	2.2.3.1. Imanes.....	12
	2.2.4. Prototipo.....	18
	2.2.5. Diseño de Ejes.....	26
	2.2.5.1. Teoría de Fallas.....	27
	2.2.5.2. Factores de Marín.....	30
	2.2.5.3. Criterios de Diseño.....	32
	2.2.6. Rodamientos.....	35
	2.3. Definición de Términos.....	38
III	MARCO METODOLÓGICO	
	3.1. Tipo de Investigación.....	40

3.2. Modalidad de la Investigación.....	40
3.3. Nivel de Investigación.....	41
3.4. Población y Muestra.....	41
3.5. Técnica e Instrumentos de Recolección de Datos.....	42
3.6. Fases Metodológicas.....	43
IV RESULTADOS	
4.1. Determinación de la energía necesaria para hacer girar un eje por medio de la energía magnética de los imanes mediante la transformación de la energía mecánica.....	47
4.1.1. Cálculo de las fuerzas que generan torsión.....	49
4.1.2. Cálculo referente a los rodamientos.....	51
4.2. Cálculo de las revoluciones mínimas en el eje para generar la energía deseada.....	52
4.3. Elaboración de un prototipo para un sistema de generación de energía eléctrica basado en la transformación de la energía magnética en energía mecánica.....	65
4.4. Evaluación de la factibilidad económica de un generador particular de energía limpia que coadyuve a la preservación del medio ambiente.....	69
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
Conclusiones.....	74
Recomendaciones.....	75
REFERENCIAS.....	76
ANEXOS.....	78
A Entrevista 1.....	79
B Entrevista 2.....	82
C Rodamientos.....	83
D Para el cálculo de Cs.....	85
E Valor de Raíz de A para calcular Q.....	86
F Concentradores de los esfuerzos (P, M_f Y M_t), selección de chumacera, coeficiente de concentradores de esfuerzos.....	87

LISTA DE TABLAS

CONTENIDO

pp.

TABLA

1	Tipos de subniveles y sus electrones.....	14
2	Subniveles y Electrones según el Nivel Orbital.....	15
3	Características de los imanes, según el tipo de material.....	18
4	Relación de movimientos rectilíneo y rotatorio.....	20
5	Fuerzas en función de distancias que provocan torque.....	50
6	Consumo de componentes por hora.....	52
7	Sentidos de fuerzas según su vista Cálculos de las fuerzas para el diagrama según su vista.....	55
8	Valores de fuerzas A, B y C.....	57
9	Interpolación para el cálculo de la constante de Neuber.....	61

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	CONTENIDO	pp.
1	Representación de niveles orbitales de un átomo.....	13
2	Cantidad de electrones según Orbita de energía.....	14
3	Spin proporciona los polos a los electrones desalineados.....	16
4	Spin proporciona los polos a los electrones alineados.....	16
5	Cálculo gráfico del Par.....	21
6	Núcleo Magnético.....	23
7	(a) Variación compleja y sinusoidales aproximadas; (b) Tensión alternativa; (c) Tensión repetida; (d) Tensiones fluctuantes.....	29
8	Representación de las fuerzas actuantes en el rodamiento de bola.....	36
9	Ficha Técnica de Rodamientos.....	37
10	Coefficiente de Roce.....	38
11	Estudio de ángulos de acción.....	48
12	Ensamble de eje.....	49
13	Propiedades mecánicas de algunos elementos.....	54
14	Dimensiones del eje.....	54
15	Vista en plano (X, Z).....	56
16	Vista en plano (Y, Z).....	56
17	Fuerza generada por las cargas de corte.....	58
18	Momento Flector como resultado de la gráfica de imagen 10.....	58
19	Momento Torsor transmitido por fuerzas magnéticas al eje.....	59
20	Plano de anillo interno.....	66
21	Plano de anillo externo.....	66
22	Plano del prototipo ensamblado.....	68

23	Costo de generación y sus componentes para diferentes tecnologías.....	71
24	Costo de generación para diferentes tecnologías.....	72

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE MECÁNICA
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA BASADA EN LA TRANSFORMACIÓN DE LA
ENERGÍA MAGNÉTICA EN ENERGÍA MECÁNICA**

Autores: Miguel Jesús Castellano Draegert
Miguel José Castellano Draegert

Tutor: Ing. Franklin Camejo

Fecha: Noviembre 2017

RESUMEN INFORMATIVO

El presente trabajo tuvo como propósito, diseñar un prototipo para un sistema de generación de energía eléctrica basado en la transformación de la energía magnética en energía mecánica. Metodológicamente el trabajo se encauzó dentro de lo denominado investigación de campo con apoyo documental. Se estimó como población y muestra dos (2) sujetos especialistas en el área de ingeniería eléctrica y mecánica, a quienes se les aplicó una entrevista para obtener orientaciones que complementen los conocimientos de los investigadores a fin de llevar a cabo el diseño del prototipo indicado; además de la observación de campo a medida en que se estuvo elaborando el prototipo, plasmándolas en notas de campo. Quedó demostrado que con la utilización de las características magnéticas se puede complacer las necesidades hogareñas, con dimensiones especificadas, las cuales no solo generan un gasto menos en el mantenimiento y la preservación del medio ambiente sino que también es más económico que una planta eléctrica cuya inversión es altamente costosa. En cuanto al diseño del prototipo, el eje no pudo girar debido al arreglo de los imanes porque están dispuestos de manera par en el anillo interior y anillo exterior encontrando sus caras de frente ejerciendo fuerza no excéntricas, y por lo tanto no generando torque, lo que se traduce en fuerzas alineadas, que solo apuntan al centro del eje, por lo que se recomienda un diseño similar al establecido en el objetivo general, el cual no se elaboró por falta de materiales en el mercado, o en su defecto un arreglo que establezca una relación entre imanes de 90°, donde las fuerzas actúen de manera excéntrica y estén lo más unido posible para generar un torque entre ellos.

Descriptores: Energía eléctrica, energía mecánica, energía magnética, prototipo.

INTRODUCCIÓN

La descomposición ambiental que se ha venido desarrollando en los últimos años de la actual era, sumado a la no muy buena gestión ambiental del país, así como la gestión que llevan el desarrollo, funcionamiento y mantenimiento de las plantas de generación de energía, que no aportan un positivo en ningún punto, ya que no solo no es suministrado la energía necesaria a los hogares del país, o por lo menos, no tienen un alcance del 100%, sino que, no se han tomado medidas necesarias para el desarrollo de las prioridades ambientales de Venezuela, es por tanto, que el desarrollo de este prototipo promueve el interés por el cuidado ambiental así como la independencia de obtención del servicio ya que no solo proporciona un mínimo efecto al ambiente, sino que también crea una emancipación de las grandes empresas responsables del suministro eléctrico que en situaciones de difícil distribución de estos mismos servicios no llegan a abastecer o satisfacer la demanda de estos bienes.

El desarrollo de este prototipo requirió de conocimientos en ciertas áreas como lo son la transformación de la energía, el funcionamiento de las máquinas eléctricas, el diseño de elementos de máquinas, así como su entendimiento. Logrando el diseño de un prototipo capaz de convertir la energía de repulsión de los imanes en energía mecánica rotatoria, haciendo girar un eje, esta energía mecánica posteriormente es convertida en energía eléctrica con el fin de suministrar en pequeñas cantidades a los elementos necesarios para la comodidad básica de sus usuarios, refiriéndose esto al suministro de luz e incluso de ventilación, se pretende también que con el tiempo este prototipo sea mejorado para aumentar su alcance y potencia, de manera que pueda ser implementado en hogares no solo para situaciones de emergencia sino como uso diario, a un punto tal de lograr en el futuro no solo satisfacer o auto sustentar un hogar completo sino que este método sea usado o motive a desarrollar otros, con el fin de suministrar energía a nivel industrial y de este modo reducir en un máximo el impacto ambiental que día a día sigue en aumento desproporcionado a nivel mundial.

Capítulo I: se plantea el análisis del problema y su formulación, del mismo modo, se describe el objetivo general y los objetivos específicos, como también la justificación del por qué se realiza este proyecto, el alcance que posee y sus limitaciones.

Capítulo II: Se desarrolla el marco teórico, donde se observan los antecedentes y se exponen el basamento teórico para el entendimiento y ejecución del presente proyecto.

Capítulo III: Expone el marco metodológico que permiten describir de manera detallada y concisa las actividades que se realizaran para alcanzar los objetivos generales y específicos, de este modo se expone el tipo de diseño, tipo de investigación, su nivel de investigación correspondiente, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y sus fases metodológicas.

Capítulo IV: Se describen los recursos, que pueden ser, humanos, institucionales, materiales y el tiempo necesario para el desarrollo de la investigación, así como se adjunta un cuadro de cronograma de actividades donde se observa el desarrollo de los objetivos.

Capítulo V: Se exponen las conclusiones y recomendaciones.

Finalmente se incluyen las referencias bibliográficas y los anexos que dan apoyo a la investigación.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

En la actualidad la humanidad presenta una creciente demanda de la energía eléctrica para satisfacer sus necesidades, volviéndose completamente dependiente de ella, a tal punto que su ausencia además de evitar la satisfacción de éstas, ha llegado a afectar la comodidad a la que se está acostumbrado en el día a día.

Así, por ejemplo, en Venezuela durante el primer trimestre del año 2016 se presentaron fallas en el suministro de energía eléctrica debido a la sequía generada por el fenómeno climático el “Niño” y falta de mantenimiento a las plantas hidroeléctrica y termoeléctrica del país. Debido a esto, surgió la necesidad de implementar planes para la regulación de la energía, disminuyendo su uso a horarios diarios que generaba un racionamiento de hasta 4 horas diarias sin corriente eléctrica generando pérdidas para algunas empresas ya que desaprovechaban este tiempo de ventas u horas de trabajo. Mientras, que, por parte de los hogares, este tiempo interrumpía las actividades que cotidianamente se realizan (cocinar, lavar, planchar, entre otras), incluso esto causó que se dañara la comida por falta de refrigeración, además de daños electrodomésticos, generándole pérdida monetaria a la familia.

Ahora bien, la electricidad se logra conseguir a través de energía renovable y/o no renovable. Esta última se refiere a las plantas termoeléctricas que utilizan combustible fósil, siendo que la quema de este combustible impacta de manera negativa el ambiente debido a los gases que genera su ignición. Mientras que, la energía renovable es aquella que se obtiene sin la explotación de esos minerales, como las plantas hidroeléctricas, y aunque ellas no generan contaminación, dependen del ecosistema que no siempre logra satisfacer la demanda en determinadas épocas del año.

A lo expuesto en el párrafo anterior se le suma los inconvenientes que se presentan a raíz de fallas de las industrias que brindan el servicio eléctrico o cuando se presentan fallas específicas en las subestaciones de electricidad debido a condiciones climáticas inevitables, la población en general (empresas, industrias, comercio, hogares) se ha visto en la necesidad de tomar ciertas medidas en cuanto al uso de la electricidad para poder satisfacer sus necesidades, utilizando para ello, plantas particulares que funcionan también con combustible fósil, las cuales igualmente contaminan el ambiente.

1.2. Formulación del Problema

Ante lo planteado en el punto 1.1., surge la necesidad de obtener un medio alternativo de generación de electricidad que no sea contaminante al ambiente, que tenga buena apariencia y no sean tan costoso, y que permita a las empresas, industrias, comercio, hogares o cualquier edificación que lo requiera, satisfacer sus necesidades correspondientes al uso de la energía eléctrica y al mismo tiempo cumplir con sus horarios de trabajo o actividades diarias y no tener pérdidas, por lo que se formula la siguiente interrogante:

¿Qué sistema de generación de energía eléctrica alterno a los ya existentes particulares, puede generar electricidad suficiente para satisfacer necesidades básicas en un hogar promedio que no altere ni contamine el medio ambiente y al mismo tiempo represente una inversión económica?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Diseñar un prototipo para un sistema de generación de energía eléctrica basado en la transformación de la energía magnética en energía mecánica.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar la energía necesaria para hacer girar un eje por medio de la energía magnética de los imanes transformándola en energía mecánica.
- Calcular las revoluciones mínimas para que el generador logre brindar la energía necesaria.

- Elaborar un prototipo para un sistema de generación de energía eléctrica basado en la transformación de la energía magnética en energía mecánica.

- Evaluar la factibilidad económica de un generador particular de energía limpia que coadyuve a la preservación del medio ambiente.

1.4. Justificación

La implementación de plantas que generen energía por medios renovables, aunque no contaminan el ambiente, alteran ligeramente el ecosistema y dependen en gran parte de la naturaleza; pudiendo no ser tan eficientes en específicas épocas del año en las que se ven afectadas por condiciones naturales, tales como: tormentas eléctricas, terremotos, fallas en la distribución y clima, entre otros. Por otro lado, es evidente el impacto climático que han generado las plantas que usan combustible fósil, las cuales generan comodidad en la vida cotidiana, pero que al mismo tiempo destruye el medio ambiente. Aunado a ello, no se puede obviar la repercusión económica que genera la construcción, funcionamiento y mantenimiento de cualquiera de estas plantas.

En tal sentido y en correspondencia con la dinámica de los tiempos actuales en la que el planeta está sufriendo grandes cambios climáticos que pueden generar la destrucción parcial o total de los ecosistemas, se hace imperioso pensar en otros medios para obtener la tan necesaria energía eléctrica para el bienestar y comodidad de la humanidad y que no siga afectando el medio ambiente.

Ante lo expuesto, los autores de este trabajo pensaron en un sistema de generación de energía eléctrica basado en la transformación de la energía magnética en energía mecánica, que además de beneficiar a las personas, también estaría beneficiando al planeta al contribuir en la preservación del medio ambiente, evitando la alteración del ecosistema por su auto sustentación y sin verse afectado por las condiciones climáticas gracias a su posicionamiento aislado. Además, proporcionaría una distribución ininterrumpida del servicio eléctrico a un costo considerable, ya que al ser particular requeriría un mantenimiento poco minucioso, radicando en esto, la gran relevancia social y conveniencia para la humanidad.

Por otra parte, con esta investigación de carácter novedoso, se estaría ofreciendo un conjunto de información teórica que coadyuven al conocimiento de la temática, así como la metodología basada en proyecto factible con apoyo en la investigación documental y de campo, serviría de orientación para futuras investigaciones que se realicen bajo estas modalidades.

En cuanto a la pertinencia de llevar a cabo la investigación, se traduce en que se ajusta al perfil de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad José Antonio Páez, y a la línea de investigación Gestión Ambiental, por lo tanto, los autores poseen los conocimientos y las herramientas necesarias para el abordaje del objeto en estudio obtenidas durante el transcurso de su formación académica.

1.5. Alcance

La investigación estuvo orientada en el diseño de un prototipo para un sistema de generación de energía eléctrica basado en la transformación de la energía magnética en energía mecánica, con el fin de brindar a la humanidad un sistema de energía eléctrica que sustituya las plantas termoeléctricas que utilizan combustible fósil, por ser altamente contaminante para el medio ambiente, contribuyendo a la destrucción de los ecosistemas y repercutiendo de manera negativa en el cambio climático que hoy día se está viviendo en el planeta.

1.6. Limitaciones

El tiempo para el desarrollo y presentación preliminar del diseño del prototipo para un sistema de generación de energía eléctrica basado en la transformación de la energía magnética en energía mecánica fue de tres (3) meses, tiempo en el que se superaron ciertos contratiempos relacionados con la adquisición de algunos materiales necesarios para el diseño del prototipo para un sistema de generación de energía eléctrica basado en la transformación de la energía magnética en energía mecánica.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En toda investigación, es importante hacer un análisis minucioso del campo en estudio, con el fin de lograr una mejor comprensión del problema; por consiguiente, se debe realizar un arqueo bibliográfico de la teoría relacionada con la temática central, que aporte elementos necesarios para precisar y concretar el objeto de estudio. Al respecto, Hernández, Fernández y Baptista (2008), plantean que el marco teórico “Implica exponer y analizar las teorías, las conceptualizaciones, las perspectivas teóricas, las investigaciones y los antecedentes en general, que se consideren válidos para el correcto encuadre del estudio” (p. 64).

En tal sentido, para la conformación de este capítulo, se presentaron algunos antecedentes relacionados con la temática en estudio, así como las bases teóricas, además se acota la definición de términos básicos que ayudaron de manera significativa a la comprensión del tema, constituyendo de esta manera el marco teórico que dio sustento a la investigación.

2.1. Antecedentes de la Investigación

Los antecedentes de la investigación, de acuerdo a Palella y Martins (2012), se refirieron a los “diferentes trabajos realizados por otros estudiosos sobre el mismo problema” (p. 63). En tal sentido, se vincularon con el tema que se investigó, mediante sus elementos teóricos, metodológicos o de otra naturaleza que constituyeron una contribución significativa para la investigación que se realizó, bien sea desde el punto de vista teórico como metodológico.

Por otra parte, los citados autores indicaron que los antecedentes, pueden ser nacionales como internacionales, y cuyos títulos deben estar relacionados con las variables del estudio que se realizó. En correspondencia a lo expuesto, a continuación, se presentan algunos antecedentes que sirvieron de orientación a este trabajo de investigación.

Entre los antecedentes consultados, se tuvo a nivel internacional, el trabajo realizado por Salguero, Ramírez, Paredes y Chávez (2014), llevado a cabo en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, que lleva por título: “Generación de energía Eléctrica a través del Electromagnetismo” realizado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, con el propósito de Diseñar un prototipo utilizando imanes para generar electromagnetismo y energía eléctrica que fue almacenada en una batería para luego ser distribuida en bombillos de 12v, y con ello contribuir a la preservación del medio ambiente, además de producir energía eléctrica para el consumo humano y cualquier otros afines, utilizando un tipo de energía renovable, adaptado al principio de un alternador en el cual el movimiento es generado por una manivela para generar energía mecánica y luego transformarla en energía eléctrica, aporta a la investigación un procedimiento a seguir en la transformación de la energía mecánica a la energía eléctrica, así como conocimientos en el diseño del prototipo.

Otro trabajo a nivel internacional, relacionado con la presente investigación, se encuentra el de Contreras y Granados (2009), presentado en el Programa de Ingeniería Electromecánica de la Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central de la ciudad de Bogotá, Colombia, titulado: Investigación sobre la generación de energía eléctrica por medio de aerogeneradores, cuyos objetivos estuvieron centrados en: realizar una investigación sobre la energía eólica y los equipos electromecánicos utilizados para el aprovechamiento de la misma, tales como los generadores y alternadores que se disponen en las torres eólicas, así como comprender los principios fundamentales detrás de algunos de los equipos modernos de generación de corriente eléctrica a través de energías alternativas.

Los autores concluyeron lo siguiente: La generación de energía eléctrica mediante el uso de aerogeneradores o torres eólicas, es un proceso laborioso que requiere bastantes consideraciones desde el punto de vista de la ingeniería si se desarrolla en forma de grandes centrales de generación de energía eólica, sin embargo tras realizar la investigación y la redacción del documento, se puede decir que los

principios básicos de funcionamiento de un sistema eólico son relativamente sencillos, y que si se eliminan los sistemas de control informático, se puede considerar el uso de aerogeneradores mucho más pequeños y sencillos, en hogares y/o fincas que dispongan de cierto espacio de este tipo. El aporte a esta investigación radica en que el uso de energías alternativas es cada vez más frecuente en las sociedades modernas y que esta es un aviso de que se puede intentar la vía del campo electromagnético para solventar el problema de la falla de energía eléctrica en Venezuela.

A nivel nacional en Venezuela, se destaca el trabajo realizado por Mago, Sosa, Flores, y Tovar (2014), en la facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo, titulado: “Propuesta de diseño de una planta de Biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa Biodigestor”, lo cual representó en la actualidad una valiosa alternativa para el tratamiento de los desechos orgánicos agropecuarios, ya que además de disminuir la carga de contaminantes formadas por estos, tiene la virtud de generar un gas con importante poder calorífico que se le conoce como biogás. Los autores concluyen que el poder energético calorífico es aprovechable para la generación de energía eléctrica, logrando obtener ciertos parámetros y criterios para la creación de plantas de biogás. Aportó a la investigación, la repercusión de la implantación de plantas de generación de energía en sectores que se ven afectados por falta de energía eléctrica.

2.2. Bases Teóricas

Las bases teóricas se realizan con el fin de sustentar la investigación y desarrollar las variables que derivan del tema en estudio, respaldados con diferentes autores que definen los conceptos, es por ello, que toda investigación debe estar estructurada en la teoría. Al respecto, Palella y Martins (2012), señalan que “los aspectos relacionados con los fundamentos teóricos van a permitir presentar una serie de aspectos que constituyen un cuerpo unitario por medio del cual se sistematizan, clasifican y relacionan entre sí los fenómenos particulares estudiados” (p. 63).

Por tanto, las bases teóricas permiten las concepciones sobre las cuales se apoya la investigación, siendo que, para efectos de este trabajo, se hace referencia a

constructos tales como: energía eléctrica, magnética y mecánica; además de la transformación de la energía magnética en mecánica para la obtención de la eléctrica y la conceptualización de prototipo conjuntamente con diseño de eje y selección de chumacera.

2.2.1. Energía Eléctrica

La energía eléctrica se ha convertido en una necesidad para la sociedad actual, es por ello que grandes industrias gubernamentales y privadas se encargan del suministro de ella para así satisfacer la demanda que los hogares y empresas exigen para sus necesidades.

Generalmente la obtención de la energía eléctrica se logra mediante la transformación de la energía mecánica a potencial eléctrica por medio de turbinas, a su vez, la obtención de esta energía mecánica puede variar, es decir, puede obtenerse energía mecánica por distintos métodos, ya sea por la transformación de la energía potencial que se obtiene de las grandes caídas de agua en las centrales hidroeléctricas, como por el gas que se genera en las calderas al evaporar agua o quemar combustible que es aprovechado para hacer girar las grandes turbinas, transformando energía térmica o química en energía mecánica como en las plantas termoeléctricas. Siendo estos métodos los más utilizados por la alta eficiencia que brindan, al mismo tiempo representan una muy alta inversión, así como un impacto -algunos métodos más que otros- en el ambiente y ecosistemas.

En este orden, se tiene que “La energía eléctrica, a diferencia del agua o gas, no puede ser almacenada económicamente con la tecnología disponible en la actualidad (excepto en muy pequeñas cantidades por medio de baterías)”. (Barrero, 2004; 3). Ahora bien, la generación de energía eléctrica es una actividad humana básica, ya que está directamente relacionada con los requerimientos actuales del hombre. Todas las formas de utilización de las fuentes de energía, tanto las habituales como las denominadas alternativas o no convencionales, agreden en mayor o menor medida el ambiente, siendo de todos modos la energía eléctrica una de las que causan menor impacto.

2.2.2. Energía Mecánica

La energía mecánica es la energía que presentan los cuerpos en razón de su movimiento (energía cinética), de su situación respecto de otro cuerpo, generalmente la tierra, o de su estado de deformación, en el caso de los cuerpos elásticos. Es decir, la energía mecánica es la suma de las energías potencial (energía almacenada en un sistema), cinética (energía que surge en el mismo movimiento) y la elástica de un cuerpo en movimiento.

Por otra parte, también, se dice, según indica Wildi (2007), que la energía mecánica es la capacidad de aquellos cuerpos con masa de realizar un trabajo. Recordando siempre que la energía no se crea ni se destruye se transforma o se conserva, y por ende la energía mecánica permanece constante al transcurrir el tiempo debido a la acción de interacción de fuerza mecánica entre partículas que están interviniendo en esa fuerza.

2.2.3. Energía Magnética

De manera general, se tiene que la energía magnética es un fenómeno físico por el que los objetos ejercen fuerzas de atracción o repulsión sobre otros materiales. Hay algunos materiales conocidos que han presentado propiedades magnéticas detectables fácilmente como el níquel, hierro, cobalto y sus aleaciones que comúnmente se llaman imanes. Sin embargo, todos los materiales son influidos, de mayor o menor forma, por la presencia de un campo magnético.

Se ha de indicar que la energía magnética es parte fundamental del Universo, la Tierra posee un poderoso campo magnético, como si el planeta tuviera un poderoso imán en su interior con su polo negativo cerca al polo norte geográfico y su polo positivo cerca a su polo sur geográfico. Aunque los polos magnéticos terrestres reciben el nombre de polo norte magnético (próximo al polo norte geográfico) y polo sur magnético (próximo al polo sur geográfico), su magnetismo real es el opuesto al que indican sus nombres.

Es importante destacar que la energía magnética tiene muchos puntos positivos. En este sentido, se trata de una energía no contaminante dado que no expulsa

emisiones. Por otro lado, es inagotable, ya que no se extrae de materia prima finita. Y eso no es todo, sino que también puede tener implantaciones muy prácticas tanto en el campo de la medicina como en el terreno militar.

Por otra parte, se ha de acotar que el magnetismo y la electricidad, según expresa de manera general Dan (2009), son dos fuerzas paralelas, mutuamente intercambiables y de máxima importancia en el desarrollo de la vida en general, de acá lo denominado electromagnetismo, la cual es una rama de la física que estudia y unifica los fenómenos eléctricos y magnéticos en una sola teoría, cuyos fundamentos fueron sentados por Michael Faraday y formulados por primera vez de modo completo por James Clerk Maxwell. La formulación consiste en cuatro ecuaciones diferenciales vectoriales que relacionan el campo eléctrico, el campo magnético y sus respectivas fuentes materiales (corriente eléctrica, polarización eléctrica y polarización magnética), conocidas como ecuaciones de Maxwell.

2.2.3.1. Imanes

El funcionamiento del prototipo que se desea diseñar debe su movimiento inicial a la fuerza que ejercen los imanes, debido a esto, para el completo entendimiento de lo que se desea lograr, es importante conocer a fondo definiciones y características de estos elementos. Un imán, según Jurado (2010), es un cuerpo o dispositivo con un campo magnético (que atrae o repele otro imán) significativo, de forma que tiende a juntarse con otros imanes. Del mismo modo, este autor indica que las partes de un imán están conformadas por:

- Eje magnético: barra de la línea que une los dos polos.
- Polos: Los dos extremos del imán donde las fuerzas de atracción son más intensas. Estos polos son, el polo norte y el polo sur; también denominados polos positivo y negativo, respectivamente.
- Línea neutra: línea de la superficie de la barra que separa las zonas polarizadas.

En esta misma dirección, se ha de mencionar que se conoce como magnetismo el fenómeno que logra atraer o repeler los imanes o cuerpos imantados y esto depende

de cómo están estructurados los materiales en cuanto a su configuración electrónica, que no es más que la disposición de los electrones que orbitan en los núcleos de los átomos.

Ahora bien, la configuración electrónica, es una manera de describir el orden y distribución de los electrones en las orbitas de los núcleos de los átomos. Según esta distribución, los materiales desarrollan ciertas capacidades y características, distribuyéndose los electrones en 7 orbitas, las cuales representan los niveles de energía que tienen los átomos, y se enumeran desde el interior hacia el exterior, es decir, la órbita 1 es la más interna y es donde giran los electrones con menos energía, a medida que se va alejando del centro del átomo se consiguen las consiguientes orbitas, siendo la última, considerada actualmente. La órbita número 7 es la más alejada del centro y en ella giran los electrones con mayor energía. Para un mejor entendimiento de esta disposición, puede observarse en la figura 1 una representación de lo que se intenta explicar.

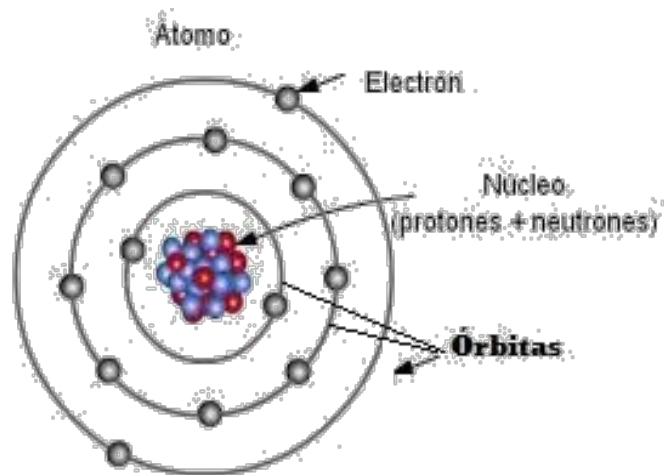


Figura 1. Representación de niveles orbitales de un átomo.

Fuente: Cucaita (2015). Configuración electrónica.

Es importante destacar que en cada nivel orbital se subdividen 4 subniveles (s, p, d y f). Estos subniveles tienen una capacidad máxima de suborbitales que pueden tener como máximo 2 electrones. El subnivel **s** tiene 1 suborbital, **p** tiene 3, **d** tiene 5

y **f** tiene 7, de este modo, con lo anteriormente dicho, cada uno de los subniveles tiene una cantidad máxima de electrones. Entonces, podría describirse de la siguiente manera la cantidad de electrones que puede haber como máximo en cada subnivel.

Tabla 1. Tipos de subniveles y sus electrones.

Subniveles	Suborbitales	Electrones
s	1	2
p	3	6
d	5	10
f	7	14

Fuente: Los investigadores (2017).

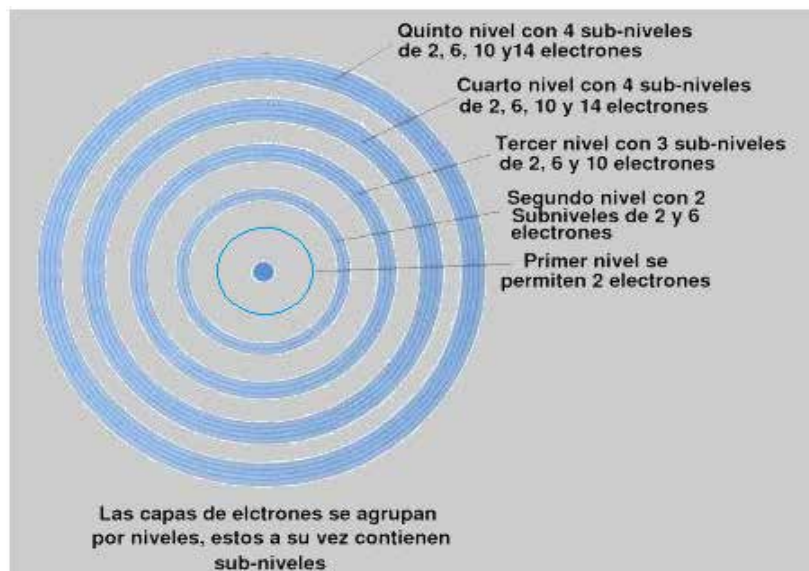


Figura 2. Cantidad de electrones según Orbita de energía.

Fuente: Góngora (2013). Electrones. <http://juliian10.blogspot.com/>

En la figura 2, puede observarse que en el primer nivel se consigue solo 1 suborbital, **s**, la cual contiene 2 electrones como máximo, para el segundo nivel se tienen 2 subniveles los cuales corresponden a **s** y **p**, con 2 electrones para **s** y 6 para **p**, tercer nivel contiene 3 subniveles, **s**, **p**, y **d** con 2, 6 y 10 electrones, para el nivel 4

se tienen los 4 subniveles (**s**, **p**, **d** y **f**) con 2, 6, 10 y 14 electrones para cada subnivel, el quinto nivel es parecido al cuarto, en este punto los subniveles en cada nivel empiezan a reducirse proporcionalmente a como incrementaron. Para una representación más ordenada se pueden clasificar de la siguiente manera:

Tabla 2. Subniveles y Electrones según el Nivel Orbital

Niveles Orbitales	Subniveles	Electrones por Subnivel	Electrones totales por Nivel
1	s	2	2
2	s - p	2 - 6	8
3	s - p - d	2 - 6 - 10	18
4	s - p - d - f	2 - 6 - 10 - 14	32
5	s - p - d - f	2 - 6 - 10 - 14	32
6	s - p - d	2 - 6 - 10	18
7	s - p	2 - 6	8

Fuente: Los investigadores (2017).

Se destaca en la Tabla 2, que hay átomos que no tienen los 4 subniveles y átomos que no tienen los 7 niveles de energía, por lo que pueden tener menos, sin alterar la configuración electrónica.

Entonces, según la configuración electrónica, los elementos y por consiguiente, los materiales adquieren algunas características, que entre ellas puede ser de carácter magnético, siendo de esta forma básicamente como nace este fenómeno, para que ello ocurra, los electrones que se encuentran en los orbitales deben estar alineados, es decir, los electrones tienen un sentido de giro en cada orbital, ese sentido de giro se conoce como SPIN (Ver figuras 3 y 4), este giro determina o crea un polo norte y un polo sur, tal cual los imanes en sí, generando en cada electrón un campo magnético a nivel atómico, cuando un material tiene todos sus electrones ordenados, tendrá entonces capacidades magnéticas, pero esto solo sucede en aquellos materiales que tienen sus orbitales desapareados, es decir, que no sean pares, ya que si esto sucede los electrones cancelarían sus campos magnéticos entre sí.

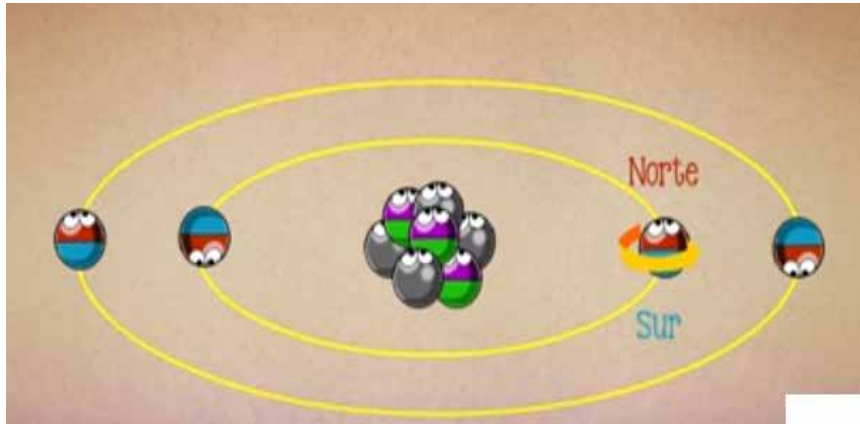


Figura 3. Spin proporciona los polos a los electrones desalineados.
Fuente: Moreno (2016). ¿Cómo funcionan los imanes?

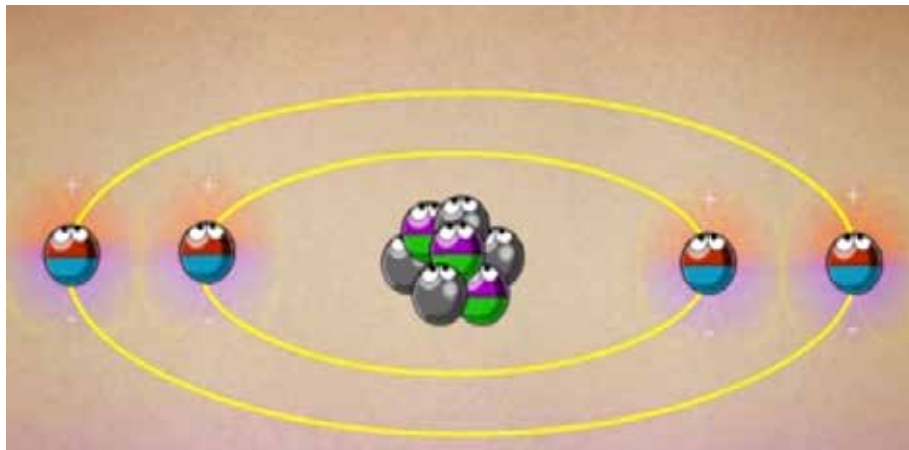


Figura 4. Spin proporciona los polos a los electrones alineados.
Fuente: Moreno (2016). ¿Cómo funcionan los imanes?

Para que los átomos puedan alinearse no deben estar demasiado calientes, siendo los únicos materiales denominados imanes permanentes a temperatura ambiente son el Gadolinio (Gd), el Cobalto (Co), el Níquel (Ni) y el Hierro (Fe), de lo que está hecho la magnetita (mineral, que por naturaleza propia atrae el hierro y otros metales). Para que otros elementos se comporten como imanes, deben estar a temperaturas frías, por debajo de la temperatura de Curie, que es la temperatura por encima de la cual los materiales dejan de ser magnéticos. Siendo de esta forma, obligación que los

átomos de los materiales metálicos estén alineados para lograr tener propiedades magnéticas, aunque si se somete un material a un campo magnético suficientemente fuerte como para alinear sus átomos, otorgándole propiedades magnéticas.

Características de los imanes

Los imanes se caracterizan principalmente por tener dos polos, es importante hacer saber que es en los polos donde hay mayor fuerza de tracción y repulsión, mientras más se acerca al centro esta característica va disminuyendo fuerza, tienen la propiedad de transmitir sus capacidades magnéticas a otros metales, mayormente a los aceros y al hierro, aunque en el hierro este fenómeno es temporal, en el acero puede ser permanentemente. Al cortar un imán por la mitad, este se dividirá en cada parte dos polos nuevos, de modo que en cada parte tendrá un polo norte y un polo sur.

Según varios autores, entre ellos Castellán (1998) y Tipler y Mosca (2006), el momento magnético general de un átomo es la suma neta de todos los momentos magnéticos de los electrones individuales. Indicando además, que por la tendencia de los dipolos magnéticos a oponerse entre ellos se reduce la energía neta. No obstante, en un átomo los momentos magnéticos opuestos de algunos pares de electrones se cancelan entre ellos, ambos en un movimiento orbital y en momentos magnéticos de espín. Así, en el caso de un átomo con orbitales electrónicos o suborbitales electrónicos completamente llenos, el momento magnético normalmente se cancela totalmente y solo los átomos con orbitales electrónicos semilLENOS tienen un momento magnético y su fuerza depende del número de electrones impares.

La diferencia en la configuración de los electrones en varios elementos determina la naturaleza y magnitud de los momentos atómicos magnéticos, lo que a su vez determina la diferencia entre las propiedades magnéticas de varios materiales. Existen muchas formas de comportamiento magnético o tipos de magnetismo: el ferromagnetismo, el diamagnetismo y el paramagnetismo; esto se debe precisamente a las propiedades magnéticas de los materiales, por eso se ha estipulado una clasificación respectiva de estos, según su comportamiento ante un campo magnético inducido, tal como se indica en la tabla 3:

Tabla 3. Características de los imanes, según el tipo de material.

Tipo de Material	Características
No Magnético	No afecta el paso de las líneas de campo magnético
Diamagnético	Material débilmente magnético. Si se sitúa una barra magnética cerca de él, esta lo repele
Paramagnético	Presenta un magnetismo significativo. Atraído por la barra magnética.
Ferromagnético	Magnético por excelencia o fuertemente magnético. Atraído por la barra magnética. Paramagnético por encima de la temperatura de Curie (770 C)
Antiferromagnético	No magnético aún bajo acción de un campo magnético inducido.
Ferrimagnético	Menor grado magnético que los materiales ferromagnéticos.
Super Paramagnético	Materiales ferromagnéticos suspendidos en una matriz dieléctrica.
Ferritas	Ferromagnético de baja conductividad eléctrica.

Fuente: Los investigadores (2017).

2.2.4. Prototipo

Un prototipo es un objeto que sirve como referencia para futuros modelos en una misma cadena de producción, siendo el primer dispositivo que se fabrica y del que se toman las ideas más relevantes para la construcción de otros diseños, representando todas las ideas en cuanto a diseño, soporte y tecnología que se les puedan ocurrir a sus creadores.

Por lo general un prototipo no sale a la venta a menos que sea un terminal orientado para que otros desarrolladores de tecnología trabajen con él e insertar nuevas funciones o especificaciones a este para que funcione de una manera más eficiente.

Ejemplo de estos dispositivos, los nuevos smartphones que previamente pueden adquirir las empresas o particulares que desarrollan aplicaciones, quienes los necesitan para así tener un campo en el que trabajar, o el que se pretende diseñar con este trabajo de investigación, encaminado hacia un sistema de generación de energía eléctrica basado en la transformación de la energía magnética en energía mecánica, que coadyuve a la preservación del medio ambiente.

A veces, la inversión económica para la realización de un prototipo puede ser muy alta, como por ejemplo el de un automóvil, por cuanto incorporan muchas novedades y curvas muy pronunciadas, al punto de parecer futuristas o demasiado revolucionarias. Estas especificaciones no serán las que salgan al público, sólo algunas parecidas y las formas serán un poco más comerciales para adaptarse a la verdadera demanda del mercado.

Los prototipos de muchos aparatos electrónicos y eléctricos son los elementos perfectos para presentar nuevas tecnologías y características que las compañías inventan. En este sentido, algunos factores a tomar en cuenta para el diseño de un prototipo generador de energía eléctrica, son los siguientes:

- Disponibilidad de materiales.
- Espacio para instalación.
- Cantidad de energía que se desea generar, es decir, el consumo eléctrico de los artefactos que se usaran, para de esta forma, determinar la cantidad de energía necesaria a brindar.
- Conocimientos en diseños de ejes básicos, así como selección de chumaceras.

La cantidad de potencia que se generara según el diseño seleccionado para generar energía eléctrica transformando la energía magnética en energía mecánica, depende de varios factores, entre ellos el devanado, el tipo de imán que se usará, el peso del eje, los rpm de giro del eje, entre otros.

El principio de funcionamiento del prototipo a diseñar en este trabajo de investigación, es bastante parecido al de un alternador, el cual dependiendo de los rpm de giro genera cierta cantidad de corriente. Para explicar el principio de funcionamiento se puede empezar hablando sobre el movimiento rotatorio, movimiento que usa la mayoría de las máquinas eléctricas en su funcionamiento.

La mayoría de estas máquinas rotan sobre un eje, o como se les conoce comúnmente, flechas. Este movimiento está dado por un fenómeno llamado Par y se

Donde:

τ : Par aplicado (Newton x metro)

J : Momento de Inercia (Kilogramo x metro cuadrado)

El par aplicado guarda una estrecha relación con la segunda ley de Newton que dicta que la fuerza (F), medida en Newton, que actúa en un objeto es directamente proporcional a la masa (m), medida en Kg, del objeto por la aceleración (a), en metros por segundo cuadrado.

$$F = m \cdot a \quad (\text{Ec. 2})$$

En este orden, se pueden relacionar los componentes de esta ecuación con la anterior, ya que:

Tabla 4. Relación de movimientos rectilíneo y rotatorio.

Movimiento Rectilíneo	Movimiento Rotatorio
$v = \frac{dx}{dt}$	$\omega = \frac{d\theta}{dt}$
$a = \frac{dv}{dt}$	$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$

Fuente: Los investigadores (2017).

En la Tabla 4 se puede apreciar la relación entre variables respecto al movimiento rectilíneo y el movimiento rotatorio, por lo que se puede decir, que el desplazamiento rectilíneo 'x' es semejante en la ecuación al desplazamiento angular θ , de modo que la variación de ellos en el tiempo resultan en las velocidades rectilínea y angular respectivamente, consiguientemente la derivación de éstas proporcionan las aceleraciones correspondientes.

de una fuerza "F" de modo que:

$$\tau = F \cdot r \cdot \text{Sen}\theta \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

F= Fuerza aplicada (Newton)

R= Radio (metros)

= Ángulo (grados)

Como puede apreciarse en la figura 5, se logró obtener el valor del par a través de cálculos trigonométricos. Es importante acotar que este cálculo debe realizarse con fuerzas excéntricas al eje, de no ser excéntrica no es posible establecer esta ecuación.

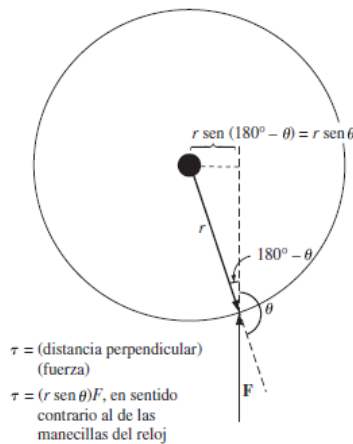


Figura 5. Cálculo gráfico del Par.

Fuente: Chapman (2012). Máquinas Eléctricas.

En este orden, se tiene que el trabajo (W) en cálculos lineales, se denota como:

$$W = \int F \cdot dr \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde, si la fuerza es constante, se obtiene que:

$$W = F \cdot r \quad (\text{Ec. 5})$$

$$W = \int \tau \, d\theta \quad (\text{Ec. 6})$$

En el caso de los cálculos rotatorios, con sus respectivos valores, se tiene que:

$$W = \tau \cdot \theta \quad (\text{Ec. 7})$$

$$P = \frac{dW}{t} \quad (\text{Ec. 8})$$

Tomando todo esto en cuenta, se puede hablar de potencia, la cual no es más que la variación de trabajo por unidad de tiempo y estableciendo las relaciones pertinentes, se puede decir que:

Donde

$$P = \frac{d\tau\theta}{dt} = \tau \frac{d\theta}{dt} = \tau \omega \quad (\text{Ec. 9})$$

Describiendo de esta manera la potencia mecánica aplicada a un eje.

$$P = \frac{dW}{t}$$

Y t , se tiene que:

$$P = \frac{d\tau\theta}{dt} = \tau \frac{d\theta}{dt} = \tau \omega$$

Describiendo de esta manera la potencia mecánica aplicada a un eje.

Por otro lado, para la generación de electricidad o de la energía mecánica, depende de cómo se va a realizar el arreglo del mecanismo, para utilizar el campo magnético, es decir, según Chapman (2012):

Los campos magnéticos son el mecanismo fundamental para convertir la energía de una forma a otra en motores, generadores y transformadores. Existen cuatro principios básicos que describen cómo se utilizan los campos magnéticos en estos aparatos: 1. Un conductor que porta corriente produce un campo magnético a su alrededor. 2. Un campo magnético variable en el tiempo induce un voltaje en una bobina de alambre si pasa a través de ella (este principio es la base del funcionamiento del transformador). 3. Un conductor que porta corriente en presencia de un campo magnético experimenta una fuerza inducida sobre él (ésta es la base del funcionamiento del motor). 4. Un conductor eléctrico que se mueva en presencia de un campo magnético tendrá un voltaje inducido en él (ésta es la base del funcionamiento del generador). (p. 6).

Entonces la interrogante de cómo se producen los campos magnéticos tiene una solución del punto de vista que tomó el físico Ampere, en la ley dictada por el mismo

la cual lleva su nombre, Ley de Ampere que dicta cómo se puede producir un campo magnético por medio de una corriente, con la ecuación:

$$\oint H \cdot dl = Ineta \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

H: Intensidad de campo magnético producido por la corriente (Gauss)

Ineta: Corriente (Ampere)

dl: Elemento diferencial a lo largo de la trayectoria de integración.

De acuerdo a esto, como indica Chapman (2012):

Si el núcleo es de hierro o de ciertos metales similares (llamados materiales ferromagnéticos), casi todo el campo magnético producido por la corriente permanecerá dentro del núcleo, de modo que el camino de integración especificado en la ley de Ampere es la longitud media del núcleo ln . La corriente que pasa por el camino de integración **Ineta** es entonces Ni , puesto que la bobina de alambre corta dicho camino N veces mientras pasa la corriente i . (p. 7).

En ese entendido, la ley de Ampere se expresa entonces como:

$$Hln = Ni \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde H es la magnitud del vector de intensidad del campo magnético H .

Es así como de esta manera y tal como se muestra en la figura 6, la magnitud de intensidad del campo magnético en el núcleo debido a la corriente aplicada, es:

$$H = \frac{Ni}{ln} \quad (\text{Ec. 12})$$

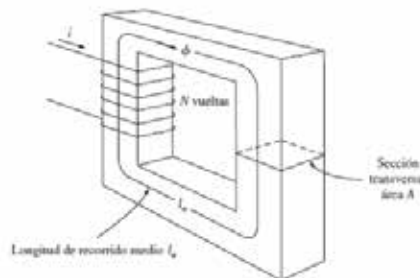


Figura 6. Núcleo Magnético

Fuente: Chapman (2012). Máquinas Eléctricas.

Este campo magnético producido puede variar según el material con el que esté hecho el núcleo, además existen varios tipos de materiales que proporcionan diferentes capacidades magnéticas, y la relación que hay entre el campo magnético H y el flujo de ese campo B puede definirse como:

$$B = \mu \cdot H \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

H : Intensidad de campo magnético.

μ : Permeabilidad magnética del material.

B : Densidad del campo magnético.

Se puede decir que lo que hace variar la intensidad del campo es la permeabilidad y esto dependerá del material del núcleo. Cada material en situaciones diferentes presenta una permeabilidad relativa, relacionada con la del aire, la cual es:

$$\mu^0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ (H/m)} \quad (\text{Ec. 14})$$

Mientras que la de cada material viene siendo:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu^0} \quad (\text{Ec. 15})$$

Indica Chapman (2012), que debido a que la permeabilidad del hierro es mucho mayor que la del aire, la mayor parte del flujo en un núcleo de hierro (como el que aparece en la Figura 6, referente al núcleo magnético) permanece dentro del núcleo en lugar de viajar a través del aire circundante, cuya permeabilidad es mucho más baja. Así mismo expresa que “La pequeña cantidad de flujo disperso que abandona el núcleo de hierro es muy importante para determinar el enlace de flujo entre las bobinas y las autoinductancias de las bobinas en transformadores y motores” (p. 8).

En este orden, se tiene que en un núcleo como el que se muestra en la Figura 6, la magnitud de la densidad de flujo está dada por la unión de las ecuaciones 12 y 13:

$$B = \mu H = \frac{\mu Ni}{l_m} \quad (\text{Ec. 16})$$

Así, el flujo total en cierta área está dado por

$$\phi = \int_A B \cdot dA \quad (\text{Ec. 17})$$

Donde dA es la diferencial del área.

Ahora, si el vector de densidad de flujo es perpendicular a un plano de área A y si la densidad de flujo es constante en toda el área, la ecuación se reduce a:

$$\phi = B \cdot A \quad (\text{Ec. 18})$$

Siendo estas las leyes o comportamientos que siguen las propiedades del campo magnético, se puede, según la Ley de Faraday generar electricidad, mediante:

$$e_{ind} = -\frac{d\phi}{dt} \quad (\text{Ec. 19})$$

Donde:

e_{ind} : Voltaje inducido en la espira.

ϕ : Flujo que atraviesa la espira.

Si una bobina tiene N vueltas y el flujo ϕ pasa por todas ellas:

$$e_{ind} = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (\text{Ec. 20})$$

El signo menos es una representación de la Ley de Lenz para tomar en cuenta el sentido que tiene el voltaje inducido. Pero, esta fórmula no toma en cuenta la pérdida de flujo que se genera ya que no todo el flujo pasa por todas las espiras, entonces como expresa Chapman (2012), que la magnitud del voltaje en la i -ésima espira de la bobina está dada siempre por:

$$e_{ind} = -\frac{d(\phi_i)}{dt} \quad (\text{Ec. 21})$$

Si hay N espiras en la bobina, el voltaje total en esta es:

$$e_{ind} = -\frac{d}{dt} (\sum_{i=0}^N \phi_i) \quad (\text{Ec. 22})$$

El término entre paréntesis en la ecuación 22, se denomina flujo concatenado o los de flujo, la Ley de Faraday puede reescribirse como:

$$e_{ind} = \frac{d\lambda}{dt} \quad (\text{Ec. 22})$$

Llegando a este punto se puede hablar del voltaje que se induce en un conductor por un campo magnético, principio por el cual se basa la generación de energía

eléctrica una vez que se obtiene el movimiento. En un material conductor en presencia de un campo magnético variable, se induce un voltaje variable, teniendo:

$$e_{ind} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l} \quad (\text{Ec. 23})$$

Donde:

V = Velocidad del eje.

B = Densidad del flujo magnético.

L = longitud del conductor en el campo magnético.

Como se puede observar en la ecuación 23, se obtiene el voltaje inducido en el conductor y parte de los factores que se deben tomar en cuenta en el diseño de una planta de esta tecnología, de donde se genere de energía eléctrica basado en la transformación de la energía magnética en energía mecánica, en lo cual se basó el proyecto, estableciendo el principio de su funcionamiento.

Otra manera de obtener el valor de B según la tienda virtual Super Magnete, puede ser:

$$B = \frac{B_r}{2} \left[\frac{D+Z}{\sqrt{r^2+(D+Z)^2}} - \frac{Z}{\sqrt{r^2+Z^2}} \right] \quad (\text{Ec. 24})$$

El valor de Br es el campo remanente y puede variar entre 1400 y 14700 Gauss.

D: Altura del imán (10mm)

Z: Separación con otro imán (10mm)

r: Radio del imán (22,5mm)

Teniendo entonces que B = 0,18657 T

2.2.5. Diseño de Ejes

Un eje, desde el punto de vista ingenieril, es un elemento de máquina que tiene forma cilíndrica generalmente, puede ser hueco o macizo y de una longitud que puede variar según su función. Girando sobre su propio eje puede transmitir potencia al sostener elementos acoplados a él como engranes, cadenas, correas, entre otros.

Al ser un elemento que está dispuesto a girar y sostener cargas, de manera simultánea o no, requiere de un análisis bastante riguroso, ya que el fallo de la flecha puede dejar caer otros elementos que giran a altas velocidades, existe la posibilidad

de averiar otros componentes cercanos e incluso lastimar personal que se encuentre en un perímetro relativamente próximo al mecanismo, es por ello que el diseño de ejes toma en cuenta muchos puntos.

Según la Universidad de los Andes (2010):

En el diseño de flechas deben considerarse tanto los esfuerzos como las deflexiones. La deflexión suele ser el factor crítico, ya que una deflexión excesiva puede causar un desgaste rápido de los cojinetes de la flecha. Los engranes, las bandas o las cadenas impulsadas desde la flecha también llegan a sufrir por falta de alineación, introducida por deflexiones en la flecha. Advierta que en una flecha los esfuerzos se pueden calcular localmente para diversos puntos a lo largo de ella con base en cargas conocidas y secciones transversales supuestas. Pero, los cálculos de deflexión requieren el conocimiento de toda la geometría de la flecha. Por lo tanto, una flecha por lo regular se diseña primero con base en consideraciones de esfuerzos, y una vez completamente definida la geometría a continuación se calculan las deflexiones. También puede resultar la razón entre las frecuencias naturales de la flecha (tanto a torsión como a flexión) y el contenido de frecuencias de las funciones fuerza-tiempo y par de torsión-tiempo. Si las funciones de fuerza son cercanas en frecuencia a las frecuencias naturales de la flecha, la resonancia podrá generar vibraciones, esfuerzos elevados y deflexiones elevadas. (s/p).

Usualmente un eje falla producto de grietas internas en el material que con el pasar del tiempo se convierte en una deformación plástica, sumándole a esto, las grandes revoluciones a las que están expuestos, las dimensiones, las temperaturas bajo las cuales cumplen con su función, etc. Estos factores deben ser tomados en cuenta a la hora de diseñar dichos elementos.

2.2.5.1. Teoría de Fallas

Una flecha experimenta diversos esfuerzos a lo largo de su cuerpo, la relación de estos esfuerzos, ya sean de corte por una carga, de flexión o de torsión, o todos de manera simultánea, dan pie a una clasificación de estos, como máximos y mínimos esfuerzos, creando entonces posibles fallas, que, aunado al estado del material y tipo, existen dos criterios de diseño, según Tassoni (2007):

Ahora que sabemos, como poner en evidencia la existencia de tensiones máximas, tensiones principales, pasemos a relacionarlas con la posibilidad de falla (la pieza no cumpliría con la finalidad requerida para su funcionamiento) del elemento de maquina estudiado, con el objetivo de evitar que su falla se presente. Para ello se han formulado teorías, distintas a la expuesta al principio de este capítulo (conocida como TENSION NORMAL MAXIMA, la cual hemos utilizado hasta el S_y S_{ycorte} , (propuesta por W.J.M Rankine en 1.845), que se acercan definitivamente más a la predicción acertada de las condiciones de falla de un elemento de máquina, que en esa primera teoría, quedando esta “primera teoría solamente para materiales frágiles. Veamos, a continuación, algunas de las más importantes y más utilizadas en el diseño de piezas. Teoría de Tensión de Corte Máxima: Tresca: se considera que esta es la teoría de falla más antigua. Originalmente fue propuesta por el francés C.A Coulomb (1.736-1.806). Tresca, en 1.864 escribió acerca de la teoría del esfuerzo de cortante máximo, J.J. Guest en Inglaterra realizo ensayos en el año 1.900, que condujeron a la aceptación de la teoría. Así como obtuvimos σ_1 y σ_2 para un estado bidimensional de tensiones, como en el indicado en el 6.1.1, podemos obtener, para un estado más complejo de tensiones, tal cual es el tridimensional, los siguientes valores:

$$\tau_1 = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad \tau_2 = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2} \quad \tau_3 = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

La falla iniciara cuando la tensión mayor de corte entre los tres valores de τ_i (sea este $\tau_{i\ max}$ representados en las expresiones indicadas en (1), se iguala a la mitad del valor de la resistencia a la fluencia del material de fabricación de la pieza, obtenido en un ensayo de tracción simple. (p. 75).

Esta teoría descrita es utilizada para elementos o materiales dúctiles, ya sea latón, aluminio, bronce, etc. Para materiales con otras características, a esto se refiere a materiales medianamente dúctiles como los aceros, se usa otro criterio de diseño denominado Von Mises – Hencky, pero de acuerdo a las características de los aceros, y su propiedad de afectarse por el campo magnético, se resaltó el criterio de Tresca, ya que este es conveniente por referirse al diseño de flechas de aluminio.

Ahora, el criterio de tensión de corte máxima toma en consideración los esfuerzos combinados, pero es necesario tomar en cuenta que un eje que gira y está sometido a estos esfuerzos, a medida que cambia su posición, los esfuerzos rotan

sobre el eje, es decir, en un instante de tiempo los esfuerzos están concentrados y actúan sobre el eje en cierto modo, un instante después, cuando el eje ya ha girado 180 y se encuentra en una posición totalmente distinta, los esfuerzos actuantes afectan al eje, las fibras que anteriormente se encontraban bajo un efecto de tensión, ahora se encuentran bajo un efecto de compresión, creando un esfuerzos alternantes, a este efecto se le denomina fatiga, cuando las cargas son variables, estas cargas son en sí, las que generan la falla, por supuesto, con las condiciones mecánicas del material (desgaste, grietas, temperatura de trabajo, entre otras).

En el comportamiento de un eje expuesto a fatiga, como se mencionó, la fibra neutra está sometida a un esfuerzo máximo cuando el eje este en cierta posición y un esfuerzo mínimo cuando esté en la opuesta, como puede visualizarse en la figura 7 donde se puede apreciar las variaciones de tensiones con respecto al tiempo.

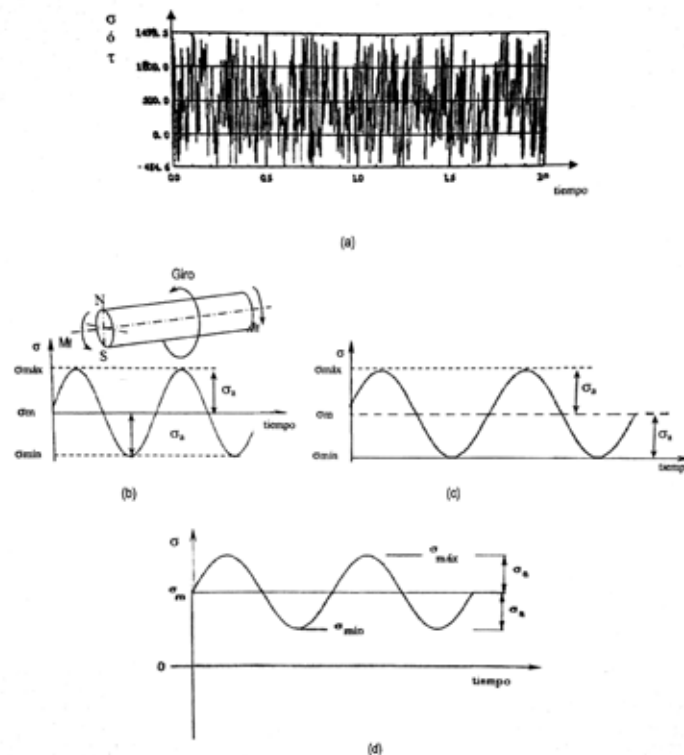


Figura 7. (a) Variación compleja y sinusoidales aproximadas; (b) Tensión alternativa; (c) Tensión repetida; (d) Tensiones fluctuantes

Fuente: Tassoni (2007). Elementos de Máquinas.

Donde la tensión alternativa varía entre valores positivos y negativos de los esfuerzos, en la tensión repetida varía entre valores positivos y cero (ningún esfuerzo) y en la de tensión fluctuante los esfuerzos varían por encima de cero.

Por tanto, los valores pueden variar entre máximos y mínimos, existen esfuerzos medios y de amplitud, como se muestra en la figura 7, donde la amplitud es la distancia que existe entre el esfuerzo medio y los puntos pico de las curvas sinusoidales, es decir, entre los esfuerzos máximos y el esfuerzo neutro, por otro lado el esfuerzo medio es la media del comportamiento de la curva, estos esfuerzos se expresan así:

Para tensión y flexión

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{m\acute{i}n}}{2} \quad (\text{Ec.25})$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n}}{2} \quad (\text{Ec.26})$$

Para Torsión

$$\tau_m = \frac{\tau_{m\acute{a}x} + \tau_{m\acute{i}n}}{2} \quad (\text{Ec.27})$$

$$\tau_a = \frac{\tau_{m\acute{a}x} - \tau_{m\acute{i}n}}{2} \quad (\text{Ec.28})$$

Estos esfuerzos son obtenidos de acuerdo al estudio de los puntos críticos según el diseño, de acuerdo a los diagramas de flexión y torsión, generalmente estos puntos críticos se encuentran en los cambios de sección para obtener los valores de los esfuerzos debemos sustituir los valores obtenidos de los diagramas de momento flector y momento Torsor, siendo los máximos los puntos máximos que arroje el diagrama y los mínimos los puntos mínimos.

$$\sigma_{(P)} = \frac{P}{\text{Area}} \quad (\text{Ec.29})$$

$$\sigma_{(MF)} = \frac{32 * MF * D}{\pi * (D^4 - d^4)} \quad (\text{Ec.30})$$

$$\tau_{(MT)} = \frac{16 * MT * D}{\pi * (D^4 - d^4)} \quad (\text{Ec.31})$$

2.2.5.2. Factores de Marín

Los ejes fallan por varios motivos, entre ellos puede destacarse alguna falla de fábrica del material, mal acabado superficial generando grietas internas, por trabajar a

temperaturas inadecuadas o que no fueron tomadas en cuenta, por no soportar las cargas a la que están expuestas, etc. Los factores de Marín alteran el esfuerzo último o de fluencia de modo tal que toma en cuenta todas estas condiciones a las cuales el eje está expuesto, ya que debe tomarse la mayor cantidad de información de los ensayos que se han realizado a los distintos materiales para determinar valores de variables que evitarían las fallas por fatiga. Los factores de corrección de Marín alteran la resistencia a la fatiga real (S_{fx}) para materiales ferrosos o no y los límites de fatiga real (S_n) de materiales ferrosos, en este caso se tomó de acuerdo a la teoría la resistencia a la fatiga real (S_{fx}) debido a que el material seleccionado es no ferroso.

$$S_{fx} = S'_{fx} * \prod_{i=1}^n * C_i \quad (\text{Ec.32})$$

Según Tassoni (2007). los factores de Marín son:

Acabado Superficial (Cs): Cuando dijimos que la primera etapa de la fatiga, se inicia con una grieta microscópica que se va propagando, toma importancia el acabado superficial de la pieza, un rectificado o mejor un pulido, dejara menos marcas a partir de las cuales podría iniciarse la grieta. El valor correspondiente a Cs lo podemos obtener B-1 del apéndice B de este trabajo, utilizando la expresión $C_s = A$ (su) elevado a la b. Si Cs es mayor que 1, tomar Cs igual a 1. **Dimensiones de la pieza (Cd):** experimentalmente se ha comprobado que tanto la resistencia a la fluencia como a la ruptura se ven modificadas por el área resistente a la tensión, y es por eso que los factores de corrección pueden resumirse así:
Cd=1 Para medidas de la sección transversal de hasta d=12,5mm.
Cd=0,85 Para medidas de la sección transversal de 12,5 mm d 50 mm.
Cd=0,75 Para medidas de la sección transversal de 50mm d 100 mm.
 $Cd = 1,189 d^{-0,097}$ Para 100 mm d 250 mm. Para medidas mayores que las indicadas deberán efectuarse pruebas de laboratorio. **Confiabilidad funcional (Ccf):** la totalidad de la información referida a valores de resistencia, tanto de fluencia como de ruptura, de los ensayos a tracción estáticos y de los valores de resistencia a la fatiga y del límite de fatiga, según sea el caso y el material de fabricación de la pieza, indican que de acuerdo a su fabricación, los valores que se reportan están en una banda de dispersión de 50%; esto significa que solo la mitad de las piezas presentaran, por lo menos, la durabilidad esperada según las condiciones de trabajo que le han sido impuestas. si la confiabilidad funcional que se desea tener es del 50% **Ccf=1**; pero, si deseamos una confiabilidad

mayor, por ejemplo del 99%, entonces **Ccf= 0,83**. Para valores que aseguren la supervivencia de casi todas las piezas, digamos del 99,99% el valor de **Ccf** sería **de 0,72**. **Temperatura de trabajo (Ct):** Para valores de temperatura cercanos de la temperatura del ambiente, utilizar **Ct=1**. Para condiciones de trabajo que se sitúen a “bajas”, o bien a “altas” temperaturas, el factor debe determinarse. Forzosamente, esto deberá realizarse por medio de ensayos de laboratorio que simulen las condiciones de trabajo a las cuales estará sometida la pieza. Si la temperatura oscila entre 450 y 550 C utilizar **Ct= 1- 0,0058 (T-450)**. **Corrección por carga axial (Ca):** Mientras existan solamente cargas de flexión en un ensayo de fatiga, solo las fibras externas estarán sometidas al máximo de las tensiones; pero si existe una carga axial variable que genere tensiones, alternativas, repetidas o fluctuantes, todas las fibras transversales estarán sometidas a dicha tensión y esto aumenta la posibilidad de falla por fatiga, si un sistema como este está actuando **Ca=0,9**. **Corrección por carga de corte (Cc):** Cuando esté presente un sistema de carga que introduzca sistema de corte variable, se ha encontrado en función de la maleabilidad del material de la pieza, los siguientes valores experimentales **Cc=0,5** Para materiales muy dúctiles. **Cc=0,6** Para materiales medianamente dúctiles (Aceros). **Cc=0,8** Para materiales frágiles. **Otros factores de corrección (Co):** Aquí el diseñador, según Marín, tiene más libertad; existen diversos factores dependiendo del comportamiento de cada material, Co se transforma de nuevo en un Ci, es decir, en una serie de factores adicionales, algunos de los cuales son: Tensiones Residuales, Anisotropía, Imperfecciones, Tratamientos superficiales. Con los valores de los coeficientes de corrección de Marín podemos incluir que los valores reales de la resistencia a la fatiga y/o el límite de la fatiga de un material se reducen considerablemente (p. 87).

2.2.5.3. Criterios de Diseño

De acuerdo a como se comportan los esfuerzos en un eje de forma alternante y media existen ciertos criterios de diseño desarrollados de dos puntos de vista distintos para predecir las fallas.

Criterio de Soderberg: Para materiales dúctiles, es una representación matemática de una representación gráfica del comportamiento de los esfuerzos últimos y de fluencia de los materiales, el cual se determina por las siguientes ecuaciones:

Para esfuerzos, tensión y flexión:

$$\frac{S_y}{N} = \sigma_m + \sigma_a \frac{S_y}{S_n} = \sigma_m + \sigma_a \frac{S_y}{S_f} \quad (\text{Ec. 33})$$

Para torsión y corte

$$\frac{S_{ycorte}}{N} = \tau_m + \tau_a \frac{S_{ycorte}}{S_{ncorte}} = \tau_m + \tau_a \frac{S_{ycorte}}{S_{fcorte}} \quad (\text{Ec. 34})$$

Criterio de Goodman: Para materiales frágiles, es una representación matemática de una representación gráfica del comportamiento de los esfuerzos últimos y de fluencia de los materiales, el cual se determina por:

Para esfuerzos, tensión y flexión:

$$\frac{S_u}{N} = \sigma_m + \sigma_a \frac{S_u}{S_n} = \sigma_m + \sigma_a \frac{S_u}{S_f} \quad (\text{Ec. 35})$$

Para torsión y corte:

$$\frac{S_{ucorte}}{N} = \tau_m + \tau_a \frac{S_{ucorte}}{S_{ncorte}} = \tau_m + \tau_a \frac{S_{ucorte}}{S_{fcorte}} \quad (\text{Ec. 36})$$

Para ambos criterios el S_n y S_f provienen de los factores de Marín, en cuanto a los que tienen el sub índice de corte, es decir, para los criterios de torsión $S_{ucorte} = 0,8S_u$ y $S_{ncorte} = 0,8S_n$. Por otro lado el tenemos que el valor de S_y , S_u , S_{ucorte} y S_{ycorte} cuando estén fraccionados por el valor de N , que es el factor de seguridad propuesto por el diseñador (este valor es considerado por el diseñador según las condiciones a las que trabaje el eje), es el esfuerzo admisible, que es el esfuerzo reducido por el factor de seguridad el cual no debe ser superado por las cargas actuantes en el eje para así evitar las fallas.

Concentradores de esfuerzos K_e , K_t y K_f . Soderberg y Goodman no tienen incluido la concentración de tensiones, hasta el momento, que se acentúan en el punto de concentración de esfuerzos, es decir, un cambio de sección, una chaveta, un pasador, una cuña, etc. Son elementos que tienen el propósito de concentrar los esfuerzos en ellos para que, en caso de alguna falla, se sitúe en ellos primero que en el eje y así protegerlo, son denominados K_t y estos varían según las cargas y efectos que afecten el eje en los cambios de sección, ranuras, etc. Este valor depende del

radio de la muesca que es el radio que tiene el eje en los cambios de sección o en las ranuras así como del diámetro menor en el cambio de sección.

$$K_t = A \left(\frac{r}{d} \right)^b \quad (\text{Ec.37})$$

Estos valores de A y b pueden obtenerse en el apéndice A (A1, A2 y A3) para carga, flexión y torsión respectivamente. Este valor de Kt obtenido ayuda a obtener los valores de los concentradores estáticos (Kf y Ke) mediante la sensibilidad al entalle (q).

Sensibilidad al entalle (q): Es la sensibilidad superficial que tiene la pieza, se puede obtener mediante la fórmula de Kunn-Hardrath.

$$q = \left[1 + \left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}} \right) \right]^{-1} \quad (\text{Ec. 38})$$

Donde el valor de \sqrt{a} (*inch²*) se obtiene por el apéndice B, es la constante de Neuber para aceros, aluminios recocidos y aluminios endurecidos, comparándolo con el valor de su esfuerzo último y el valor de \sqrt{r} es la raíz cuadrada del radio de la muesca.

Mediante el valor de q, podemos obtener los concentradores estáticos (Ke y Kf)

$$K_e = 1 + q (K_t - 1) \quad (\text{Ec. 39})$$

$$K_f = 1 + q (K_t - 1) \quad (\text{Ec. 40})$$

Para materiales dúctiles q = 0,2 por lo que el valor de Ke cambia a

$$K_e = 0,8 + K_t 0,2 \quad (\text{Ec. 41})$$

Para materiales frágiles q = 1, por lo que Ke y Kf son iguales.

Ahora tomando en cuenta los concentradores en el diseño y aplicándolos a las ecuaciones de Soderberg y de Goodman se puede obtener esfuerzos equivalentes debido a las cargas, a la flexión y a la torsión.

$$\sigma_{e(P)} = K_{e(P)} \sigma_{m(P)} + K_{f(P)} \sigma_{a(P)} \frac{S_y}{S_n} \quad (\text{Ec. 42})$$

$$\sigma_{e(MF)} = K_{e(MF)} \sigma_{m(MF)} + K_{f(MF)} \sigma_{a(MF)} \frac{S_y}{S_n} \quad (\text{Ec. 43})$$

$$\tau_{e(MT)} = K_{e(MT)} \tau_{m(MT)} + K_{f(MT)} \tau_{a(MT)} \frac{S_{yCorte}}{S_{nCorte}} \quad (\text{Ec.44})$$

Ahora es necesario calcular un esfuerzo equivalente entre flexión y la carga, siendo este la suma de ambos.

$$\sigma_e = \sigma_{e(P)} + \sigma_{e(MF)} \quad (\text{Ec.45})$$

Para poder obtener la relación entre el esfuerzo admisible y el esfuerzo al que el eje estará sometido, mediante.

$$\frac{S_y}{N} = \sqrt{\sigma_e^2 + 3 \tau_e^2} \quad (\text{Ec.46})$$

Donde el esfuerzo al que está sometido al eje no debe superar al admisible, traduciendo esto a que el eje no fallará.

2.2.6. Rodamientos

Un rodamiento es un elemento de soporte para ejes o flechas, que tiene como finalidad sostener firmemente el elemento giratorio sin limitar de manera significativa su velocidad de giro, debido a su composición, la cual consta básicamente de esferas o rodillos encerrados en una empaadura hueca, con cierta lubricación, los ejes son introducidos de manera concéntrica al agujero del rodamiento para así sostenerlo, sirviendo de apoyo por medio de bases, que en conjunto se le denomina chumacera.

Según el catálogo de rodamientos de la empresa SKF (2015) se dictan algunas recomendaciones para la selección de los rodamientos, así como para su aplicación, tal como se señala a continuación:

Por lo general, la principal falla en los rodamientos es a causa de la fatiga del metal en las superficies de contacto. La fatiga del metal puede ser a causa de diversos factores que incluyen, entre otros, exceso de calor, condiciones de lubricación deficientes o con presencia de elementos contaminantes y cargas externas elevadas o indeterminadas. Por lo tanto, para seleccionar el tamaño de un rodamiento para una aplicación determinada, basta contar con un criterio basado en la fatiga del camino de rodadura. Las normas internacionales, como ISO 281, se basan en la fatiga del metal en las superficies de contacto rodantes. (p. 24).

Por tanto, queda expreso que la selección del rodamiento depende de las cargas a las que será sometida y el material con el cual interactúa, teniendo cierta vida útil. Las cargas a las que estará sometido el rodamiento tienen ciertas capacidades, estas

capacidades son las capacidades de carga dinámica y estática, para el estudio y desarrollo del proyecto se usó una capacidad de carga dinámica debido a que la fuerza a la que estarán sometidos los rodamientos varía según las distancias de las fuerzas magnéticas. La selección de los diferentes tamaños de rodamientos está expresa en la norma ISO 28.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (\text{Ec.47})$$

Donde:

L_{10} : Vida nominal básica para millones de revoluciones.

C: Capacidad de carga dinámica básica.

P: Carga dinámica equivalente del rodamiento.

p: Tiene un valor de 3 para los rodamientos de bolas.

La carga dinámica equivalente del rodamiento puede calcularse según el catálogo de SKF como:

$$P = F_r * X + F_a * Y \quad (\text{Ec. 48})$$

Donde X y Y representan los factores de cargas radiales y axiales respectivamente, debido al diseño, los rodamientos no estarán expuestos a cargas axiales, por tanto, no se tomará dicho valor, por otro lado, los valores de F_a y F_r vienen representados de la siguiente manera según el catálogo de SKF para la selección de rodamientos, como se puede apreciar en la figura 8.

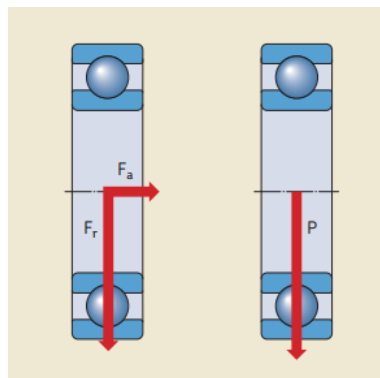


Figura 8. Representación de las fuerzas actuantes en el rodamiento de bola.
Fuente: SKF (2015). Catálogo de Rodamiento.

Ahora bien, el cálculo de la vida útil de rodamiento empieza con la selección de un rodamiento en función del diámetro del eje, para así obtener el valor de la capacidad de la carga dinámica básica C , mientras que el valor de la carga dinámica equivalente depende de las rpm de giro del eje, ya que no estará expuesto a cargas axiales.

Las características de los rodamientos de bolas de una hilera de acero inoxidable de SKF, están dispuestos de la siguiente manera para así normalizar los distintos tipos de mercancías.

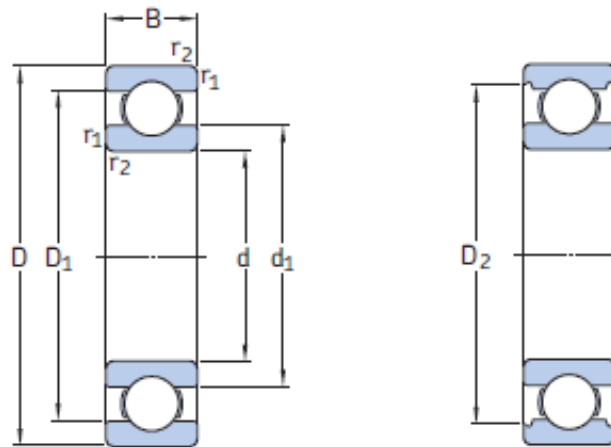


Figura 9. Ficha Técnica de Rodamientos.
Fuente: SKF (2015). Catálogo de Rodamiento.

Los rodamientos disponibles, pueden observarse en el apéndice C, figura C-1 de rodamientos disponibles de bola del catálogo SKF, clasificados según el diámetro se puede obtener distintos tipos de rodamiento, variando en ellos las dimensiones principales, la capacidad de carga básica, carga límite de fatiga y velocidades nominales máximas, asignándole a cada uno de ellos una designación para identificarlos. Los factores radiales al igual que los rodamientos disponibles se pueden clasificar según el diámetro en el apéndice C, figura C-2, obtenidos del catálogo de SKF.

Por otro lado, es importante saber que los rodamientos generan cierta fricción que aporta a las pérdidas de la energía, bien sea perdidas mecánicas del eje, lo cual viene representado por un momento inercial, que debe ser vencido por el torque aplicado o los elementos transmisores de potencia, para romper el estado inerte del eje y los rodamientos. Este momento viene dado por:

$$M = 0.5 \mu P d \quad (\text{Ec.48})$$

De donde el coeficiente de roce μ se obtiene de la tabla facilitada por el catálogo de SKF, representada en la figura 10.

Coeficiente constante de fricción μ para rodamientos abiertos (rodamientos sin sellos de contacto)	
Tipo de rodamiento	Coeficiente de fricción μ
Rodamientos rígidos de bolas	0,0015

Figura 10. Coeficiente de Roce
Fuente: SKF (2015). Catálogo de Rodamiento.

De este modo puede decirse que la selección de rodamientos depende primordialmente de las dimensiones de la flecha, las revoluciones de giro y las cargas a la que estarán expuestos.

2.3. Definición de Términos Básicos

Campo Magnético: Es el medio donde se distribuye una fuerza magnética, está presente en los imanes o generarse cuando una corriente eléctrica fluye alrededor de un material conductor. En el Sistema Internacional es denominado con la letra “B” y se mide en Tesla ((Newton x Segundo) / (Metro x Coulomb)).

Energía: es la capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de movimiento.

Flujo Magnético: Es una medida que expresa el campo magnético que atraviesa un área. Tiene como unidades según el Sistema Internacional el Weber y su símbolo es representado por Wb.

Fuerza Magnética: Es una consecuencia de la fuerza electromagnética (estas fuerzas actúan sobre todas las partículas cargadas eléctricamente. Son de naturaleza atractiva o repulsiva), se genera cuando existen cargas eléctricas en movimiento entre objetos que interactúan. Dos objetos cuyas cargas se mueven en la misma dirección experimentan una fuerza magnética atractiva entre ellos. Similarmente, dos objetos cuyas cargas se mueven en direcciones opuestas experimentan una fuerza magnética repulsiva entre ellos.

Generador: Aparato dispositivo que genera energía, como, por ejemplo: un tipo muy común de generador eléctrico son las pilas que se utilizan en todo tipo de juguetes y en muy diversos aparatos.

Inducción electromagnética: es un proceso por el cual se puede inducir una corriente por medio de un campo magnético, esto se debe a dos principios físicos o leyes fundamentales.

Prototipo: Primer ejemplar que se fabrica de una figura, un invento u otra cosa, y que sirve de modelo para fabricar otras iguales, o molde original con el que se fabrica.

Revoluciones: Es el número de rotaciones completadas cada minuto por un cuerpo que gira alrededor de un eje.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Una vez realizada la exploración de los aspectos teóricos que soportan los alcances de la investigación, se presentan los aspectos metodológicos, los cuales permiten describir de una manera detallada y concisa las actividades que se realizaron para alcanzar tanto el objetivo general como los específicos.

3.1. Tipo de Investigación

De acuerdo al estudio y a los objetivos que el investigador se plantee, se define el tipo de investigación, y este puede ser según Palella y Martins (2012), entre otros, documental o de campo, siendo estos en los que sustentará este proyecto.

En relación a la investigación de campo, la Universidad José Antonio Páez (2007), en las Normas para elaboración y presentación de los Anteproyectos, Proyectos y Trabajos de Grado, señala que es:

El análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo. Los datos serán recogidos en forma directa de la realidad; en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales o primarios. (p. 4).

Por otra parte, Arias (2006), señala que “en una investigación de campo también se emplean datos secundarios, sobre todo los provenientes de fuentes bibliográficas, a partir de los cuales se elabora el marco teórico” (p. 31). De acá, se deriva el apoyo en la investigación documental que se otorgó al presente trabajo.

3.2. Modalidad de la Investigación

Para efectos de esta investigación, la modalidad se circunscribe en el denominado Proyecto Factible, el cual según la Universidad José Antonio Páez (ob. cit.), consiste:

Elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organización o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnología, métodos o procesos. (...) debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades. (p. 5).

En tal sentido, para ayudar a solventar un problema en cuanto a la generación de energía eléctrica y a la contaminación ambiental los investigadores se trazaron el diseño de un prototipo para un sistema de generación de energía eléctrica basado en la transformación de la energía magnética en energía mecánica.

3.3. Nivel de la Investigación

En relación al nivel de investigación, Arias (2006), señala que “se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio” (p. 23). Por su parte, Palella y Martins (2012), manifiestan que el nivel para la investigación de campo puede ser exploratorio, descriptivo, explicativo, proyectivo y correlacional, entre otros.

Según lo anterior, esta investigación es de nivel explicativo, ya que, buscó, a través de cálculos y diseño de un prototipo, demostrar la factibilidad de la implementación de las plantas particulares de generación de energía en los hogares, con el fin de disminuir el impacto ambiental. Buscando el por qué es conveniente la implementación de este tipo de plantas basado en los efectos que genera según la causa del problema. Así como también entra en el rango de un nivel descriptivo, ya que describe el funcionamiento del mecanismo y de igual forma quedó expuesta la descripción de los principios mecánicos y electromagnéticos que son necesarios para su comprensión.

3.4. Población y Muestra

La población, según Tamayo y Tamayo (2003), es:

La totalidad de un fenómeno de estudio, incluye la totalidad (...) de análisis (...) de población que integran dicho fenómeno y que debe cuantificarse para un determinado estudio integrando un conjunto N de

entidades que participan de una determinada característica, y se le denomina población por constituir la totalidad del fenómeno adscrito a un estudio... (p. 176).

Mientras que la muestra según Ander-Egg (2003), es: “Una parte o fracción representativa de un conjunto de un todo, población o universo, que ha sido obtenida con el fin de representar ciertas características del mismo” (p. 356). Además, indica este autor, que si la población es pequeña, se puede tomar el total de la misma.

En el caso de la presente investigación, la población y muestra estuvo integrada por dos (2) especialistas en Ingeniería Eléctrica y Mecánica, a quienes se les aplicó una entrevista de conocimiento a fin de orientar el diseño del prototipo de generación de energía eléctrica basado en la transformación de la energía magnética en energía mecánica, conformando el prototipo parte de la población, en vista de que en la medida que se elaboró se aplicó lo denominado nota de campo, para asentar el desarrollo del mismo. (Ver Anexos A y B).

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para recolectar los datos en un trabajo de investigación, existe una gran diversidad de técnicas e instrumentos que pueden ser utilizadas para conocer en detalle la información que se desea obtener de acuerdo a la temática en estudio. En relación a las técnicas, Palella y Martins (2012), señalan que “Son las distintas formas o maneras de obtener la información” (p. 115). Con respecto a los instrumentos de recolección de datos, los definen como “Cualquier recurso del cual pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información” (p. 125).

Igualmente manifiestan los citados autores, que las técnicas pueden ser: la observación, la entrevista, la encuesta, el fichaje y la prueba de evaluación; y entre los instrumentos se encuentran: el cuestionario, la guía de entrevista, el test, la guía de observación, la escala de valoración, las pruebas objetivas y tipo ensayo, entre otros. A efectos de esta investigación, se utilizaron las siguientes técnicas e instrumentos.

Observación participativa directa: los investigadores haciendo acto de presencia en el campo de estudio fueron testigos del estado del área investigada,

obteniendo y registrando información que fue utilizada para el análisis de los resultados obtenidos.

Entrevistas no estructuradas: para complementar la información adquirida en los procesos de observación se realizaron preguntas abiertas y no estandarizadas a dos sujetos que trabajan en el área.

Revisión documental: Esta técnica se realizó con el fin de profundizar la información recopilada con todas las aplicadas anteriormente, esta comprende la búsqueda de la información de documentos empresariales, que contribuyan al conocimiento del comportamiento de sucesos realizados que sirvan de apoyo para el desarrollo de teorías pertinentes para la resolución de problemas.

3.6. Fases Metodológicas

Las fases metodológicas están dadas por los objetivos específicos:

Fase I: Determinar la energía necesaria para hacer girar un eje por medio de la energía magnética de los imanes transformándola en energía mecánica.

La realización de esta fase se logró por medio de los cálculos obtenidos mediante la fuerza de atracción y repulsión que generan los imanes de una misma polaridad, que, debido a propiedades magnéticas y naturales, tienden a repelerse si sus caras de igual polaridad se consiguen. Con estos resultados se obtuvo la fuerza que hace girar el eje, para posteriormente con este movimiento rotatorio, generar energía eléctrica por medio de un generador eléctrico.

La fuerza que puede levantar un imán se obtuvo mediante experimentos empíricos, debido a la falta de dispositivos capaces de medir fuerzas de campo magnético, denominados magnetómetros. Calculando el roce que generan los rodamientos según sean sus características, de modo tal que el torque ejercido por los imanes, supere este momento de inercia, tal como se explica a continuación:

La fuerza de estos imanes corresponde a 2,26 N, esta fuerza fue conseguida a través de un procedimiento empírico debido a no contar con los instrumentos necesarios para su correcta medición, como lo es el magnetómetro cuya función es medir la fuerza de repulsión y atracción de los imanes.

El procedimiento anteriormente mencionado consiste en una preparación con materiales simples y un arreglo específico. Los materiales usados fueron:

- Bolsa de plástico.
- Tijera.
- Dos imanes.
- Chapas metálicas.
- Balanza.

Primeramente se realizó un nudo en la bolsa, posteriormente se cortó la parte inferior para introducir uno de los imanes, mientras el segundo estaba fuera de la bolsa aplastando una porción de ella, gracias a la fuerza de atracción proporcionada por el imán de la parte interior, posterior a este paso se fueron introduciendo chapas metálicas dentro de la bolsa hasta el momento en que los imanes cedieron debido a que la fuerza de atracción no fue suficiente para soportar el peso de las chapas. La bolsa llena de chapas luego fue pesada en una balanza arrojando el resultado de 231g, equivalente a 2,26N, siendo esta la fuerza que puede levantar un imán con las características especificadas. Sabiendo que la fuerza de atracción y repulsión de los imanes es relativamente la misma, no afectaría en los cálculos posteriores.

Para el cálculo del roce se utilizó el catalogo SKF para rodamientos, que consistió un método de cálculo del momento inercial el cual expone una relación directamente proporcional entre los tipos de materiales en contacto y la carga que aplicada en el rodamiento. Obteniendo de esta manera el momento que se debe vencer para vencer el estado estático del rodamiento, por ende se usa la ecuación 3, $\tau = F \cdot r \cdot \text{Sen}\theta$ de la cual se pudo obtener la fuerza necesaria para generar ese torque.

Fase II: Calcular las revoluciones mínimas para que el generador logre brindar la energía necesaria.

Se calcularon las revoluciones mínimas necesarias por medio de las ecuaciones pertinentes de torque, buscando que las revoluciones entraran en un rango de satisfacción mínimo con el cual un sistema rotor-estator, de acuerdo a los fenómenos

físicos y magnéticos, convirtió la energía mecánica en energía eléctrica. Según la energía necesaria para abastecer una casa promedio, las rpm fueron calculadas igualando estas al voltaje requerido.

Para este cálculo se utilizó la ecuación de Faraday de un voltaje inducido en un conductor (Ecuación 23, Capítulo II) $\epsilon_{ind} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l}$ tomando como dato de referencia la energía que consume una casa promedio y el valor del campo magnético B, calculado con la ecuación 24 plasmada en el Capítulo II, y sustituyendo los valores

$$B = \frac{B_r}{2} \left[\frac{D+Z}{\sqrt{r^2 + (D+Z)^2}} - \frac{Z}{\sqrt{r^2 + Z^2}} \right]$$

despejando v, se obtuvo el valor de las revoluciones por minuto necesarias para satisfacer las necesidades de un hogar promedio, tomando en cuenta también que el resultado debe ser mayor debido a que existen pérdidas que disminuyen la cantidad de energía generada. (Por ejemplo si da 80, tomamos 100 para generar más de lo que se necesita).

El rango es el resultado que arroja esa ecuación hasta por lo menos un 20% por encima de ese resultado, esto es porque se necesita siempre generar energía demás, tomando en cuenta las pérdidas.

Fase III: Elaborar un prototipo para un sistema de generación de energía eléctrica basado en la transformación de la energía magnética en energía mecánica.

Para la elaboración del prototipo, se estimaron los cálculos para el diseño de ejes, el cual debía presentar las características necesarias según el esfuerzo al que estaría expuesto para no fallar, basándose en teorías de fallas, se recomiendan ciertas condiciones a la hora de diseñar un eje que trabaje a esfuerzos combinados y fatiga, los cuales son seleccionar factores de Marín, selección de chumacera, criterios de diseño, cálculo de los concentradores de esfuerzos y aplicación de teorías de fallas.

El voltaje generado se obtuvo mediante las RPM a las que giraba el eje, ya calculadas con la ecuación 23 y 24, pero para este caso la variable que se despeja de la ecuación es el voltaje inducido y las RPM es un dato, por lo tanto, con las RPM, la

longitud y el campo se obtiene el voltaje que se genera, donde no existen pérdidas magnéticas.

Dando cumplimiento esta fase metodológica. El diseño del eje pudo obtenerse mediante ciertas recomendaciones ofrecidas por el texto Elementos de Maquinas I, Tassoni D. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica (2010).

¿Cómo se diseña? Seleccionar un material que se considere adecuado para la aplicación y para las condiciones de trabajo que deben enfrentarse. Se suponen las dimensiones de la pieza. Por medio de las características del material, y sus tratamientos, se obtiene el valor correspondiente a su S_n o a su S_f (Siendo S_n el límite de fatiga real y S_f la resistencia a la fatiga real). Posteriormente se verifica que los esfuerzos a los cuales está sometida la pieza, según las dimensiones que hemos supuesto, cumplen con el criterio de diseño de Soderberg o de Goodman. Si las condiciones que se acaban de enunciar no se respetan, hay que...reiniciar de nuevo, tomar dimensiones y repetir el proceso de diseño hasta que se cumplan las condiciones esperadas. Este es un proceso reiterativo y complejo, que solo la experiencia o los paquetes computacionales (como por ejemplo Solid Works o Inventor) podrán simplificar” (p. 91).

Fase IV: Evaluar la factibilidad económica de un generador particular de energía limpia que coadyuve a la preservación del medio ambiente.

Se estimaron los costos relacionados al consumo eléctrico en una situación de fallas comparando una planta de tipo convencional con el prototipo diseñado, dando como resultado la factibilidad económica que requiere el diseño de un prototipo como el ya mencionado en relación a las plantas generadoras particulares convencionales.

Esos datos se obtuvieron de los precios de las plantas hidroeléctricas y plantas particulares, se compararon los precios con los del prototipo y se expone una diferencia de precios donde, se muestra la rentabilidad del prototipo debido a que los costos de mantenimientos son insignificantes comparados a los de las plantas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En este capítulo se presenta el resultado de cada una de las fases metodológicas a fin de cumplir con los objetivos específicos que corresponden a los cálculos y diseño de un prototipo para un sistema de generación de energía eléctrica basada en la transformación de la energía magnética en energía mecánica.

4.1. Determinación de la energía necesaria para hacer girar un eje por medio de la energía magnética de los imanes mediante la transformación de la energía mecánica.

Las características más importantes que poseen los imanes se refiere a la fuerza de repulsión y atracción, esto se genera gracias a las líneas de campo magnéticas que viajan de polo norte a polo sur, de tal manera que al momento de aproximar los polos semejantes las líneas de campo magnéticas se empiezan a comprimir hacia su propio polo. En el momento en que esta compresión es máxima, las líneas empiezan a expandirse, provocando así que no puedan acercarse.

Tomando esto en cuenta, se procede a seleccionar las caras semejantes de los imanes para así aprovechar la fuerza de repulsión de manera tal que puedan repelerse mutuamente y mediante el arreglo anular, encerrar la trayectoria repulsiva entre ellos para generar un movimiento giratorio, el cual fue la base del sistema en estudio.

Como se puede apreciar en la Figura 7 plasmada en el Capítulo II, con la ayuda del software Inventor, se realizó una vista de corte transversal del ensamble donde se destacan las líneas amarillas que representan los imanes y las púrpuras son las que componen los ángulos. Estos ángulos en la realidad son variables por segundo, es decir, el estudio que se realizó es para un instante de tiempo determinado, donde además se dispuso de esta posición específica para encarar dos imanes, como se muestra el arreglo en la Figura 11. El estudio de las fuerzas descompuestas de cada imán se realizó de manera particular, cabe destacar que las fuerzas que se tomaron en

cuenta para el cálculo de la torsión son aquellas que lo generan, esas fuerzas son las excéntricas al centro del eje, que son las que generan el torque debido a que son aplicadas lejos del centro del eje y esto genera un momento el cual proporciona un sentido de giro según el sentido de aplicación de la fuerza

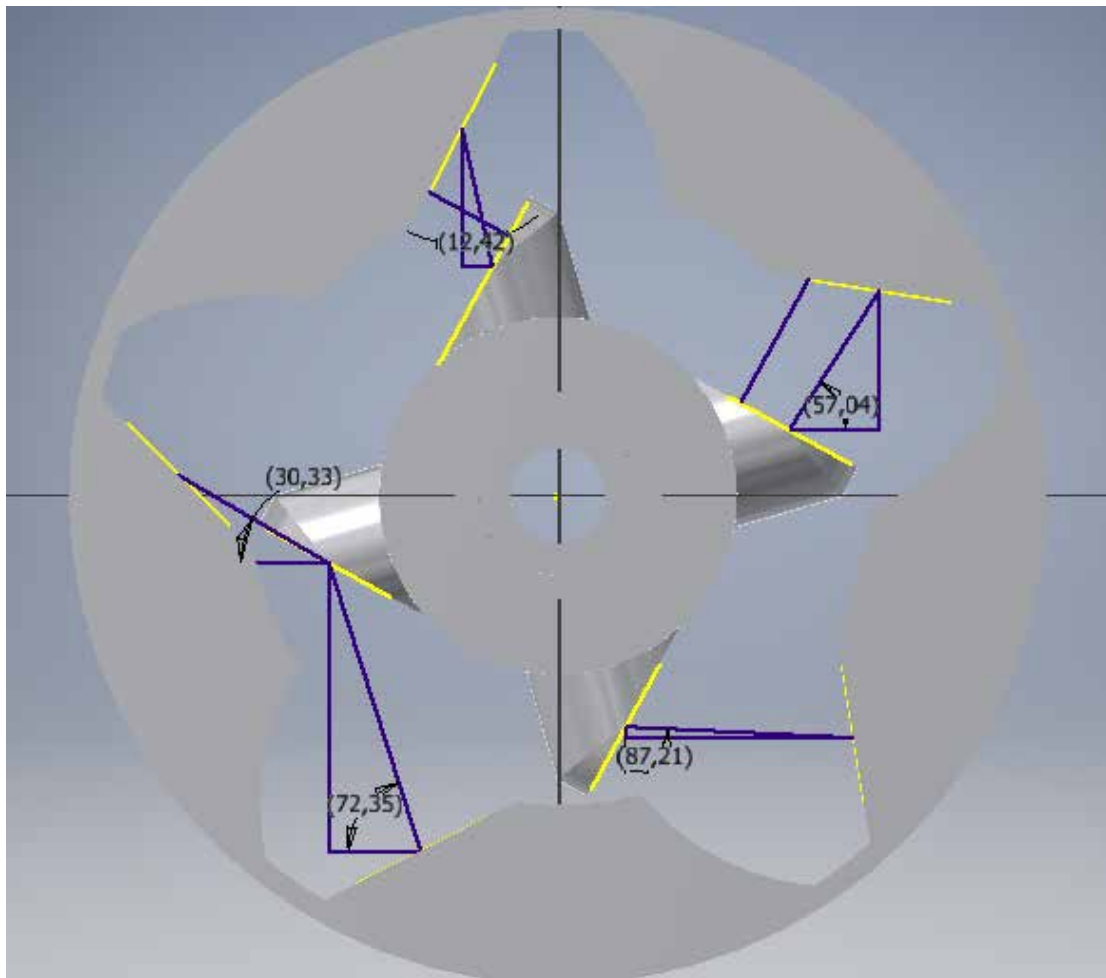


Figura 11. Estudio de ángulos de acción.

Fuente: Los investigadores (2017).

En la Figura 12, se puede apreciar el arreglo desde una vista isométrica de los anillos para una mejor comprensión de la idea. Para el cumplimiento de este objetivo también es preciso obtener el roce que generan los rodamientos en el eje, ya que este

obviamente se opone al torque, y las fuerzas que generan la torsión debe vencer este estado estático para poder cumplir el fin de este proyecto.

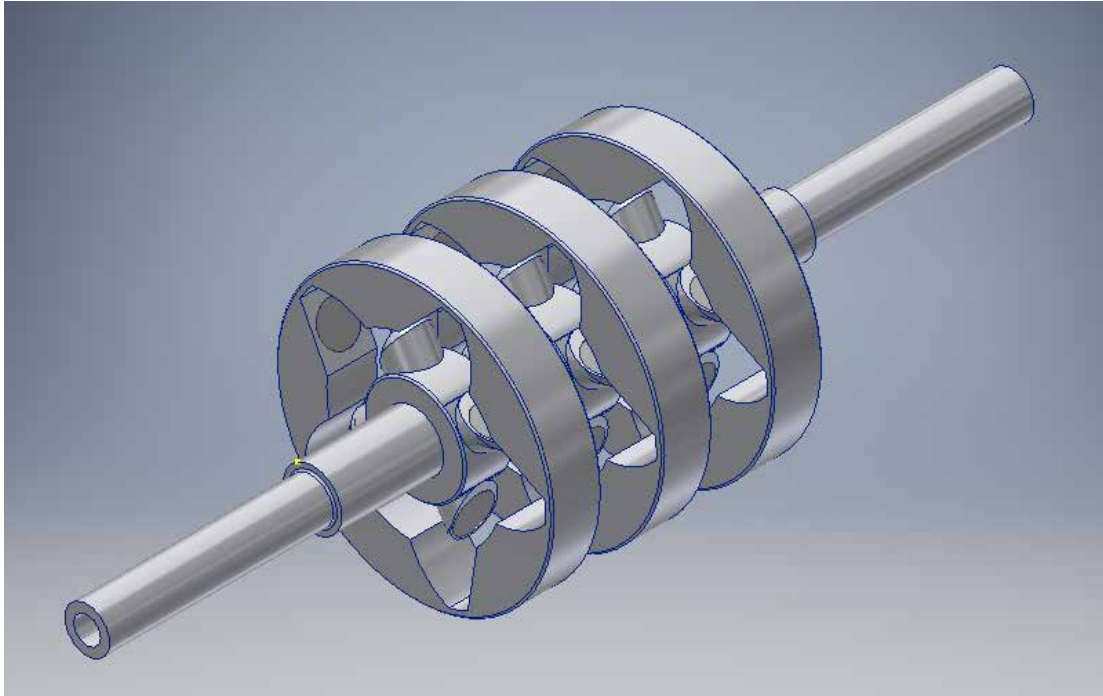


Figura 12. Ensamble de eje.
Fuente: Los investigadores (2017).

4.1.1. Cálculo de las fuerzas que generan torsión.

El valor de estas fuerzas según las características de un imán de Neodimio N52 de Diámetro 45 milímetros y 10 milímetros de altura, con un peso de 0,123 kg es de 8 N a una distancia de un imán con otro de entre 17 y 50 mm, esta distancia se ha usado debido a que según las dimensiones del eje, es la distancia a la cual los imanes pueden estar más cerca sin que exista interferencia o choque entre los anillos externos e internos y la distancia externa más pequeña que pueda existir entre ellos ya que el único aislante que existe para los campos magnéticos es la distancia, para evitar la fuerza de atracción. Es obligatorio hacer saber que el arreglo dispone de variantes en la distancia entre los imanes, por lo que las fuerzas varían según su posición.

En la Tabla 5, queda demostrado el estudio de la descomposición de la fuerza, tomando en cuenta también las distancias que existen entre las caras de los imanes del anillo externo con los imanes del anillo interno, donde se obtuvo los siguientes resultados haciendo uso de la ecuación 3.

Tabla 5. Fuerzas en función de distancias que provocan torque.

Fuerzas	Fuerza en función de distancia	Fuerza que provoca el Torque (N)
F1	28,608 mm = 25,6 N	$F_1 \text{ Sen}(12,42^\circ) = 5,506 \text{ N}$
F2	44,377 mm = 10,5 N	$F_2 \text{ Sen}(57,04^\circ) = 8,810 \text{ N}$
F3	58,605 mm = 5,3 N	$F_3 \text{ Sen}(87,21^\circ) = 5,294 \text{ N}$
F4	75,235 mm = 2,835 N	$F_4 \text{ Sen}(72,35^\circ) = 2,702 \text{ N}$
F5	11,546 mm = 88,3 N	$F_5 \text{ Sen}(30,33^\circ) = 44,58 \text{ N}$
Ft	-	$F_H = 66,902 \text{ N}$

Fuente: Los investigadores (2017).

Como resultado se pudo obtener que la fuerza total que hace girar al eje en sentido horario es de 66,902 N mientras que la de sentido anti horario es de 0 N, cuyo valor de cero fue derivado del arreglo específico el cual evita un movimiento anti horario que se le hizo al diseño del anillo, como se observa en la Figura 7 del Capítulo II, se obtuvieron los ángulos que descomponen la fuerza para obtener un valor de fuerza excéntrico al eje, es decir, con la imagen 7 donde se muestran los ángulos, se usa la ecuación 3 $T = F \cdot r$ y da las magnitudes del torque, generando entonces un encuentro de fuerzas que frenarían a sus opuestas, es decir:

$$F_t = F_A - F_H = 66,902 \text{ N} - 0 \text{ N} = 66,902 \text{ N (Sentido Horario)}$$

En caso de que un diseño no disponga del arreglo presentado, es necesario calcular las fuerzas que hacen girar el eje en sentido horario y anti horario, estas fuerzas deben ser comparadas y posteriormente el resultado de su resta, dicta el sentido y la magnitud de la fuerza que genera el torque. De acuerdo a esta fuerza, se pudo obtener el torque, el cual viene dado por la ecuación 3:

$$\tau = F \cdot r = 66,9 \text{ N} \cdot \frac{150 \text{ mm}}{1} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 5,01 \text{ Nm}$$

Para un total de 4 imanes por 3 hileras tenemos entonces que el Torque total es

$$\tau = 3 * 5,01 Nm = 15,03 Nm$$

Se obtuvo de esta manera el torque que hace girar el sistema. Sin embargo esta no es la fuerza real que actúa sobre el eje, ya que la fricción que existe en los rodamientos ocasiona un efecto de frenado en la flecha, es por ello que debe saber seleccionarse los rodamientos utilizados.

4.1.2. Cálculo referente a los rodamientos.

Según el catálogo de rodamientos de SKF donde exponen algunas recomendaciones para la selección de los rodamientos, así como para su aplicación, se tomó según se explica en el marco teórico, de la ecuación 47 y en la figura C-2, Anexo C, guiándose de la velocidad nominal para un máximo de 17000 RPM, un diámetro de 60 mm, se tiene que:

$$L_{10} = \left(\frac{11,9 KN}{P} \right)^3$$

La carga dinámica equivalente del rodamiento se calculó según el catálogo de SKF y la ecuación 48

$$P = F_r * X + F_a * Y$$

Debido a la ausencia de cargas axiales, solo se tomó en cuenta la carga radial quedando $P=F*r$, de aquí se sabe que el eje está expuesto a una fuerza descendiente total de 70,5 N, como se observara en el objetivo siguiente, y según el catálogo de SKF el valor de X es tomado del Anexo C, figura C-3, el cual es de 0,0015. Obteniendo entonces:

$$P = 70,5 N * 0.015 = 1,05N$$

Al sustituir los valores correspondientes obtenemos una vida útil de:

$$L_{10} = \left(\frac{11,9 KN}{1,05} \right)^3 = 1455,703$$

Siendo la vida útil del rodamiento para las cargas dispuestas de 1455,703 millones de rpm, lo que corresponde a un rodamiento 61812 según la figura C-3 del Anexo C del catálogo de SKF. Lo que es lógico debido a que el eje no está sometido a cargas considerables.

Este rodamiento genera cierta fricción que aporta a las pérdidas de la energía, se pudo calcular por medio

$$M = 0,5 \mu P d \quad (\text{Ec. 28})$$

$$M = 0,5 * 0,0015 * (70,5 * 0,015) * 0,060m = 0,000047Nm * 2 = 0,000095 Nm$$

De donde el coeficiente de roce μ se obtuvo de la tabla facilitada por el catálogo de SKF de la figura 10. El torque que generan los imanes es mayor que la resistencia que oponen los rodamientos, por lo que se pudo concluir que sí existe un torque en el eje. Por lo tanto la fuerza mínima para hacer girar un eje con las características de diseño, usando estos rodamientos seleccionados y sabiendo que el diámetro es de 65mm debiendo generar un torque mayor a 15,03 Nm, se tiene según la ecuación 3:

$$F = \frac{\tau}{r} = \frac{0,000095 Nm}{0,0325m} = 2,9230 \times 10^{-3} N$$

Siendo esta la fuerza necesaria para romper la inercia del eje, siendo la fuerza que ejerce el torque en el eje mucho mayor, queda demostrado que si hay movimiento rotacional en el eje.

4.2. Cálculo de las revoluciones mínimas en el eje para generar la energía deseada.

La energía deseada para este caso, corresponde a la consumida por una casa promedio, que en este equivale a 991,1 kW por hora al mes, siendo estimada a través de los datos que se anexan en la tabla 6.

Tabla 6. Consumo de componentes por hora.

Componente	Cantidad	Consumo (W)	Corriente (A)	Hrs/día	Hrs/mes	Consumo/mes (kW)
Bombillo	15	60	110	5	150	135
Nevera	1	375	220	24	720	270
T.V	3	250	110	6	18	13.5
A/A	2	1168	220	8	240	560,6
Bomba de agua	1	400	220	1	30	12

Fuente: Los investigadores (2017).

El consumo total siendo 991 kW por hora al mes corresponde a la potencia de salida, lo que indica que necesariamente la cantidad que genera el diseño debe estar por encima de este valor, tomando en cuenta las pérdidas que existen en el sistema que son mecánicas y magnéticas, tomando en cuenta las pérdidas magnéticas en este caso, según la ecuación 23.

$$e = B \cdot l \cdot v = 0,01865678318T * 0,14m * v \quad (\text{Ec. 29})$$

$$B = \frac{B_r}{2} \left[\frac{D+z}{\sqrt{r^2+(D+z)^2}} - \frac{z}{\sqrt{r^2+z^2}} \right] \quad (\text{Ec. 30})$$

$$B = \frac{14450 \text{ G}}{2} \left[\frac{10 \text{ mm} + 10 \text{ mm}}{\sqrt{22,5^2 + (10 \text{ mm} + 10 \text{ mm})^2}} - \frac{10 \text{ mm}}{\sqrt{22,5^2 + 10^2}} \right]$$

$$B = 0,01865678318T$$

Para obtener la energía requerida de 991 KW, se despeja la velocidad de giro del eje que lo produce.

$$v = \frac{5 \text{ kW}}{0,01865678318T * 0,14m * (2 * 1000)} = 957,1 \frac{m}{s} = 5100 \frac{rev}{s}$$

Sabiendo esto, se pudo comparar con las rpm generadas por la disposición del diseño, las cuales no superan las rpm necesarias para generar la energía requerida, por tanto, el diseño propuesto es capaz de generar la energía para satisfacer las necesidades, solo si se hace un arreglo de generadores en paralelo (Para un devanado de 1000 vueltas).

Material seleccionado: Aleación de aluminio forjado 2024 recocido en hoja. Este material fue elegido debido a que no tiene propiedades magnéticas y el hecho de no ser un material ferroso evita las disminuye las pérdidas magnéticas que puedan alterar la potencia que será suministrada sobre el eje. En la figura 7 se muestran las dimensiones del eje de Aleación de aluminio forjado 2024 recocido en hoja ($S_y = 76\text{MPa}$ y $S_u = 179\text{MPa}$). Como se observa en la figura 13 y las dimensiones en la figura 14.

TABLA C-2 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de aluminio forjado
 Datos provenientes de varias fuentes. * Valores aproximados. Consulte los fabricantes de los materiales para información más precisa

Aleación de aluminio forjado	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Resistencia a la fatiga a 5E8 ciclos		Elongación en 2 in %	Dureza Brinell -HB
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	kpsi	MPa		
1100	recocido en hoja	5	34	13	90			35	23
	laminado en frío	22	152	24	165			5	44
2024	recocido en hoja	11	76	20	142			19	37
	tratamiento térmico	42	290	64	448	20	138	14	67
3003	recocido en hoja	6	41	16	110			30	28
	laminado en frío	27	186	29	200			4	55
505	recocido en hoja	13	90	28	193			11	37
	laminado en frío	37	255	42	290			5	67
6061	recocido en hoja	8	55	18	124			25	30
	tratamiento térmico	40	276	45	310	14	97	12	95
7075	recocido en barra	15	103	38	272			11	90
	tratamiento térmico	73	503	83	572	14	97	11	150

*Properties of Some Metals and Alloys, International Nickel Co., N.Y., Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Figura 13. Propiedades mecánicas de algunos elementos.
Fuente: Tassoni (2007). Elementos de Máquinas.

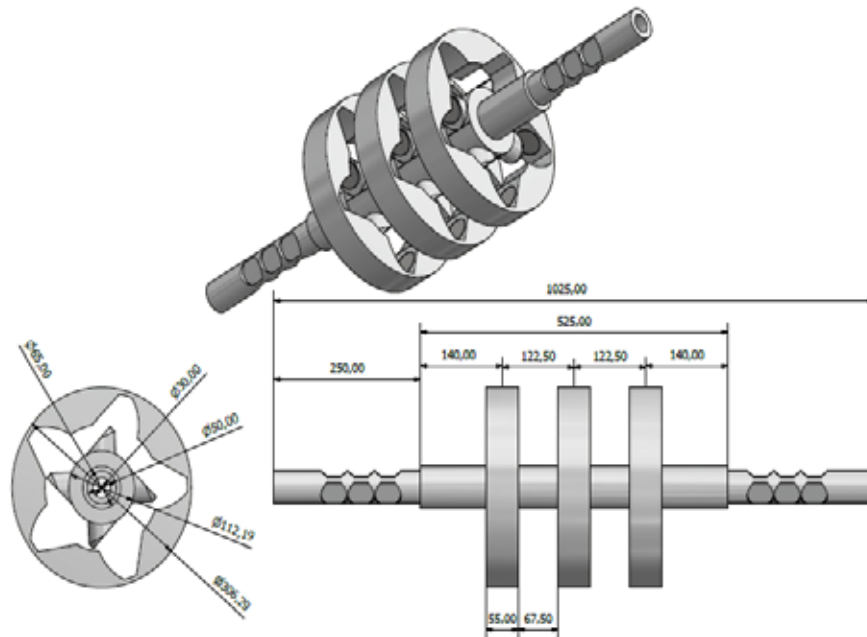


Figura 14. Dimensiones del eje.
Fuente: Los investigadores (2017).

Antes de continuar con el procedimiento, es necesario hacer una pausa, se debe obtener las fuerzas que actuaron sobre el eje y las que generaron el torque en éste,

para ello se debe hacer una descomposición de fuerzas actuantes entre imanes según el arreglo. Apoyándose en el software de diseño CAD Inventor, se pudo obtener una aproximación de los ángulos que descomponen la fuerza en un instante determinado de tiempo, siendo estas fuerzas las que generan el torque.

Como se puede apreciar en la figura 11 se detalla una vista de frente del ensamble del prototipo ideal, en la cual se pueden demostrar los ángulos en los cuales la fuerza puede descomponerse para ese instante de tiempo, de modo tal que un imán en el estator, puede impulsar a los imanes del rotor tanto en sentido horario como en sentido anti horario, es por ello que se debe comparar las fuerzas que impulsan en sentido horario con las fuerzas que impulsan en sentido anti horario, siendo la diferencia de estas la que provoque finalmente el giro y su sentido.

Como ya se observó en la tabla 5 la fuerza de torque el sentido horario es de 66,902 N.

Posteriormente se calcularon las fuerzas que están distribuidas en el eje para así realizar un diagrama de estudio de las tensiones que actúan sobre él.

Para esto fue necesario obtener la componente de la fuerza que provoca en el eje cargas que tengan el mismo sentido, debido a que los imanes dispuestos en la parte inferior del eje impulsan a sus contrarios hacia arriba, es necesario hacer el estudio de las fuerzas, y de este modo obtener, así como se obtuvo el sentido de giro, la fuerza resultante que actúa sobre el eje y en qué sentido le afecta, como se aprecia en la figura 11(donde se detalla la descomposición de los ángulos para las fuerzas ascendentes y descendentes en el plano (Y, Z)) y 15 y 16, se detalla el estudio en la tabla 7.

Tabla 7. Sentidos de fuerzas según su vista Cálculos de las fuerzas para el diagrama según su vista

Ejes	Fuerza ascendente	Fuerza descendente	Magnitud y sentido
(X, Z)	$F4\text{Sen}(72,35) = 2,7\text{N}$	$F1\text{Sen}(77,58)=25\text{N}$	$F1-F4=25\text{N} (-i)$
(Y, Z)	$F2\text{Sen}(32,96)=5,71\text{N}$	$F5\text{Cos}(30,33)=76,21$	$F5-F2=70,5\text{N}(-j)$

Fuente: Los investigadores (2017).

La fuerza que se tomó en cuenta y el eje donde se estudió los esfuerzos es en el (Y, Z), debido a que la fuerza descendente que actúa sobre el eje es mayor en comparación a la fuerza descendente del eje (X, Z), por lo tanto los puntos críticos en estudio será en el eje con más esfuerzo.

$$F = 70,5 \text{ N}$$

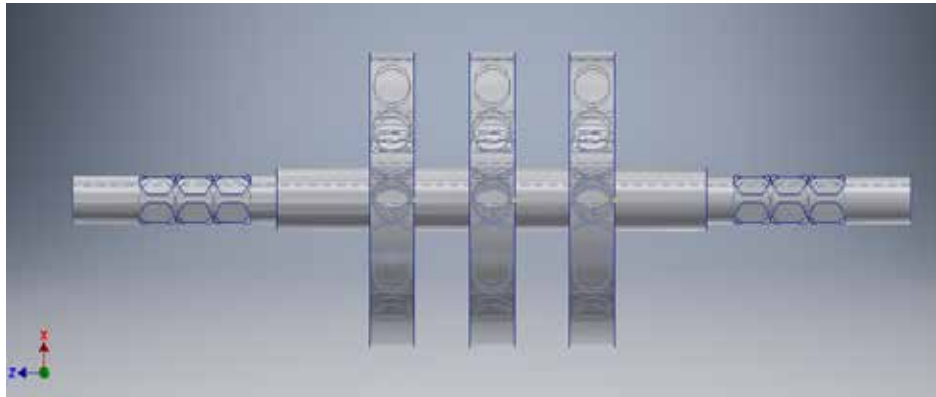


Figura 15. Vista en plano (X, Z)
Fuente: Los investigadores (2017).

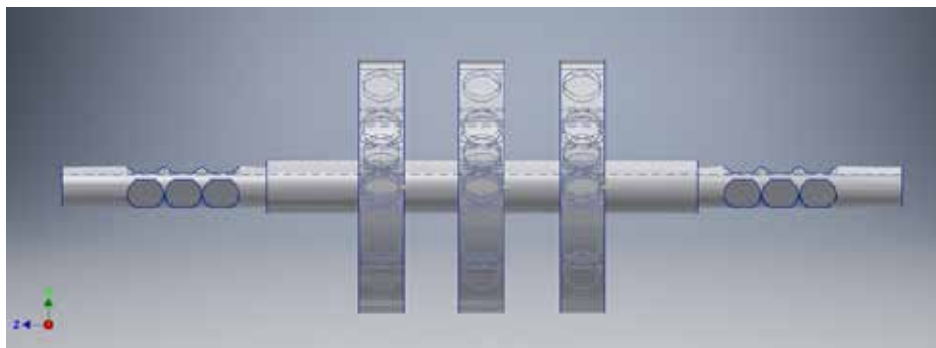


Figura 16. Vista en plano (Y, Z)
Fuente: Los investigadores (2017).

Cálculos de las Reacciones:

Para la precisión de los cálculos debe sumarse a las fuerzas actuantes en la flecha el peso de los anillos (11,7 N), el peso del eje (44 N) y el peso del imán (1,2 N)

este último debe ser multiplicado por 4, debido a que es la cantidad de imanes que está en los anillos, así como sumarle el peso del eje de manera puntual a la fuerza B.

Como se detalla en la figura 15b, se ordena de la siguiente manera en la tabla 8.

Tabla 8. Valores de fuerzas A, B y C.

Fuerza A	$FA = 70,5 \text{ N} + 11,7 \text{ N} + (1,2 \text{ N} * 4) = 87 \text{ N}$
Fuerza B	$FB = 70,5 \text{ N} + 11,7 \text{ N} + (1,2 \text{ N} * 4) + 44 \text{ N} = 131 \text{ N}$
Fuerza C	$FC = 70,5 \text{ N} + 11,7 \text{ N} + (1,2 \text{ N} * 4) = 87 \text{ N}$

Fuente: Los investigadores (2017).

$$\sum Fy = 0 : R1 - FA - FB - FC + R2 = 0 \quad (\text{Ec. 31})$$

$$R1 = (FA + FB + FC) - R2 \quad (\text{Ec. 32})$$

$$R1 = (87 + 131 + 87) \text{ N} - R2$$

Para poder obtener el valor de las reacciones es necesario realizar una sumatoria de momentos basándonos en la distancia de una de ellas hacia las fuerzas que afectan el eje, tomando como positivo el sentido anti horario.

$$\sum MR1 = 0:$$

$$\sum MR1 = \sum F X \quad (\text{Ec. 33})$$

$$-(FA * 150\text{mm}) - (FB * 272,5\text{mm}) - (FC * 395\text{mm}) + (R2 * 545\text{mm}) = 0$$

$$R2 = 152,5 \text{ N}$$

Al igualar las ecuaciones 32 y 33 donde se representan las reacciones, se obtuvo $R1 = R2 = 152,5 \text{ N}$.

Una vez obtenidas las reacciones y basándose en la distribución de las fuerzas del eje (tabla 8), se realizó el diagrama para reflejar en él, el comportamiento de las cargas que generan corte, flexión y torsión, como se muestra en las figuras 11, 12 y 13.

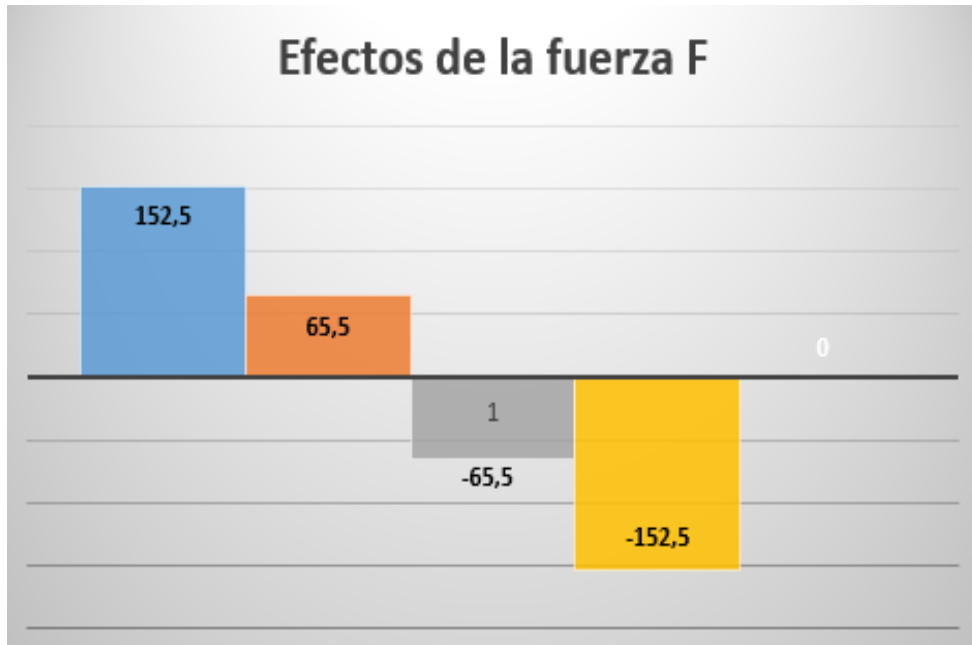


Figura 17. Fuerza generada por las cargas de corte.
Fuente: Los investigadores (2017).

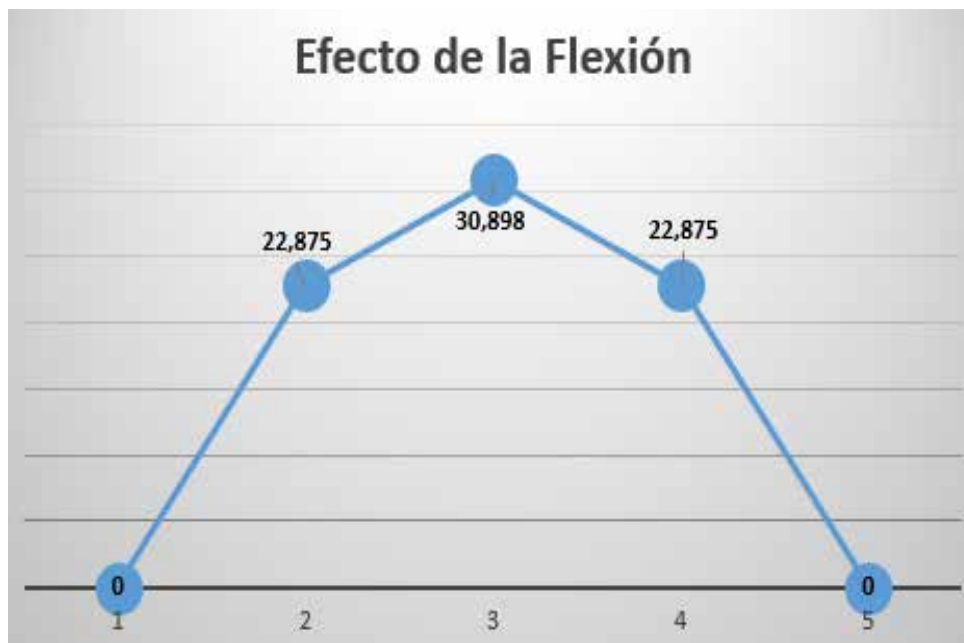


Figura 18. Momento Flector como resultado de la gráfica de imagen 10.
Fuente: Los investigadores (2017).

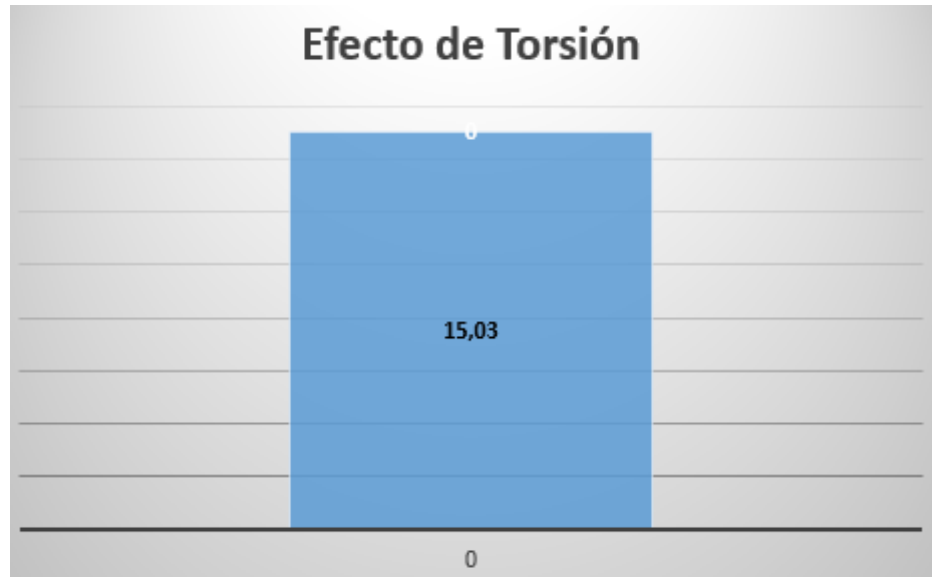


Figura 19. Momento Torsor transmitido por fuerzas magnéticas al eje.
Fuente: Los investigadores (2017).

Al analizar dichas gráficas, se decidió realizar el estudio de falla por fatiga en los cambios de sección, ya que estas áreas están sometidas a los mayores esfuerzos de corte, y aunque no están sometidos a los mayores efectos de flexión, sí lo están a torsión, haciendo estos puntos críticos y propensos a generar una falla.

Factores de Marín.

$$Sf_x = S'fx * \prod_{i=1}^n * Ci$$

Donde el factor Ci está representado por los coeficientes que trabajando bajo ciertas condiciones, son seleccionados por el diseñador. Para este caso los factores que se tomaron en cuenta son los siguientes:

Factor de Corrección por acabado superficial: Cs de acuerdo al punto 2.2.5.2 de los factores de Marín.

Donde el valor *Su* representa el esfuerzo último del material en MPa y las constantes A y b son obtenidas de la figura del Anexo D, en el cual, de acuerdo con el material seleccionado, hay una variación de estas constantes, en este caso se seleccionó el aluminio con un forjado.

Se seleccionó un valor de $A=2,72$ MPa, por otro lado se seleccionó un valor de $b = -0,995$. Para el valor de S_u se obtuvo de la tabla de las propiedades mecánicas del aluminio, Figura 15. Teniendo entonces:

$$C_s = 1,58 \text{ MPa} * (179 \text{ MPa})^{-0,085}$$

$$C_s = 0,009$$

Dimensiones de la Pieza: C_d de acuerdo al punto 2.2.5.2 de los factores de Marín.

De acuerdo al diámetro de la pieza se selecciona el valor de la constante.

$$C_d = 0,75$$

Confiabilidad Funcional: C_{cf} de acuerdo al punto 2.2.5.2 de los factores de Marín.

Para una confiabilidad de diseño de 99,99% se tiene:

$$C_{cf} = 0,72$$

Temperatura de Trabajo: C_t de acuerdo al punto 2.2.5.2 de los factores de Marín.

Para un ambiente de temperatura ambiente, a la cual estará expuesto el sistema se toma

$$C_t = 1$$

Corrección por carga de corte: C_c de acuerdo al punto 2.2.5.2 de los factores de Marín. Para materiales muy dúctiles se toma

$$C_c = 0,5$$

Ya obtenidos todos los valores de los factores de Marín, se procede a sustituirlos en la ecuación 32.

$$S_{fx} = 53,7 \text{ MPa} * (0,009 * 0,75 * 0,72 * 1 * 0,5) = 13,049 \text{ MPa}$$

Una vez obtenido este valor se procedió a desarrollar el diseño del eje por el método de Soderberg para elementos dúctiles. Según Soderberg debemos obtener el valor de las siguientes ecuaciones.

$$\sigma_{e(MF)} = K_{e(MF)} \sigma_{m(MF)} + K_{f(MF)} \sigma_{a(MF)} \frac{S_y}{S_{fx}} \quad (\text{Ec.43})$$

$$\tau_{e(MT)} = K_{e(MT)} \tau_{m(MT)} + K_{f(MT)} \tau_{a(MT)} \frac{S_{ycorte}}{S_{fscorte}} \quad (\text{Ec.44})$$

Cálculo de Kf y Ke

Para el cálculo de q, como se corresponde para el esfuerzo último según las características mecánicas del material se tuvo que realizar una interpolación donde la equivalente del esfuerzo último es 26 Kpsi. Realizando el cálculo tomando en cuenta los valores del Anexo E. (Ver Tabla 9).

Tabla 9. Interpolación para el cálculo de la constante de Neuber.

$S_{ut} \text{ (Kpsi)}$	$\sqrt{a} \text{ (inch)}^{0.5}$
$X_0 = 30$	$Y_0 = 0,180$
$X = 26$	Y
$X_1 = 25$	$Y_1 = 0.217$

Fuente: Los investigadores (2017).

Para realizar el cálculo de interpolación se usó la siguiente ecuación.

$$Y = Y_0 + \left[\frac{(X - X_1)(Y_2 - Y_1)}{(X_2 - X_1)} \right]$$

Sustituyendo los valores, se obtuvo.

$$\sqrt{a} = 0,2096 \text{ (inch}^{\frac{1}{2}})$$

Donde “r” corresponde al radio de la muesca y equivale a 2 milímetros, que convertido en pulgadas es de 0,0787 pulgadas y de la ecuación 38.

$$q = \left(1 + \frac{0,2096}{\sqrt{0,078}} \right)^{-1}$$

$$q = 0,572$$

Con este valor obtenido, se procede a calcular Kt para finalmente obtener Ke y Kf. Los valores de Kt corresponden a los factores de concentración de esfuerzos para tensión, flexión y torsión respectivamente. Los podemos obtener en los Anexos F-1, F-2 y F-3 respectivamente. En este caso no existen esfuerzos axiales por lo que se obvia el cálculo de Kt debido a la carga axial.

Según las figuras F-2 y F-3 del Anexo F, las constantes A y b dependen de la relación entre el diámetro mayor del eje y el menor en el cambio de sección, por tanto, en nuestro caso, esta relación dio como resultado.

$$\frac{D}{d} = \frac{65\text{mm}}{60\text{mm}} = 1,08$$

Realizando las interpolaciones correspondientes de los datos obtenidos en las figuras F-2 y F-3 del Anexo F y desarrollando las ecuaciones pertinentes de dicho apéndice, se obtuvo:

Interpolando, el valor correspondiente de A y b para 1,08 que son correspondientes a $A = 0,967246$ y $b = -0,21891$ y siendo el radio de la muesca 2 mm.

$$K_{t(MF)} = 2,036$$

Extrapolando de la figura 19, se pudo obtener el valor correspondiente de A y b para 1,08 que son correspondientes a $A = 0,90965$ y $b = -0,118777$ y siendo el radio de la muesca 2 mm.

$$K_{t(MT)} = 1,36$$

Con estos valores de concentradores de esfuerzos se calcularon los K_e y K_f teniendo que:

Los K_e son:

$$K_{e(MF)} = 1,21$$

$$K_{e(MT)} = 1,072$$

Los K_f son

$$K_{f(MF)} = 1,593$$

Posteriormente se calculó los esfuerzos medios y de amplitud, sabiendo que:

Para el esfuerzo causado por la flexión.

$$\sigma_{MF} = \frac{32 MF D^4}{\pi (D^4 - d^4)} = \frac{32 * 30,89875 \text{ Nm} * 0,06 \text{ m}}{\pi (0,06\text{m}^4 - 0,05\text{m}^4)} = 2,822584216 \text{ MPa}$$

Para el esfuerzo causado por la torsión.

$$\tau_{MT} = \frac{16 MT D^4}{\pi (D^4 - d^4)} = \frac{16 * 15,03 \text{ Nm} * 0,06 \text{ m}}{\pi (0,06\text{m}^4 - 0,05\text{m}^4)} = 0,684475363 \text{ MPa}$$

Se obtuvo los siguientes valores de los esfuerzos sustituyendo los valores de P, MF y MT máximos y mínimos.

$$\sigma_{\max(MF)} = 2,82258 MPa$$

$$\sigma_{\min(MF)} = 0 MPa$$

$$\tau_{\max(MT)} = 0,684475 MPa$$

$$\tau_{\min(MT)} = 0,684475 MPa$$

Con estos valores se calcularon los esfuerzos medios y de amplitud:

$$\sigma_m(MF) = 1,41129 MPa$$

$$\sigma_a(MF) = 1,41129 MPa$$

$$\tau_m(MT) = 0,684475 MPa$$

$$\tau_a(MT) = 0 MPa$$

Finalmente se calculó mediante las ecuaciones de Soderberg:

$$\sigma_e(MF) = 14,80 MPa$$

$$\tau_e(MT) = 0,7337 MPa$$

Posteriormente

$$\sigma_e = \sigma_e(MF) = 14,80 MPa$$

Finalmente:

$$\frac{Sy}{N} = \sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau_e^2} = 14,85 MPa$$

Siendo el esfuerzo admisible

$$\frac{Sy}{N} = \frac{76}{3} = 25,3 MPa$$

Así queda demostrado que el eje con estas dimensiones de diseño no falla.

Ahora se calculó la potencia del eje de la siguiente manera

$$P = \tau \omega$$

La Inercia $I = 0,736095668 \text{ kg m}^2$. Obtenido a través del software CAD Inventor, cuyo margen de error relativo es de 0,006%. Con este valor de la inercia y el de la torsión ($\tau = 1,118 \text{ Nm}$) ya calculado, se tiene que

$$\alpha = \frac{\tau}{I} = \frac{15,03 \text{ Nm}}{0,736095668 \text{ kgm}^2} = 20,418 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

A partir de este valor obtenido de la aceleración angular, se pudo obtener el valor de la velocidad angular, donde se supuso una velocidad angular inicial de $3 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ (de arranque manual) en un periodo de tiempo = 1s.

$$\omega = \omega_0 + \alpha t = 23,4185 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Lo que es equivalente a unas 223,630 RPM. Por otro lado se sabe que la potencia es el producto de la velocidad angular por el torque, se tiene que

$$P = \omega \tau = 3,727 \frac{\text{rev}}{\text{s}} * 15,03 \text{ Nm} = 56 \text{ Watts}$$

Este valor se ve afectado por las pérdidas que se ocasionan durante el funcionamiento, las cuales se clasifican en:

Perdidas Magnéticas

$$PH = K_h f B_{\text{máx}}^n$$

Dónde: K_h : **0,001** (Depende del material)

F: Frecuencia

Bmax: Campo máximo

N= 1,

Calculando B: En el instante en que los imanes están más cercanos, mediante la ecuación 24.

$$B = \frac{14450 \text{ G}}{2} \left[\frac{10 \text{ mm} + 10 \text{ mm}}{\sqrt{22,5^2 + (10 \text{ mm} + 10 \text{ mm})^2}} - \frac{10 \text{ mm}}{\sqrt{22,5^2 + 10^2}} \right]$$

$$B = 0,1865678318 \text{ T}$$

Procediendo a calcular la frecuencia, f:

$$f = \frac{\text{RPM} - N \text{ polos}}{120} = \frac{23,4185 - 4}{120} = 0,1618$$

Aplicando los valores correspondientes pudimos obtener:

$$PH = 3,02 \times 10^{-6}$$

4.3. Elaboración de un prototipo para un sistema de generación de energía eléctrica basado en la transformación de la energía magnética en energía mecánica.

Para la realización de este objetivo se dispuso de unos imanes de Neodimio N52, con un diámetro de 8mm y un espesor de 1mm. La fuerza de estos imanes corresponde a 2,26 N. esta fuerza fue conseguida a través de un procedimiento empírico debido a no contar con los instrumentos necesarios para su correcta medición, como lo es el magnetómetro cuya función es medir la fuerza de repulsión y atracción de los imanes.

El procedimiento anteriormente mencionado consiste en una preparación con materiales simples y un arreglo específico. Los materiales usados fueron los siguientes

- Bolsa de plástico.
- Tijera.
- Dos imanes.
- Chapas metálicas.
- Balanza.

Primeramente se realizó un nudo en la bolsa, posteriormente se cortó la parte inferior para introducir uno de los imanes, mientras el segundo estaba fuera de la bolsa aplastando una porción de ella, gracias a la fuerza de atracción proporcionada por el imán de la parte interior, posterior a este paso se fueron introduciendo chapas metálicas dentro de la bolsa hasta el momento en que los imanes cedieron debido a que la fuerza de atracción no fue suficiente para soportar el peso de las chapas. La bolsa llena de chapas luego fue pesada en una balanza arrojando el resultado de 231g, equivalente a 2,26N, siendo esta la fuerza que puede levantar un imán con las características especificadas. Sabiendo que la fuerza de atracción y repulsión de los imanes es relativamente la misma, no afectaría en los cálculos posteriores.

Se dispuso también de un tocho de un aluminio en aleación a356, el cual fue elegido debido a que no afecta magnéticamente el procedimiento. Este tocho fue

trabajado en un torno para adquirir las medidas del diseño, con la ayuda del software Inventor se produjo el plano de las figuras 23 y 24 para facilitar el mecanizado

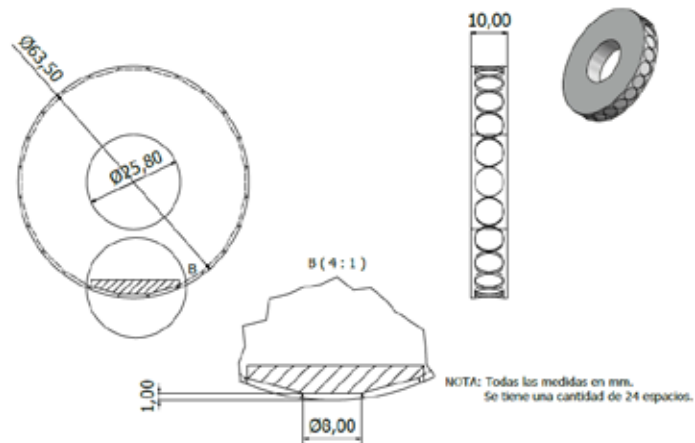


Figura 20. Plano de anillo interno.
Fuente: Los investigadores (2017).

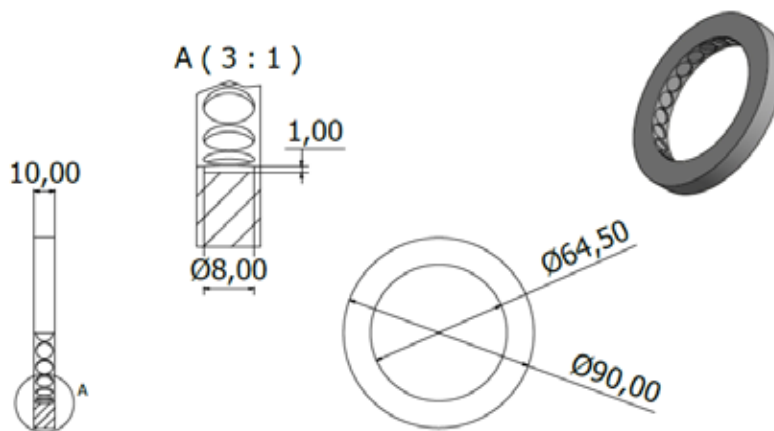


Figura 21. Plano anillo externo.
Fuente: Los investigadores (2017).

Estos discos, tienen insertados en sus ranuras los imanes anteriormente mencionados, con sus caras similares dándose frente ya que estos anillos estarán

ensamblados concéntricamente para crear un efecto de repulsión en el externo sobre el interno debido a la naturaleza de los imanes. El anillo interno fue acoplado a un eje y es aquí donde ocurre la transformación de energía magnética en energía mecánica que posteriormente fue aprovechada para la generación de energía eléctrica.

El eje que se obtuvo primordialmente fue de la misma aleación de aluminio que los anillos, con aproximadamente unos 600 mm de largo y unos 30mm de diámetro, este eje estaba protegido por un material mejor conocido como tubo petrolero, lo que fue un predicamento a la hora de mecanizarlo para poder llegar al aluminio, por ende se decidió usarlo con el tubo petrolero y esto genero un rechazo en la factibilidad del prototipo debido a que interfería en el acto magnético además de ser un material sumamente pesado lo cual generaría un esfuerzo extra a la hora de cumplir con las revoluciones necesarias debido a que los imanes que se tienen no generan tanta energía como para poder mover este peso, por lo tanto este material fue descartado.

Posteriormente se consiguió un eje de Nylon el cual, sería perfecto para el prototipo debido a que es un material sumamente liviano y no afecta el magnetismo del diseño, vino con una longitud de 500 mm de largo y 35mm de diámetro, para realizarle un refrentado en ambas caras y llevarlo a la longitud de 300 mm, luego se hizo un centro punto en ambas caras para posteriormente realizar el proceso de cilindrado en el cual un extremo se llevó a una medida de 25,4 mm y el lado contrario a 30mm para hacer tope con el rodamiento 6206 donde luego se ejecutó un cilindrado donde va la bocina de aluminio, esto con una conicidad para que el rodamiento quede con un ajuste a presión en ambos lados. En el extremo opuesto se instaló un rodamiento 6204 para dar equilibrio al eje. Estos rodamientos fueron seleccionados en base al diámetro de eje conseguido. Para nivelar con mayor precisión estos rodamientos se procedió a la compra de dos chumaceras de madera de 80 mm de altura para lograr la estabilidad del prototipo.

En la figura 25 se puede observar el ensamble de los elementos que constituyen el prototipo real desarrollado, el cual consta de 2 anillos acoplados de aluminio a los cuales se les realizo un mecanizado para poder sobreponer a presión 25 imanes de

neodimio N52 alrededor de los perímetros externos para el anillo interno y perímetro interno para el anillo externo los cuales juntos son los elementos transmisores de potencia al eje, además de esto, 2 rodamientos, uno 6206 y otro rodamiento 6204 los cuales facilitan el giro del eje así como prestan apoyo para contrarrestar las fuerzas generadas por el peso, los anillos y los imanes, los rodamientos reales están soportados por dos chumaceras de material reciclado, con el fin de estabilizar el sistema, se usaron estos materiales con el fin de promover la energía renovable como demuestra el desarrollo de este proyecto y el fin que tiene el funcionamiento del prototipo descrito.

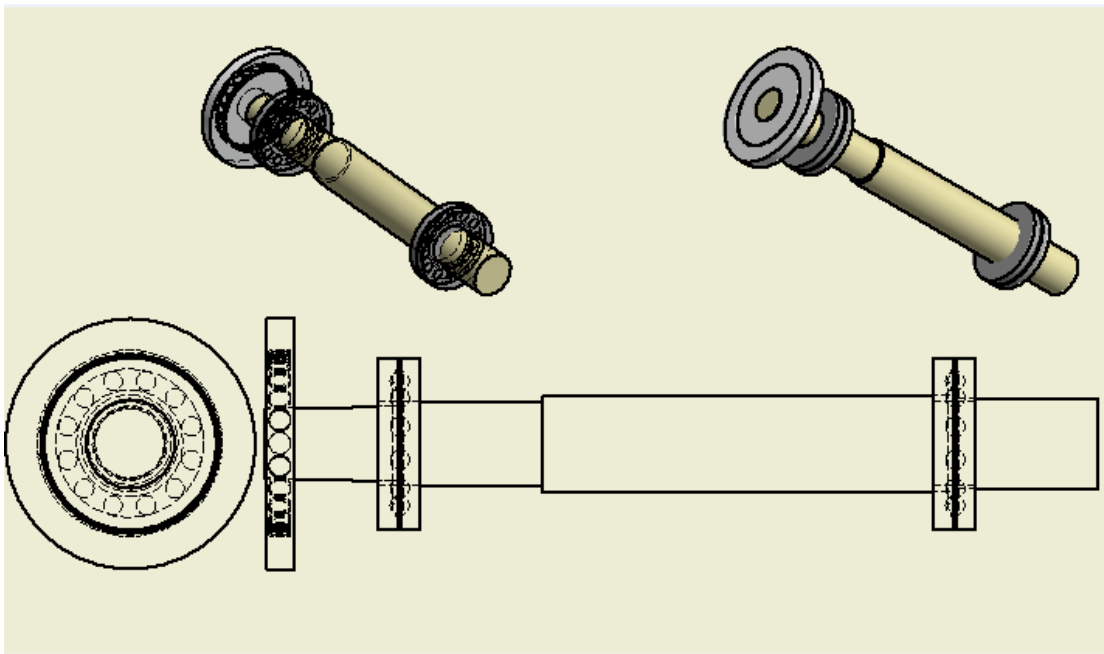


Figura 22. Plano del prototipo ensamblado.
Fuente: Los investigadores (2017).

En el cuerpo del eje entre los rodamientos, se acoplaron los imanes ya mencionados de 8mm de diámetro, los cuales se dispondrán con sus polos alternados y repartidos por todo el eje de manera tal que queden polos norte y sur intercalados para ser rodeados con un embobinado y con la acción de giro proporcionada por el

arreglo de los anillos, estos imanes dentro del embobinado hacen la función de un rotor estator para la generación de la energía eléctrica basándose en la ley de Faraday, cumpliendo así con el objetivo planteado.

4.4. Evaluación de la factibilidad económica de un generador particular de energía limpia que coadyuve a la preservación del medio ambiente.

Para este objetivo se precisó básicamente indagar acerca de los precios y el mantenimiento que lleva una planta eléctrica, tanto hidroeléctricas como portátiles o a gasolina, donde se pudo conseguir precios que varían desde 4.500.000 Bs de las más pequeñas en el mercado hasta 215.000.000 Bs que corresponden a las plantas que pueden establecerse en los hogares, por otro lado el mantenimiento de estas plantas es sumamente minucioso, además que preferiblemente debe ser realizado por un especialista que además aumentaría la inversión por costos operacionales, esto sin tomar en cuenta un gasto de más de 1.400.000 Bs para los kits pequeños de mantenimiento.

Estos precios fueron investigados en distintas páginas de internet las cuales ofrecen servicios de venta y mantenimiento para estos equipos. Además de todo esto, indican que se debe tener sumo cuidado con el trato hacia ellas, no sobrecargarlas, suministrarles combustibles, tenerlas en sitios apartados donde estén bien resguardadas ya que también pueden ocasionar problemas de salud si no se estiman las condiciones que exigen los fabricantes para su correcto posicionamiento, además de contribuir con la contaminación debido al uso de combustible.

Por otro lado, esto comparado con las plantas hidroeléctricas conllevan a un punto en el que si la salud del consumidor está a salvo, por los momentos, debido a que se establecen estas plantas en sitios aislados donde puedan aprovecharse otras formas de energía para su respectiva transformación, la destrucción del medio ambiente actúa de tal manera que altera el ecosistema ocasionando un daño prácticamente irreparable a la tierra, es decir, mayor población afectada, no solo se habla de población humana sino también de la flora y fauna que existe en todos estos terrenos, ocasionando su extinción y con el uso exagerado de estas plantas, la de la humanidad.

Con todas estas consecuencias que generan estas grandes plantas y además que básicamente según los costos que estas ocasionan, se está pagando un precio bastante alto para recibir consecuencias en el futuro, debido a que no solo destruye el medio ambiente sino que también es muy costoso, donde así lo explica Botero (2017), profesor asociado a la Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, en un artículo para Voces En El Fénix, donde argumenta que existen dos tipos de costos de energía eléctrica que hay que tener en cuenta cuando se hacen análisis financieros y económicos, ambos obviamente están relacionados, pero tienen diferentes implicaciones.

Costo de inversión, también llamado como costo de capital (por su traducción literal del término utilizado en inglés “Capital Cost” y representa la cantidad de dinero o capital que hay que invertir para construir una planta eléctrica, se representa normalmente en valor absoluto (\$) para saber el monto total de construcción de una planta, o en valor específico en (\$/kW), por unidad de capacidad de generación o potencia, esta unidad es el W, o cualquiera de sus múltiplos (kW, MW, GW, TW, etc.). algunos autores lo llaman también costo de instalación con el fin de diferenciarlo del término financiero “costo de capital”, el cual en análisis financiero representa la tasa de retorno esperada por un inversionista.

Costos de generación, en \$/kWh, indica el costo real de producir una unidad de energía de electricidad, normalmente esta unidad es el kWh. Esto incluye todos los costos en que se incurrió para generar la energía, incluye todos los costos tanto fijos como variables para generar la energía, entre ellos están: costos de inversión equivalente, de operación, mantenimiento, combustibles (si así lo requiere).

Cuando se habla de un costo de inversión equivalente en \$/kWh o “nivelado” (en inglés este término es conocido como “levelized capital cost”), consiste en convertir la suma del costo de inversión a un equivalente en \$/kWh, esto se hace normalmente convirtiendo este costo en un pago equivalente por periodo, dividiéndolo por la generación de energía en el periodo. Para hacer esta conversión se debe utilizar un factor de equivalencia financiera, el cual es función de la tasa de

interés utilizada y el tiempo de pago del monto inicial. Debido a que se representa como un pago periódico, este rubro pasa a ser parte de costos fijos.

Dependiendo de la tecnología que se utilice, el costo de inversión equivalente puede ser un componente muy relevante del costo de generación. Un comparativo de la participación de costos de inversión se presenta en la Figura 23 para diferentes tecnologías. Se puede ver claramente que en las tecnologías hidroeléctricas y eólicas la participación del costo de inversión representa el 80% del costo de generación, mientras que para las termoeléctricas este porcentaje es menor.

De hecho, en las hidroeléctricas este componente es muy alto, puesto que es una tecnología que requiere una inversión inicial considerable en comparación con los costos de operación y mantenimiento, además de que no se debe hacer ningún gasto en “combustible”, o fuente de energía primaria para generación. El otro extremo son las termoeléctricas, las cuales tienen un costo de inversión relativamente bajo, pero que para su operación requieren consumir grandes cantidades de combustible.

TECNOLOGÍA	CAPACIDAD (MW)	COSTO DE GENERACIÓN (cent / kWh)	COSTOS FIJOS Oym (cent / kWh)	COSTOS VARIABLES Oym (cent / kWh)	COSTOS COMBUSTIBLE (cent / kWh)	COSTO DE INVERSIÓN EQUIVALENTE (cent / kWh)	% INVERSIÓN / GENERACIÓN
Hidroeléctrica	300	4.25	0.40	0.39	0.00	3.50	82.35%
Gas natural, ciclo combinado	300	5.97	0.10	0.40	4.12	0.95	17.06%
Carbón, turbina vapor	300	4.47	0.39	0.36	1.97	1.76	39.37%
Combustóleo, turbina vapor	300	7.24	0.35	0.30	5.32	1.27	17.54%
Eólica	10	6.77	0.66	0.28	0.00	5.85	86.41%

Figura 23. Costo de generación y sus componentes para diferentes tecnologías (centavos de dólar/kWh)

Fuente: Adaptado de ESMAP. World Bank, 2007.

Es importante notar que estos precios son hechos bajo unos supuestos específicos de costo de combustibles, factores de carga, tasas de interés y vidas útiles. Por lo tanto es probable que los precios no reflejen las características propias de cada país, sin embargo se ilustran unos datos aproximados de la composición del costo de generación. Es importante ver el valor por kW instalado, y en sus montos absolutos, tal como lo muestra la Figura 24.

TECNOLOGÍA	CAPACIDAD (MW)	COSTO DE INVERSIÓN (US\$ / kW)	COSTO TOTAL (M / US\$)
Hidroeléctrica	300	2.000	600
Gas natural, ciclo combinado	300	650	195
Carbón, turbina vapor	300	1.020	306
Combustoleo, turbina vapor	300	880	264
Eólica	10	1.440	14,4

Figura 24. Costo de generación para diferentes tecnologías.

Fuente: Adaptado de ESMAP. World Bank. 2007

Tal como se puede observar, de las tecnologías anteriores la energía hidroeléctrica es la que tiene un mayor costo de inversión por kW instalado, este dato se vuelve aún más dramático cuando se van a calcular los costos totales. Los montos de inversión para una hidroeléctrica resultan ser muy altos, y es importante notar que para un inversionista privado, aunque su principal criterio cuando hace una inversión es obtener una tasa de retorno alta, también busca minimizar el monto invertido.

Según lo expuesto por Botero, se concluye que estas plantas son extremadamente costosas además de realizar un daño irreparable al ecosistema.

Por la contraparte, este prototipo aunque no genera inmensas cantidades para satisfacer con una sola máquina a tanta población, puede suministrar a casa particulares sin ocupar tanto espacio y definitivamente sin alterar el ecosistema o

afectar la salud del consumidor, además de no ser tan costosa. Para ello se costeo con los siguientes gastos en el prototipo, cabe destacar que los precios varían según la situación económica, que para la fecha ha aumentado.

Imanes de Neodimio N52 de 8mm de diámetro con 1 mm de espesor (50): 150.000 Bs.

Eje de Nylon de 35mm de diámetro y 500 mm de longitud: 259.000 Bs.

Anillos mecanizados de aluminio (2): 150.000 Bs.

Chumacera de madera (2): 8.000 Bs.

Rodamientos: 206 y 204: 200.000 Bs

Soporte de anillo externo: 20.000 Bs.

Embobinado: 100.000 Bs

Para un total de 887.000 Bs

Donde los gastos por el mantenimiento son mínimos debido a que solo debería cuidarse el sitio donde se resguarde el prototipo y el engrase de los rodamientos. Con respecto a la imantación, no sería ningún problema debido a que estos imanes pierden la fuerza a partir de los 700 años aproximadamente.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Mediante el estudio de la situación que se planteó en principio, se ha concluido que los objetivos fueron cumplidos de manera exitosa, es por tanto que la energía necesaria para lograr vencer el estado estático del eje diseñado con las dimensiones especificadas, con un valor de 15,03 Nm fue más que suficiente para vencer las fuerzas que se le opondrá como el coeficiente de roce de las chumaceras que corresponde a 0.000095 Nm, además de esto se definió la cantidad mínima de RPM para satisfacer las necesidades de un hogar promedio, cumpliendo con la ley de Faraday generando un campo magnético el cual produce una tasa por hora / mes mayor a la necesaria del hogar que sería 991kW. Cumpliendo con todas estas exigencias ideales, se llevó a cabo la construcción de un prototipo el cual fué mecanizado para llevarlo a sus dimensiones más provechosas para este proyecto, que aunque no genera tal potencia, demuestra que es posible la generación de energía eléctrica a través de la transformación de energía magnética en energía mecánica, siendo de gran ayuda a la hora de obtener esta preciada energía sin destruir el ecosistema ni generar daños al medio ambiente.

Quedó demostrado que con la utilización de estas características magnéticas se puede complacer las necesidades hogareñas, con dimensiones especificadas, las cuales no solo generan un gasto menos en el mantenimiento y la preservación del medio ambiente sino que también es más económico que una planta eléctrica portátil o una planta hidroeléctrica que como se señaló es una inversión altamente costosa.

Finalmente se concluye que el eje no pudo girar debido al arreglo de los imanes porque están dispuestos de manera par en el anillo interior y anillo exterior encontrando sus caras de frente ejerciendo fuerza no excéntricas, y por lo tanto no generando torque, lo que se traduce en fuerzas alineadas, que solo apuntan al centro del eje.

Recomendaciones

Para futuros proyectos se recomienda la utilización de imanes con dimensiones mayores, en cuanto al largo se refiere, debido a que esta característica aumentaría la fuerza de repulsión, esto es debido a que mientras más alejado estén los polos opuestos, la atracción no hará efecto en el sistema y por lo tanto existiría un rendimiento mayor para el prototipo, esto es como lo propuso Culoumb, creando un sistema ideal con imanes que tal vez no sean infinitamente largos pero si lo suficiente como para evitar que esta fuerza de atracción interfiera en el proceso.

Para los imanes utilizados en este proyecto el eje debe tener un diámetro de entre 50 y 65mm, debido a que si esta por debajo de estos valores falla y si se encuentra por encima estaría sobre diseñado.

El arreglo de los anillos portadores de imanes debe favorecer un sentido de giro, evitando que exista un cambio en la dirección repentinamente.

Utilizar esta energía de repulsión para obtener diferentes resultados en otros campos, que seguro existe alguna combinación de elementos los cuales puedan transformar esta energía en otras sin generar daños al ecosistema.

Para diseños parecidos al planteado se pueden utilizar correas o cadenas que ayuden a multiplicar las RPM para aumentar el voltaje en el inducido, incluso se pueden realizar diseños en paralelo.

Crear más tipos de energía renovable para evitar la contaminación y alteración del ecosistema.

Agregar en el pensum de la Universidad José Antonio Páez contenidos programáticos que establezcan el comportamiento magnético para así ser aprovechado y generar invenciones que se basen en estas fuerzas.

Se recomienda un diseño similar al establecido en el objetivo general, el cual no se elaboró por falta de materiales en el mercado, o en su defecto un arreglo que establezca una relación entre imanes de 90° , donde las fuerzas actúen de manera excéntrica y estén lo más unido posible para generar un torque entre ellos.

REFERENCIAS

- Ander-Egg, Ezequiel. (2003). **Métodos y Técnicas de Investigación Social**. Segunda Edición. México: Grupo Lumen.
- Arias, Fidias. (2006). **El Proyecto de Investigación, Introducción a la Metodología Científica**. Quinta Edición. Caracas, Venezuela: Episteme, C. A.
- Barrero, Fermín. (2004). **Sistemas de energía eléctrica**. Madrid, España: Thomson Editores Spain.
- Botero, Sergio. (2017). **Análisis de los costos de capital (o inversión) en la generación de energía y su impacto en los mercados eléctricos de América latina**. [En línea]. Disponible en: <http://www.vocesenelfenix.com/content/an%C3%A1lisis-de-los-costos-de-capital-o-inversi%C3%B3n-en-la-generaci%C3%B3n-de-energ%C3%AD-y-su-impacto-en-los>.
- Castellán, Gilbert. (1998). **Fisicoquímica**. 2da Edición. México: CNIEM 1031.
- Chapman, Stephen. (2012). **Máquinas Eléctricas**. 5ta Edición. México: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A.
- Contreras, Johann y Granados, Germán. (2009). **Investigación sobre la generación de energía eléctrica por medio de aerogeneradores**. Trabajo Especial de Grado no publicado. Escuela Tecnológica. Instituto Técnico Central, Bogotá, Colombia.
- Cucaíta, Javier. (2016). **Configuración electrónica**. Disponible en: <https://es.slideshare.net/JavierAlexanderCucai/configuracin-electrnica-y-nmeros-cuticos>
- Dan, Carlos. (2009). **Ojo científico. Energía producida por imanes**. [En línea]. Disponible en: <http://www.ojocientifico.com/2009/10/15/%C2%BFenergia-electrica-con-iman.es>.
- Góngora, Julián. (2013). **Electrones**. [En línea]. Disponible en: <http://juliian10.blogspot.com/>
- Hernández, Roberto; Fernández, Carlos y Baptista, Pilar. (2008). **Metodología de la Investigación**. Cuarta Edición. México: Compañía Editorial Ultra.
- Jurado, Raúl. (2010). **Los imanes y el magnetismo**. [En línea]. Disponible en: <https://ceipntrasradelapiedad.wordpress.com/2010/08/18/los-iman.es-y-el-magnetismo/>

- Mago, María; Sosa, José; Flores, Blanca y Tovar, Luis. (2014). **Propuesta de diseño de una planta de Biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa Biodigestor**. Trabajo Especial de Grado no publicado. Universidad de Carabobo, Valencia, estado Carabobo, Venezuela.
- Moreno, Tonatiuh. (2016) **¿Cómo funcionan los imanes?** [En línea]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=7afwV_aJcjk
- Palella, Santa y Martins, Filiberto. (2012). **Metodología de la Investigación Cuantitativa**. Primera Reimpresión de Tercera Edición. Caracas, Venezuela: FEDUPEL.
- Salguero, Marco; Ramírez, José; Paredes, Freddy y Chávez, José. (2014). **Generación de energía Eléctrica a través del Electromagnetismo**. Proyecto de Integración de Saberes. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/joseph210/generacin-de-energa-elctrica-atravs-del-electromagnetismo>.
- SKF (2015). **Catálogo de Rodamiento**. [En línea]. Disponible en: http://www.skf.com/binary/89-121486/10000_2-ES---Rolling-bearings.pdf.
- Tamayo y Tamayo, Mario. (2003). **El Proceso de Investigación Científica**. Cuarta Edición. México: Limusa, Noriega Editores
- Tassoni, Danilo. (2007). **Elementos de Máquinas**. Escuela de Ingeniería. Universidad de Carabobo.
- Tipler, Paúl y Mosca, Gene. (2006). **Física para la Ciencia y Tecnología: Electricidad y Magnetismo**. 5ta Edición. Barcelona, España: Editorial Reversé, S.A.
- Universidad de Los Andes. (2010). **Ejes de Transmisión**. [En línea]. Disponible en: <https://www2.ula.ve/dsiportal/dmdocuments/elementos/EJES.pdf>.
- Universidad José Antonio Páez. (2007). **Normas para Elaboración y Presentación de los Anteproyectos, Proyectos y Trabajos de Grado**. San Diego, Carabobo, Venezuela.
- Wildi, Théodore. (2007). **Máquinas eléctricas y sistemas de potencia**. Sexta edición. México: Pearson Educación.

ANEXOS

ANEXO A ENTREVISTA 1

1. ¿Cómo afectan las fuerzas magnéticas que generan el torque? ¿Hay que descomponerlas?

R) Cuando se tienen 2 campos magnéticos el torque es directamente proporcional a la magnitud de los campos y al seno del ángulo que ellos forman. Al tener 2 imanes y ellos están a 0 grados, no hay torque, para generar torque es necesario como máximo a 90 grados, pero a cualquier ángulo distinto de 0 genera torque. El rotor tiene un norte y el estator también, cuando están cerca se repelen, hay un campo magnético entre ellos que genera cada imán por igual multiplicado por el seno del ángulo que ellos forman, a medida que se alejen los polos la acción de fuerza disminuye.

2. ¿Todos los imanes sienten la misma fuerza?

R) Si, todos los imanes sienten la misma fuerza, la única fuerza que no sienten es la que se encuentra en su misma línea o el que genere 0 grados.

De acuerdo al arreglo son muchos imanes, es recomendable hacer un diseño con 4 imanes solamente para apreciar mejor la visualización, encontrándose cada imán cara a cara, esos imanes que están de frente generan un torque

3. ¿Cuánto vale ese torque?

R) Sería 0 porque el campo magnético que sale de uno y del otro está a 180 grados. Al colocar 4 imanes, están dispuestos a 90 grados, existiendo en un imán interno la acción de 2 imanes externos, e igual para todos los imanes internos, pudiendo expresar el comportamiento con una ecuación. Calculando el torque de un solo imán podemos predecir el comportamiento de los otros 3, no puede ser con 2 imanes porque entra en equilibrio. No tiene que ser una disposición impar necesariamente, es decir impares en el anillo interno. Si fuesen fuerzas de atracción o de repulsión daría el mismo resultado.

4. Con prototipos creados por nosotros, no se genera movimiento, creemos porque los imanes son muy cortos y estos intentan virarse para atraerse entre ellos, es decir, al colocar 3 imanes en un hand spinner, pegados con cinta plástica, y acercarle otros imanes para intentar provocar el giro del spinner, logra girar por un instante de tiempo relativamente prolongado, pero cuando dejamos los imanes externos cerca de los imanes que están pegados al spinner, el spinner empieza a detenerse, creemos que esto sucede porque los imanes pegados al spinner intentan voltearse y atraer los imanes externos, ¿estamos en lo correcto?

R) Si, puede suceder que los imanes intenten atraerse ya que son muy delgados, o puede ser que tienen demasiado espacio entre imanes, y el imán exterior queda atrapado entre 2 imanes internos, entrando en equilibrio. Pueden probar con varios imanes, con el fin de que el torque sea constante a lo largo de los anillos acortando el espacio entre los imanes. Para poder determinar una formula que prediga el comportamiento deberían hacerlo con 4, y así estudiar el sentido de las fuerzas para representarlo matemáticamente, así al duplicar los imanes de 4 a 8 o a 16 es más fácil de explicar el proceso.

5. ¿Suponiendo un imán muy largo, infinitamente, al acercarse a otro imán igual, infinitamente largo, por el mismo polo, ellos intentan repelerse y el efecto de virarse no existiría?

R) Si eso es lo que COULOMB propuso, estableciendo la ley de magnetismo con barras magnéticas largas para decir que tenía un imán con un solo polo, pero en realidad los polos estaban distantes entre si de manera muy significativa, pudiendo decir que tenía un imán con un solo polo. Esto sería ideal.

6. ¿Existe la posibilidad de aislar un polo que se atrae con un que se repele, para que no afecte el giro?

R) Solo al llenar todo el disco de imanes puedes lograrlo, si son muchos imanes y todos son largos, mejor aun ya que el efecto de virarse queda eliminado.

7. ¿Cómo calcular la fuerza que genera el torque?

R) El torque es directamente proporcional a la magnitud de los campos y al seno del ángulo que los separa. $K B_1 B_2 \sin(\theta)$ (entre B_1 y B_2) siendo b la fuerza magnética en un punto. Aunque como ustedes calcularon empíricamente la fuerza del imán es válido porque tiene sentido para calcular la magnitud del torque. Puedes calcular el torque entonces con esa fuerza y la sumatoria de los senos de los ángulos obtenidos. La k puede ser la constante de magnetización entre el espacio es decir, el aire o el aluminio.

8. ¿Cómo podemos calcular la cantidad de energía para poder sustentar una casa, según nuestros cálculos una casa promedio requiere 991 KW por hora en un mes. Siendo esta mi potencia de salida del sistema? ¿Cómo calculamos la potencia de entrada a raíz de eso?

R) Bueno, la energía no se crea ni se destruye, la energía que entra debe ser la energía que sale más el roce y pérdidas de la máquina, la cual no debe tener pérdidas eléctricas, solo magnéticas y mecánicas, puedes obtenerlas ensayando en vacío el prototipo, obteniendo la velocidad cuando tengas la máquina construida, pero puedes asumir que son muy pequeñas, podemos suponer al principio que la potencia que debe suministrar la máquina es la misma potencia que va a generar suponiendo pérdidas mínimas. Los motores tienen un rendimiento típico del 80% entonces de ahí puedes obtener el valor de las pérdidas, u obteniendo la potencia que sale (991) al multiplicarla por 1,2 obtenemos la potencia que entra a la máquina (mecánica) que es torque por velocidad.

ANEXO B
ENTREVISTA 2

1. ¿Qué Procedimiento de mecanizado debería hacerse al eje para cumplir con las dimensiones que se necesitan?

R) Se debe refrentar las caras de cada lado del eje, luego hacerle un centro punto en ambas caras para poder hacer un proceso de cilindrado y llevarlas a las medidas que necesiten y hacer topes con los rodamientos

2. ¿Qué tipo de rodamientos podemos utilizar?

R) Pueden usar, según sus dimensiones, rodamientos 6204 y 6206.

3. ¿Es conveniente usar una chaveta para ajustar los anillos?

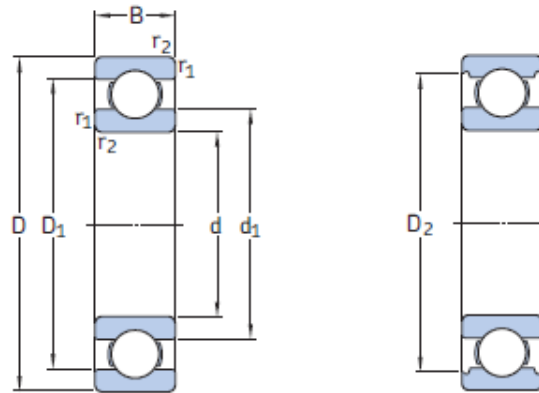
R) Pueden hacer un cilindrado en conicidad para ajustar a presión el anillo.

ANEXO C RODAMIENTOS

Anexo C-1

Dimensiones de Rodamientos de 1 hilera de bolas (SKF)

1.1 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas d 60 – 75 mm



Anexo C-2

Cargas básicas dinámicas y estáticas según diámetro

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	C	C_0	P_u	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN	kN	kN	r. p. m.		kg	-
60	78	10	11,9	11,4	0,49	17 000	11 000	0,11	61812
	85	13	16,5	14,3	0,6	16 000	10 000	0,2	61912
	95	11	20,8	15	0,735	15 000	9 500	0,29	616012
	95	18	30,7	23,2	0,98	15 000	9 500	0,41	61012
	110	22	55,3	36	1,53	13 000	8 000	0,78	62112
130	31	85,2	52	2,2	11 000	7 000	1,7	63112	
150	35	106	69,5	2,9	10 000	6 300	2,85	64112	
65	85	10	12,4	12,7	0,54	16 000	10 000	0,13	61813
	90	13	17,4	16	0,68	15 000	9 500	0,22	61913
	100	11	22,5	19,6	0,83	14 000	9 000	0,3	616013
	100	18	31,9	25	1,06	14 000	9 000	0,44	61013
120	23	58,5	40,5	1,73	12 000	7 500	1	62113	
140	33	97,9	60	2,5	10 000	6 700	2,1	63113	
160	37	119	78	3,15	9 500	6 000	3,35	64113	
70	90	10	12,4	13,2	0,56	15 000	9 000	0,14	61814
	100	16	23,8	21,2	0,9	14 000	8 500	0,35	61914
	110	13	29,1	25	1,06	13 000	8 000	0,44	616014
	110	20	39,7	31	1,32	13 000	8 000	0,61	61014
125	24	63,7	45	1,9	11 000	7 000	1,1	62114	
150	35	111	68	2,75	9 500	6 300	2,55	63114	
180	42	143	104	3,9	8 500	5 300	4,95	64114	
75	95	10	12,7	14,3	0,61	14 000	8 500	0,15	61815
	105	16	24,2	22,4	0,965	13 000	8 000	0,37	61915
	115	13	30,2	27	1,14	12 000	7 500	0,46	616015
	115	20	41,6	33,5	1,43	12 000	7 500	0,65	61015
130	25	68,9	49	2,04	10 000	6 700	1,2	62115	
160	37	119	76,5	3	9 000	5 600	3,05	63115	
190	45	153	114	4,15	8 000	5 000	5,8	64115	

Anexo C-3

Factores de cálculo para rodamientos SKF.

Dimensiones					Dimensiones de resaltes y radios de acuerdo			Factores de cálculo	
d	d ₁	D ₁	D ₂	r _{1,2} min.	d _a min.	D _a máx.	r _a máx.	k _r	f ₀
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	-	-
60	65,6	72,4	—	0,3	62	76	0,3	0,015	17
	68,2	76,8	—	1	64,6	80,4	1	0,02	16
	72	83	—	0,6	63,2	91,8	0,6	0,02	14
	71,3	83,7	86,5	1,1	66	89	1	0,025	16
	75,5	94,6	98	1,5	69	101	1,5	0,025	14
	81,8	108	113	2,1	72	118	2	0,03	13
	88,1	122	—	2,1	74	136	2	0,035	12
	71,6	78,4	—	0,6	68,2	81,8	0,6	0,015	17
	73,2	81,8	—	1	69,6	85,4	1	0,02	17
	76,5	88,4	—	0,6	68,2	96,8	0,6	0,02	16
76,3	88,7	91,5	1,1	71	94	1	0,025	16	
83,3	103	106	1,5	74	111	1,5	0,025	15	
88,3	117	122	2,1	77	128	2	0,03	13	
94	131	—	2,1	79	146	2	0,035	12	
70	76,6	83,4	—	0,6	73,2	86,8	0,6	0,015	17
	79,7	90,3	—	1	74,6	95,4	1	0,02	16
	83,3	96,8	—	0,6	73,2	106	0,6	0,02	16
	82,8	97,2	99,9	1,1	76	104	1	0,025	16
	87	108	111	1,5	79	116	1,5	0,025	15
	94,9	125	130	2,1	82	138	2	0,03	13
103	146	—	3	86	164	2,5	0,035	12	
75	81,6	88,4	—	0,6	78,2	91,8	0,6	0,015	17
	84,7	95,3	—	1	79,6	100	1	0,02	17
	88,3	102	—	0,6	78,2	111	0,6	0,02	16
	87,8	103	105	1,1	81	109	1	0,025	16
	92	113	117	1,5	84	121	1,5	0,025	15
	101	134	139	2,1	87	148	2	0,03	13
	110	155	—	3	91	174	2,5	0,035	12

**ANEXO D
PARA EL CÁLCULO DE Cs**

Acabado <u>superficial</u>	MPa		kPsi	
	A	b	A	b
Rectificado	1,58	-0,085	1,34	-0,085
Maquinado o estirado en frío	4,51	-0,265	2,7	-0,265
Laminado en caliente	57,7	-0,718	14,4	-0,718
Forjado	272	-0,995	39,9	-0,995

Tabla B-1: Coeficientes para la ecuación del factor superficial $C_s = A(S_u)^b$.

ANEXO E
VALOR DE RAIZ DE A PARA CALCULAR Q

TABLA 6-7

Constante de Neuber
para aluminio recocido

S_{ut} (kpsi)	\sqrt{a} (in ^{0.5})
10	0.500
15	0.341
20	0.264
25	0.217
30	0.180
35	0.152
40	0.126
45	0.111

ANEXO F
CONCENTRADORES DE LOS ESFUERZOS (P, MF Y MT), SELECCIÓN DE
CHUMACERA, COEFICIENTE DE CONCENTRADORES DE ESFUERZOS

Anexo F-1

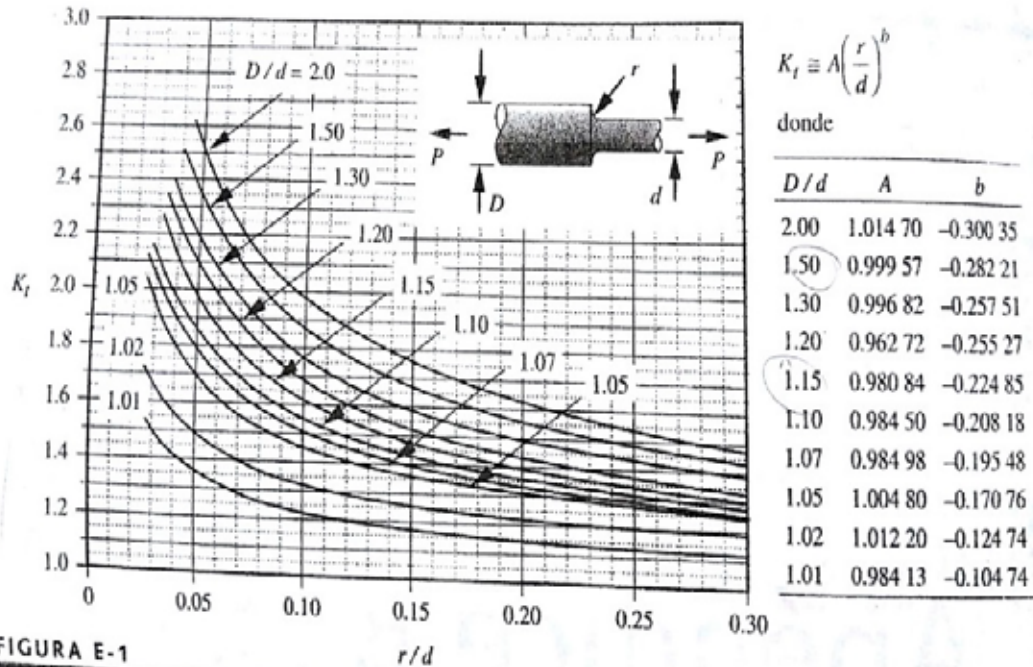
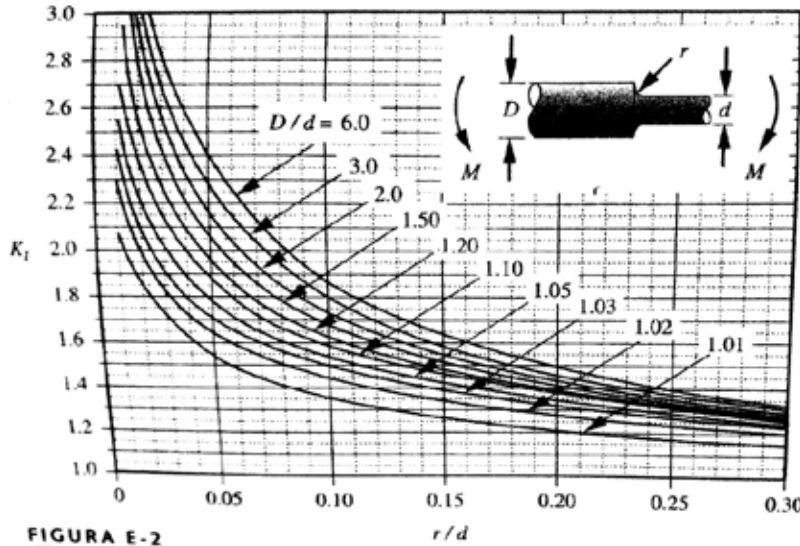


FIGURA E-1
 Factor de concentración de esfuerzos geométrico K_t para una flecha con un filete de hombro a tensión axial.

Anexo F-2



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

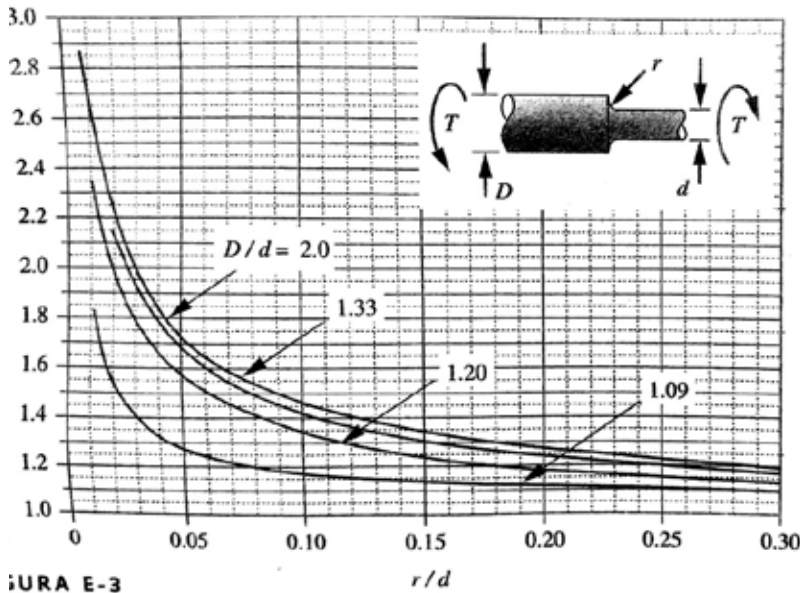
donde:

D/d	A	b
6.00	0.878 68	-0.332 43
3.00	0.893 34	-0.308 60
2.00	0.908 79	-0.285 98
1.50	0.938 36	-0.257 59
1.20	0.970 98	-0.217 96
1.10	0.951 20	-0.237 57
1.07	0.975 27	-0.209 58
1.05	0.981 37	-0.196 53
1.03	0.980 61	-0.183 81
1.02	0.960 48	-0.177 11
1.01	0.919 38	-0.170 32

FIGURA E-2

Factor de concentración de esfuerzos geométrico K_t para una flecha con un filete de hombro a flexión

Anexo F-3



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

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

FIGURA E-3

Factor de concentración de esfuerzos geométrico K_t para una flecha con un filete de hombro a torsión