



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

**CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO MODULAR DE
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA LIMPIA,
IMPULSADO POR ENERGÍA POTENCIAL ELÁSTICA**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE: DOCTORADO EN INGENIERÍA Y
CIENCIAS APLICADAS CON OPCIÓN TERMINAL EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

HÉCTOR MIGUEL BUENABAD ARIAS

**DIRECTORES: DR. J. JESÚS ESCOBEDO ALATORRE, DR. MIGUEL ÁNGEL
BASURTO PENSADO**

**SINODALES: DR. PEDRO ANTONIO MÁRQUEZ AGUILAR, DRA. SVITLANA
KOSHOVA, DRA. LAURA LILIA CASTRO GÓMEZ, DR. ALLAN REINIER MEJÍA
ARANDA, DR. HÉCTOR CERECEDO NÚÑEZ**

CUERNAVACA, MORELOS.

MAYO DE 2019.

RESUMEN

Esta invención hace referencia a una propuesta de generación de energía eléctrica alternativa y limpia que pueda ser adaptable, configurable y modular dependiendo de la demanda a de energía eléctrica necesitada para alimentar equipos eléctricos y electrónicos de baja potencia.

En la actualidad el desarrollo y los avances tecnológicos permiten que los dispositivos portátiles eléctricos y electrónicos necesiten valores de voltaje de bajo consumo, debido a sus componentes eléctricos y electrónicos con los que están constituidos internamente. Estos, adicionalmente contienen en su mayoría elementos como baterías que permiten almacenar en ellos la energía o corriente necesarios para operar por un largo tiempo sin necesidad de permanecer conectados a un suministro de corriente eléctrico alterno.

Debido a las características planteadas que tienen los diferentes equipos eléctricos y electrónicos, dicha invención se adapta a las necesidades modernas de suministro alterno de voltaje y corriente de baja potencia variable (en un rango 1.7 volts a 17.6 volts, con una velocidad variable, con imanes permanentes circulares de 10 mm X 5 mm, 12 mm X 5 mm y 15 mm X 5 mm N52, y con configuraciones serie, mixto y paralelo) -que no requiere de fuerzas naturales o de un suministro de una red eléctrica, sino de impulso de energía potencial elástica- gracias a su portabilidad, modularidad para la configuración de los requerimientos.

ABSTRACT:

This invention refers to a proposal for the generation of alternative and clean electric power that can be adaptable, configurable and modular depending on the demand of electrical energy needed to power electrical and electronic equipment of low power.

At present the development and technological advances allow portable electric and electronic devices to require low voltage values, due to their electrical and electronic components with which they are constituted internally. These, in addition, contain mostly elements such as batteries that allow them to store in them the energy or current necessary to operate for a long time without the need to remain connected to an alternating electric power supply.

Due to the stated characteristics of the different electrical and electronic equipment, said invention is adapted to the modern needs of alternative supply of variable low voltage power and current (in a range 1.7 volts to 17.6 volts, with a variable speed, with magnets circular permanents of 10 mm X 5 mm, 12 mm X 5 mm and 15 mm X 5 mm N52, and with serial, mixed and parallel configurations) -which does not require natural forces or a supply from an electrical network, but from impulse of elastic potential energy - thanks to its portability, modularity for the configuration of the requirements.

DEDICATORIA

Dedico principalmente este trabajo, fruto de mi esfuerzo y dedicación a mi familia por ser un enorme apoyo incondicional e impulso a lo largo de mi vida, especialmente a mi esposa Alma Luz Jaimes Miranda por su amor, entrega y compromiso ante retos de gran magnitud y estar a mi lado de la mano día con día, a mi madre María de los Ángeles Arias Baeza y padre Héctor Miguel Buenabad, quienes con su esfuerzo diario y sobre todo su paciencia hicieron posible que esta meta se hiciera realidad, a mis hijos Héctor Miguel Buenabad Jaimes y Mateo Buenabad Jaimes por su valiosa motivación, ayuda y paciencia en los buenos y malos momentos, a mis compañeros y amigos por su apoyo incondicional para la culminación de este presente trabajo, en fin a todos quienes creyeron en mí, mil gracias..

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a la Universidad Autónoma Del Estado De Morelos, especialmente al Centro De Investigación En Ingeniería Y Ciencias Aplicadas (CIICAP).

A todos los Doctores, Maestros y compañeros por compartir sus conocimientos y consejos a lo largo de toda la estancia Doctoral.

En especial al Dr. J. Jesús Escobedo Alatorre y Dr. Miguel Ángel Basurto Pensado tutores del presente trabajo, a los Dr. Pedro Antonio Márquez Aguilar, Dra. Svitlana koshova, Dra. Laura Lilia Castro Gómez, Dr. Allan Reinier Mejía Aranda, quienes me apoyaron en los tutoriales y presentaciones donde cada día compartieron sus consejos, conocimientos y expertis para el desarrollo y culminación de este enorme reto.

INDICE

1. ANTECEDENTES.	8
2. MARCO TEÓRICO.	12
3. MARCO METODOLÓGICO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR	55
4. RESULTADOS	70
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
6. ANEXOS	77

ANTECEDENTES

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO. PROPUESTA DE ALMACENAMIENTO ELÁSTICO DE ENERGÍA.

El almacenamiento de energía tiene una misión crítica en la organización de la infraestructura eléctrica en general y en cualquier consumidor final de la misma, tanto por motivos de seguridad y aseguramiento de un servicio independiente de energía, como el aumento del valor de las energías renovables en el mercado, la optimización de producción de energía mediante combustibles fósiles o como medio para facilitar una transición de mercados eléctricos regionales a mercados supranacionales competitivos.

Mediante la energía almacenada se puede cubrir el diferencial entre la energía generada y consumida; haciendo el sistema eléctrico más estable y la implantación de unidades generadoras más cercana al punto óptimo. Existen diferentes técnicas para el almacenamiento de energía, tales como químicos (hidrógeno o bio-combustibles), electroquímicos (baterías, células regenerativas o pilas de combustible), eléctricos (capacitores o superconductores magnéticos), mecánicos (aire comprimido, volantes de inercia, resortes o acumulador hidráulico) y térmicos (líquidos criogénicos o salmueras).

Los resortes espirales a torsión permiten el almacenamiento de un amplio rango de energía y potencias, siendo estas especificaciones de diseño, junto con la curva par – ángulo girado requerida, pudiéndose emplear diferentes tipos de materiales y configuraciones para adaptarse a las restricciones del diseño. El sistema es flexible para ajustarse a diferentes escenarios de operación, no siendo tan rígido como otros sistemas de almacenamiento que se encuadran en un único rango de funcionamiento o para aplicaciones concretas. De manera genérica los sistemas de bajo almacenamiento de

energía, por debajo del megavatio, son los volantes de inercia o capacitores. Los almacenamientos medios-bajos de energía, entre 1 y 50 MW, son las baterías, acumuladores ácido-base o sistemas basados en la reacción reducción oxidación. Los almacenamientos medios, entre 10 y 200 MW, consisten en células de flujo reverso o sistema de almacenamiento mediante aire comprimido. Mientras, las altas energías almacenadas, por encima de los 100 MW, son producidas por sistema de bombeo o almacenamiento mediante aire comprimido.

Los rangos comerciales de aplicación de estos sistemas y como se pueden observar en la Figura 1.1 con la comparación de la densidad másica de energía respecto a la densidad volumétrica) van desde las mayores densidades de energía característica de baterías no recargables o los sistemas con base al sulfuro de sodio y de litio con valores entre 250 y 700 KWh/m³ y 100 – 800 KWh/tonelada, hasta los valores medios de las Ni- Cd o las ácido - base entre 20 – 80 KWh/m³ y 20 – 40 KWh/tonelada o los menores de los volantes de inercia y condensadores con valores menores de 30 KWh/m³ y 20 KWh/tonelada.

En esta comparación somera se han excluido los sistemas de alta capacidad de almacenamiento, al tener aplicaciones muy específicas como son las centrales hidroeléctricas con los sistemas de bombeo de agua, o las centrales de ciclo combinado con sistemas de almacenamiento de aire comprimido.

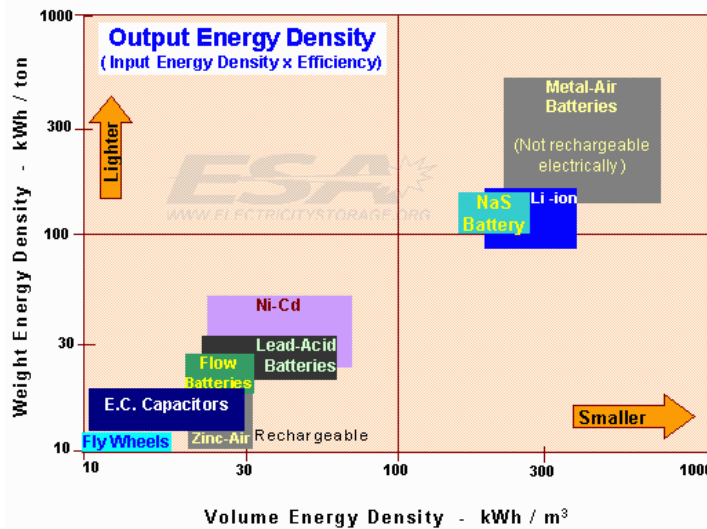


Figura 1.1. Densidad de energía entre tecnologías de almacenamiento.

Otra ratio de comparación entre los diferentes sistemas es la energía almacenada en función del tiempo de descarga, como se muestra en la figura 1.2. Así para consumo continuo con valores medios de energía la tecnología más apropiada son las baterías, mientras que para descargas medias de minutos se emplearían baterías ácidos – base y para descargas puntuales volantes de inercia (media – alta energía) o súpercondensadores (alta energía).

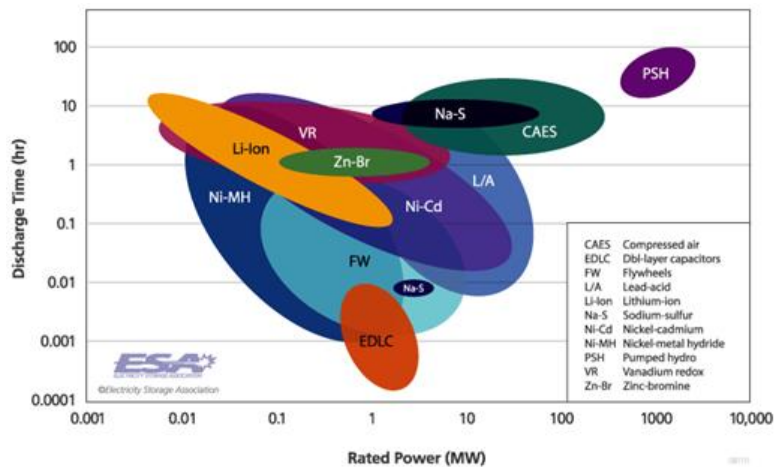


Figura 1.2. Potencia vs tiempo de descarga entre tecnologías de almacenamiento.

El almacenamiento mediante resortes espirales a torsión se estima que tendría un ámbito de aplicación con un nicho de mercado estimado en el ámbito de súper condensadores, volantes de inercia y baterías, con una densidad de energía menor pero una mayor potencia específica. Dichas características permitirían abordar ciertos márgenes del mercado ocupados marginalmente por otras tecnologías. Dicho rango debe considerarse aproximado al no disponer de un prototipo comercial y debido a que en las futuras líneas de investigación se muestran vías de optimización del peso del resorte, lo que directamente influye en el aumento de la densidad de potencia y de energía.

MARCO TEÓRICO

Los resortes espirales a torsión han sido empleados históricamente como un elemento de máquinas, fabricado habitualmente en acero templado recocido y endurecido. En aplicaciones concretas se emplean metales no férricos, como el bronce al fósforo o el titanio, al requerirse resistencia a la corrosión, o berilio de cobre en aquellos que llevan corrientes eléctricas por su baja resistencia eléctrica. El principio básico, por el que la fuerza es proporcional a su extensión, es descubierto en 1676 por Robert Hook. Los diversos usos de los resortes espirales a torsión, permite generar una clasificación genérica específica de este tipo de resorte no obtenible como elemento de máquinas [Associated Spring Corporation, 1958; Berry, 1961; Chen, 2005; Connolly, 2008; Fukaya, 1978; Gross, 1975; Hymans, 1946; McGuire, 2009; McGuire, 1994; Person, 2010; Pook, 2010; Seames, 1957; Queener, 1970; Timoshenko, 1955; Votta, 1963; Wahl, 1963]. Existen diferentes tipos de resortes a torsión clasificándolos en resorte espiral de potencia con y sin carga, ver *Figura 2(a)* y *Figura 2(b)*), resorte motor de fuerza constante (*Figura 2(c)*) y de fuerza constante (*Figura 2(d)*).

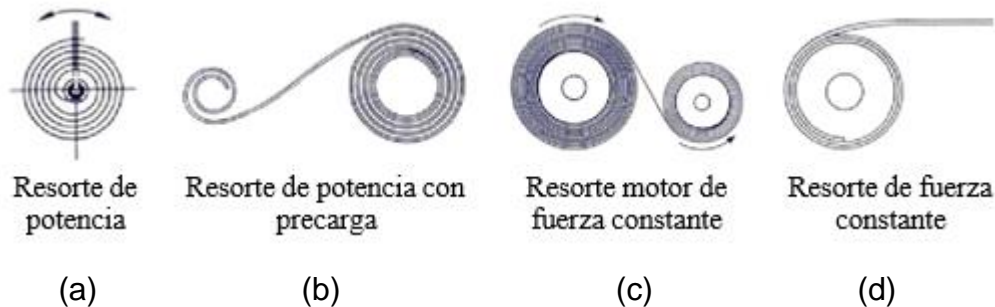


Figura 2. Diferentes tipologías de resortes espirales a torsión.

Este tipo de resortes se encuentran habitualmente enrollados en el interior de un árbol y encerrados dentro de una caja cilíndrica exterior llamada barrilete o carcasa. El resorte está unido al árbol en su extremo interior, y al barrilete en su extremo exterior. Los distintos tipos de resortes pueden proporcionar la misma energía a mayor o menor potencia (mayor potencia

con alto par y bajo número de vueltas mientras que menor potencia se alcanza con bajo par y alto número de vueltas). Las conexiones son generalmente pequeños ganchos o pestañas, que se enganchan al resorte por los agujeros cuadrados en sus extremos, por lo que puede ser fácilmente reemplazado (*Figura 4(b)*). Son empleados como fuente de energía de los relojes mecánicos, cajas de música o juguetes mediante la torsión de la cinta de metal que los constituye.

Una de las aplicaciones clásicas de los resortes son los relojes. Los resortes aparecieron por primera vez en los relojes del siglo XV con el fin de hacerlos más pequeños y más portátiles [De Carle 1971 y Dohrn-van Rossum, 1997]. El reloj más antiguo que ha llegado a nuestro tiempo impulsado por un resorte es el Burgunderuhr o reloj de Borgoña, cuya iconografía sugiere que fue fabricado alrededor de 1430. El problema histórico de los resortes para relojería es que proporcionan un par no constante que disminuye a medida que desenrolla. Sin embargo, el reloj tiene que funcionar a un ritmo constante para mantener la hora exacta. De ahí la necesidad de instalar un mecanismo adicional que ajuste su curva característica.

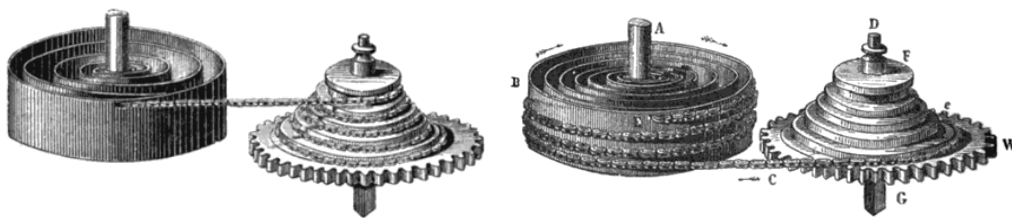


Figura 3. Mecanismo fusée en procesos de carga y descarga.

Dos soluciones surgieron en el siglo XV para resolver dicha diferencia: el stackfreed (excéntrica montada en el árbol del resorte con un rodillo que presiona sobre este) y el fusée (polea cónica con cadena envuelta alrededor del cañón principal cuya relación de transmisión varía a fin de corregir la fuerza del resorte (*Figura 3*)). El stackfreed añadía mucha fricción reduciendo la vida

útil del reloj y por tanto su uso fue abandonado. Sin embargo, el fusée ha sido empleado como método habitual de obtener resortes a par constante hasta el siglo XIX con la incorporación del resorte de barril. Otro dispositivo empleado para mantener el par constante fue el stopwork en el que se empleaba sólo la parte central de la curva de par del mismo, donde aquel es más constante. Sin embargo, en los relojes modernos dicho mecanismo no es necesario [Shigley, 2003]. Un muelle principal del reloj moderno es una larga tira de acero templado y pavonado, aleación de acero o especializados de 20 - 30 centímetros de largo y 0,05 - 0,2 milímetros de espesor. (Figura 4(a)).



Figura 4. Resortes espirales a torsión habitualmente empleados.

Otro conjunto de resortes producen un par constante mediante la forma del resorte al disponer de un tramo con curvatura inversa o forma de S. Esto posibilita tener un conjunto extra de espiras bloqueadas en el exterior para el rango final de la curva característica de un resorte con una única curvatura. Otro de los resortes empleados son los helicoidales formados por una varilla en forma de hélice o bobina que se somete a torsión sobre el árbol de la misma. El fleje se somete a esfuerzos de flexión y cortantes, siendo los primeros los principales [Bandari, 2008; Barnes Group Inc, 1993; Hearn, 1997 y Marghitsu, 2005].

Otros usos habituales de los resortes espirales a torsión son las barras de torsión, empleada como componentes de suspensiones de automóviles; el péndulo de torsión utilizado en relojes de péndulo o el movimiento Arsonval

utilizado en los contadores mecánicos tipo puntero o en dispositivos digitales de microespejos chip. Otras aplicaciones son mecanismos de los ganchos de ropa o de las puertas de garaje. [Auge&Cie, 1957; Fenstermacher, 2002; Gerrit, 2010; Kiyoshi, 1971; Kuroda, 2010; Luo, 2009; Masayuki, 2002; Morikawa, 1990; Philip, 2011; Reynolds, 2007; Soo, 2010; Yukihiro, 2010].

Así mismo han aparecido en los últimos años aplicaciones teóricas en las que se emplean resortes espirales a torsión para accionamientos de mayor tamaño [Beremps, 1991; Jenuwine, 1994; Park, 2004; Tchibansky, 2003].

La teoría clásica de resortes espirales a torsión realiza un análisis genérico para dicho elemento de máquinas, sin especificar la curva característica, ya que es considerada habitualmente lineal. Al no existir estudios genéricos sobre bloqueo y flujo de espiras entre carcasa y árbol, ni estudios analíticos de cuantificación genérica de las variables de influencia. Por tanto, existe un amplio rango para el desarrollo y la investigación. Los resortes espirales a torsión clásicamente son diseñados como un elemento de máquinas cuyas características están encorsetadas dentro de los márgenes marcados por la experiencia (tablas, ábacos o correlaciones experimentales entre otros) sin existir una metodología clara de desarrollo. [American Steel & Wire Co, 1941; Armand, 1967; Blake, 1966; Berry, 1961; Carlson, 1982; Collins-a, 2003; Collins-b, 2003; Dubbel, 1969; Gakkai, 2004; Hicks, 1987; Maker, 1978; Millar, 2010; Mizuno, 2004; Niemann, 1967; Osthwein, 1990; Reymondin, 2003; Shimoseki, 2003; Silberstein, 2002; Spring Manufacturers Institute, 2004; Spring Manufacturers Institute, 2002Yamada, 2007; Wright, 2008].

2.1.- Resortes de alta variabilidad de par.

Se presentan a continuación los planteamientos teóricos más habituales para los resortes espirales a torsión [Ashwell, 1950; Barten, 1945; Bisshopp, 1945; Scott, 1955; Chen, 2009; De Bona, 1997; Knox,

2009; Rowell, 1934; Shinohara, 1978; Timoshenko, 1961; Turrière, 1939; Votta, 1952]. Para dicho análisis se considera un momento M aplicado en un resorte de radio de carcasa R , máxima separación del resorte a y radio del árbol b , siendo n el número de vueltas, θ el ángulo girado. Suponiendo que la espiral es de Arquímedes se puede posicionar el resorte a partir de la situación de montaje y para un ángulo girado de $2\pi n$ vueltas (Figura 5).

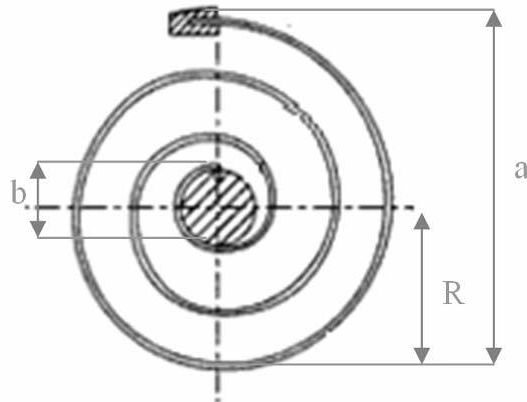


Figura 5. Parámetros empleados en el análisis clásico de resortes espirales a torsión.

$$\theta = 0 \quad r = r_0 = \frac{b}{2} \quad r = r_0 + \frac{A}{2\pi} \theta$$

$$\theta = 2\pi n \quad r = r_0 = \frac{a}{2} = \frac{b}{2} + \frac{A}{2\pi} 2\pi n$$

Con lo que la ecuación genérica que define la geometría para dichos resortes de fabricación se puede expresar,

$$r = \frac{b}{2} + \frac{(a-b)}{4\pi n} \theta$$

La longitud del resorte puede ser calculada a partir de la relación entre el diferencial de longitud, el radio y el diferencial de ángulo,

$$L = \int_0^{2\pi n} dl = \int_0^{2\pi n} r d\theta = \int_0^{2\pi n} \left[\frac{b}{2} + \frac{(a-b)}{4\pi n} \theta \right] d\theta = \frac{\pi n}{2} (a+b)$$

Así es posible correlacionar el ángulo girado con el par aplicado, observándose el comportamiento en línea de forma inversamente proporcional al módulo resistente de la sección,

$$\theta = \int_{L_{libre}} \frac{M}{EI} dl = \frac{M}{EI} \left[\frac{\pi n}{2} (a+b) \right]$$

El cálculo resistivo clásico consiste en aplicar la tensión máxima admisible del material a la sección crítica del resorte,

$$\sigma_{max} = \frac{12M}{Bt^2}$$

Estas consideraciones genéricas no permiten realizar un análisis pormenorizado de la curva característica del resorte, ni de su modulación, cuando hay contacto entre espiras. Conjuntamente con este análisis general existen ciertos estudios particulares para algunos tipos específicos de resortes mostrados en la Figura 2.

Resortes de potencia.

Los resortes de potencia son resortes espirales de sección delgada, consisten en un fleje montado en un árbol y confinado en un alojamiento, con doble o simple curvatura, que almacenan energía mediante su deformación elástica. Son habitualmente empleados como elementos generadores de potencia para accionamiento de relojes, juguetes, cinturones de seguridad o componentes eléctricos.

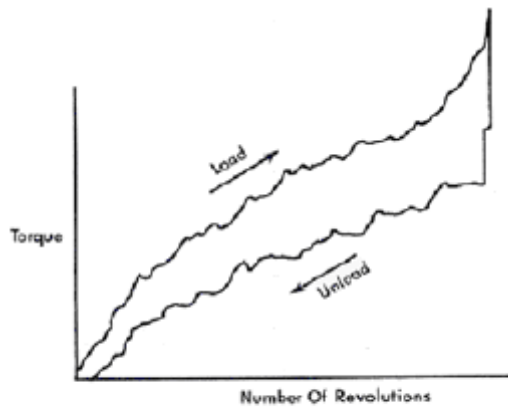
Para dichos resortes el procedimiento de diseño, la fabricación y las especificaciones de diseño existen fórmulas analíticas, obtenidas algunas de ellas de forma experimental, para su estudio.

La deflexión de este tipo de resortes, es difícil de estimar debido al cambio de curvatura y el contacto entre espiras, que se produce aunque exista buena lubricación entre ellas; observándose la irregularidad en el par y posibles procesos de histéresis (Figura 6 (a)). Una de las correlaciones más importantes la relación entre el radio del árbol y el espesor del fleje debe encontrarse entre 15 y 25 [Berry, 1961]. La máxima energía almacenada se produce cuando el resorte ocupa entre un 40% - 50% del espacio disponible entre árbol y carcasa. El ángulo girado suele ser menor que las 25 vueltas con una relación longitud espesor menor que 115.000.

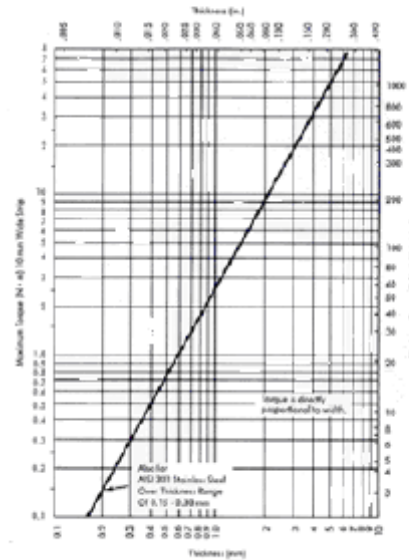
La Figura 6 (b) muestra curvas típicas de selección de resortes espirales a torsión, según las recomendaciones de diseño marcadas por la experiencia. Existen fórmulas experimentales del ángulo girado por el resorte cuando el fleje ocupa la mitad del espacio comprendido entre el árbol de diámetro d y la carcasa de diámetro D , longitud L y espesor del fleje t .

$$\theta = \frac{\sqrt{2(d^2 + D^2)} - (d + D)}{2.55 \cdot t}$$

$$L = \frac{D^2 - d^2}{2.55 \cdot t}$$



(a)



(b)

Figura 6. Ábacos y consideraciones de diseño para resortes espirales a torsión de potencia.

Sin embargo si el espacio ocupado por el fleje no es la mitad del disponible la fórmula anterior no es válida y se debe emplear la siguiente expresión que depende del factor experimental k (Tabla 1).

$$\theta = k \cdot \frac{\sqrt{1.27 \cdot t \cdot L + d^2} + \sqrt{D^2 - 1.27 \cdot t \cdot L} - (d + D)}{2 \cdot t}$$

Tabla 1. Factor k para el cálculo del ángulo girado para power springs.

$0.785(D^2 - d^2)/(L \cdot t)$	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
k	0.850	0.834	0.823	0.813	0.804	0.795

El procedimiento de diseño clásico de este tipo de resortes consiste en determinar la relación par – ángulo girado, para una determinada correlación entre parámetros del fleje, empleando los ábacos de la *Figura 6* o análoga. Una vez seleccionado el punto de trabajo, el espesor de la espira será función del máximo par, teniendo en cuenta los factores de seguridad relativos tanto a tensión como a fatiga. Finalmente, el ángulo girado se obtendrá empleando alguna de las expresiones planteadas anteriormente.

Otros autores [Reymondin, 2003] analizan el número de vueltas que daría un resorte en tres estados diferentes, el primero de ellos cuando el fleje está desmontado (N_0), el segundo cuando está montado y sin par aplicado, resorte bloqueado en la carcasa (N') (*Figura 7(a)*) y por último con máximo par aplicado bloqueada la longitud del fleje en el árbol (N''). En dichas expresiones se designa por R el radio de la carcasa, r el radio del árbol, L la longitud del fleje, e el espesor, h la altura, E el módulo elástico y σ_{max} el límite elástico del material, obteniéndose las siguientes expresiones,

$$N_0 = \frac{L}{\pi \cdot e} \cdot \frac{\sigma_{max}}{E} \quad N' = \frac{1}{e} \cdot \left(R - \sqrt{R^2 - \frac{L \cdot e}{\pi}} \right) \quad N'' = \frac{1}{e} \cdot \left(\sqrt{r^2 + \frac{L \cdot e}{\pi}} - r \right)$$

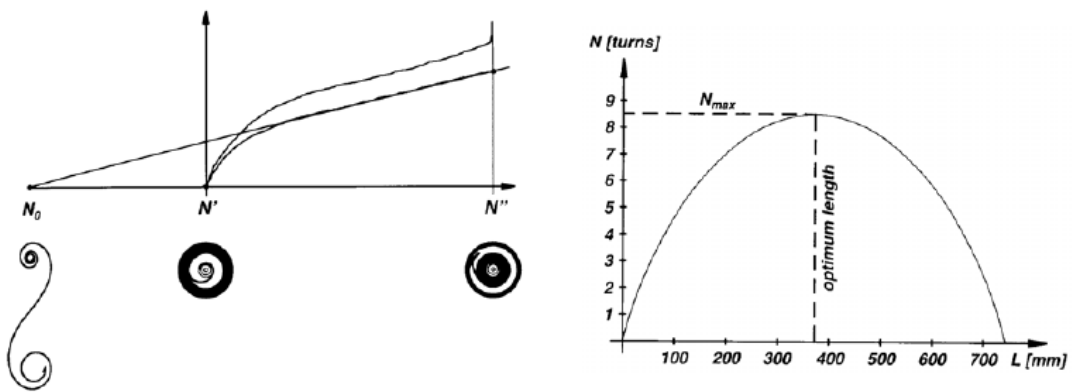


Figura 7. (a) Curva característica de resorte desmontado y montado sin par aplicado y con par máximo (b) Optimización de la longitud del resorte con el número de vueltas.

El valor máximo del número de vueltas dado por el resorte y la longitud optimizada (*Figura 7(b)*) se pueden obtener a partir de las ecuaciones 11 y 12. Así mismo la experiencia según dichos autores indica que para obtener la máxima cantidad de energía almacenada la longitud se debe incrementar un 20% respecto a la teórica.

$$N_{\max} = \frac{\sqrt{2 \cdot (R^2 + r^2)} - r - R}{e} \qquad L = \frac{\pi \cdot (R^2 + r^2)}{2 \cdot e}$$

De igual manera se puede obtener la máxima energía almacenada (W_{\max}) y el par máximo (M_{\max})

$$M_{\max} = \frac{e^2 \cdot h}{6} \cdot \sigma_{\max} \qquad W_{\max} = \frac{e \cdot h \cdot L}{6} \cdot \frac{\sigma_{\max}^2}{E}$$

Resortes espirales sin contacto de espiras en funcionamiento.

En este tipo de resortes no se tocan las espiras durante el funcionamiento. Los esfuerzos que aparecen, siendo el de flexión el más importante de ellos, se limitan a unas pocas revoluciones. Un diseño típico tiene una relación altura - espesor de 10 y de longitud - espesor de 2000. Con la misma nomenclatura empleada con anterioridad se pueden obtener los valores del ángulo girado y de la longitud del fleje, a partir de diámetros, características del material de fabricación o par requerido (*Figura 8*).

$$\theta = \frac{6 \cdot M \cdot L}{\pi \cdot b \cdot t^3 \cdot E} \qquad L \cong N \cdot \pi \cdot \frac{D+d}{2}$$

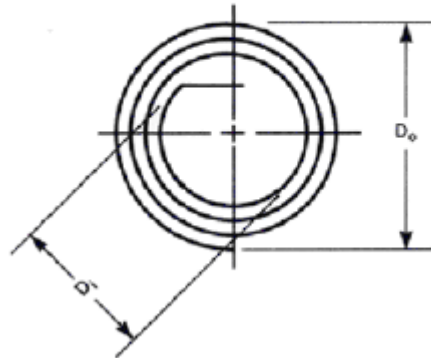


Figura 8. Parámetros de diseño para resortes espirales sin contacto entre espiras en funcionamiento.

Existen también otras correlaciones más desarrolladas para determinar el espacio requerido entre las espiras en función del ángulo girado.

$$\theta \cong \frac{\sqrt{D_a^2 + 1.27 \cdot t \cdot L} - D_a}{2 \cdot t} - \frac{2 \cdot L}{\pi \cdot (OD + D_a)}$$

Las ecuaciones anteriores son sólo aplicables cuando los dos extremos del resorte están en su alojamiento de manera rígida y sin tener en cuenta efectos de fatiga. Los efectos de fatiga se analizan con un factor de corrección sobre las expresiones que depende tanto de la forma de la espira como de la curvatura.

2.2.- Resortes de baja variabilidad de par.

Dentro de los desarrollos clásicos de resortes espirales a torsión, los que más se aproximan a un comportamiento de baja variabilidad del par son los resortes denominados de fuerza constante. Un resorte espiral a torsión de fuerza

constante es aquel que dispone de un cambio de curvatura constante mediante el cual se consigue dicha forma de curva característica (dentro de los cuales se encuentran los denominados Neg'ator) (Figura 9 (a) y (b)). Dichos resortes suelen montarse en carcasas con un diámetro entre 10% y 20% mayor que el diámetro del resorte. Normalmente la zona activa del resorte es estimada por diversos autores en 1,25 veces el diámetro del motor. La distancia recomendada entre el centro del fleje y la zona más extrema es 0,8 veces el diámetro [Reymondin, 2003].

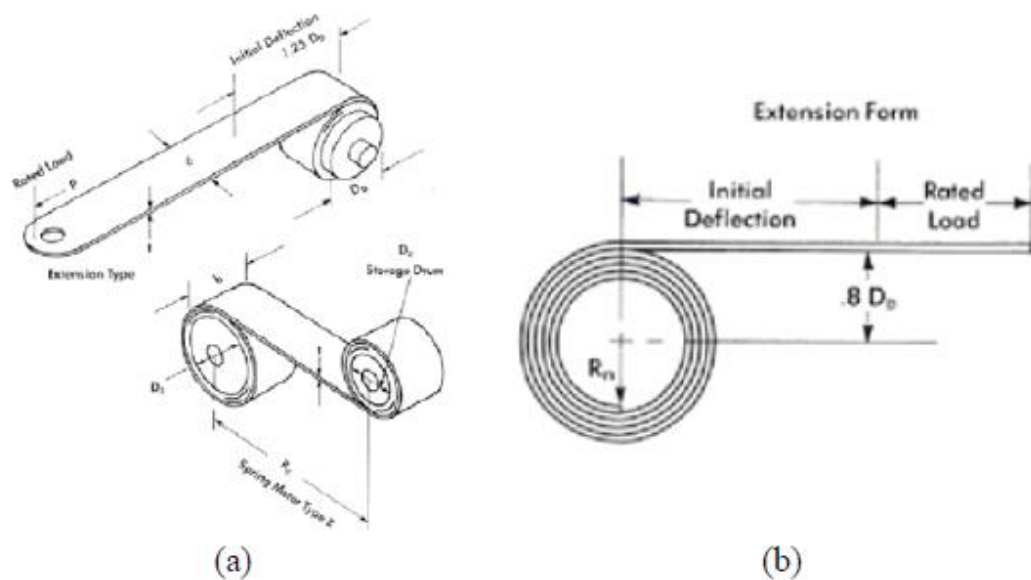


Figura 9. Parámetros de diseño para resortes espirales a torsión de fuerza constante.

En función de la configuración del resorte existen fórmulas empíricas para la obtención de sus principales características técnicas y correlaciones recomendadas entre ciertos parámetros de diseño. Las correlaciones definidas a partir del uso y costumbre son una relación entre altura y espesor de 100, diámetro entre espesor 250 o relación de diámetros carcasa - árbol entre 1,6 y 2. Las ecuaciones analíticas a emplear en este caso concreto, aplicando una nomenclatura análoga a la del epígrafe anterior.

$$P(N \leq 10) = \frac{E \cdot b \cdot t^3}{6.5 \cdot D_m^2}$$

$$P(N > 10) = \frac{E \cdot b \cdot t^3}{6.5 \cdot D_m^2} \cdot \left(\frac{2}{D_m} - \frac{1}{D_1} \right)$$

$$M = \frac{E \cdot b \cdot t^3 \cdot D_3}{13} \cdot \left(\frac{1}{D_0} + \frac{1}{D_3} \right)^2$$

$$S = E \cdot t \cdot \left(\frac{1}{D_0} + \frac{1}{D_3} \right)$$

$$L = \pi \cdot N \cdot (D_3 + N \cdot t) + 10 \cdot D_3$$

$$R_3 = R_0 \cdot \sqrt{4 + \frac{4 \cdot R_3}{R_0} + \frac{R_0}{R_3} + \left(\frac{R_3}{R_0} \right)^2}$$

Se pueden encontrar desarrollos para ciertas aplicaciones concretas, como son la relojería, industria juguetera o cinturones de seguridad, con requerimientos de baja variabilidad de par. Dicha curva se consigue produciendo bloqueo de espiras en la carcasa de modo que haya una reserva de longitud que se desbloqueará en el rango de pares de interés y modulando la variación de la rigidez a flexión a lo largo del fleje o cambios de curvatura a lo largo de la longitud. El cambio de rigidez a flexión se puede conseguir mediante incremento de espesores o anchuras, con actuación de flejes concatenados o mediante vaciados en el alma de los flejes. Estos resortes, suelen fabricarse con finas láminas de acero de alta elasticidad y longitud, disponiendo de gran longitud bloqueada en el árbol o carcasa que facilita generar una reserva de vueltas y un par de variabilidad reducida para las aplicaciones para las cuales son diseñados. La utilización de este principio a otros usos, de mayor par y dimensiones, no es directamente extrapolable. Uno de los primeros desarrollos para reducir la variabilidad del par, está basada en resortes de barrilete [Nussbaumer, 1920], logrando alcanzar una fuerza motriz “menos variable” (*Figura 10*). Este primer acercamiento a un resorte espiral a torsión con par de baja variabilidad se logra mediante una sección útil del fleje creciente, mediante espesor constante y altura progresivamente mayor a lo largo de la longitud. El aumento de inercia de la sección resistente se puede conseguir o trabajando con un fleje de espesor constante de forma trapezoidal y rectangular o mediante el vaciado triangular en el interior de la misma. Dicha

variación de inercia genera que, al irse enrollando el resorte en el árbol interior y disminuir la longitud del fleje, se disponga de una sección de menor inercia en su enrollamiento en el árbol. Otro de los desarrollos de resortes con variación de inercia a lo largo de la longitud, y por tanto con un tratamiento análogo, se debe a [Wantz, 1963], cuya aplicación es la industria relojera.

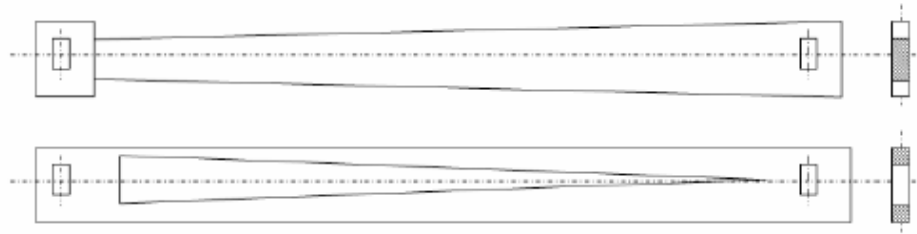


Figura 10. Fleje de sección resistente variable propuesto por Nussbaumer.

Un principio de funcionamiento diferente, buscando igualmente la reducción de la variabilidad del par es el planteado por [Newman, 1926]. El factor principal del diseño es la curvatura de fabricación del resorte (Figura 11). El sistema propuesto consiste en un resorte con curvatura creciente en la mitad de su longitud, en cuyo extremo se sitúa el árbol. Mientras que en la otra mitad la curvatura es decreciente, con lo que el extremo libre termina bobinándose en sentido contrario al del árbol. Se logra así, dar menor potencia cuando está completamente enrollado y más en el proceso de carga respecto a un resorte torsional de forma tradicional. Este fenómeno se debe al cambio de curvatura generado al traspasar espiras de curvatura decreciente a creciente, una vez que se ha enrollado la longitud de curvatura creciente.

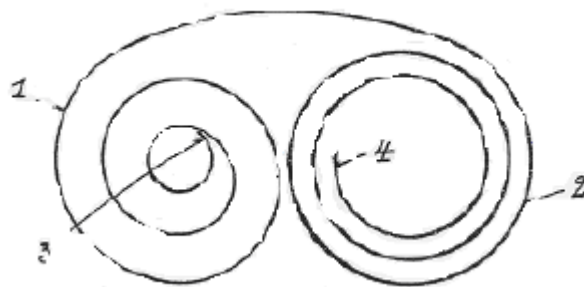


Figura 11. Curvaturas de fabricación del resorte propuesto por Newman.

Otro resorte que emplea la curvatura de fabricación como variable diferenciadora en su curva de comportamiento es el propuesto por [Auge, 1957], con aplicación en relojería, cuya doble curvatura permite alcanzar un par de baja variabilidad, aunque en ningún momento se cuantifica dicha variabilidad (*Figura 12*).

La peculiaridad de este diseño viene en el doble origen de la baja variabilidad en el par, por un lado esta es debida a la curvatura y, por otro, a la variación de la inercia a lo largo de la longitud. Se plantea la posibilidad de variar a lo largo de la longitud del resorte tanto el espesor como el ancho del fleje lo que va a generar que la inercia se pueda seleccionar de manera variable. Dicha variación de inercia puede ser realizada tanto con refuerzos puntuales como con apilamientos de capas de diferentes características resistivas.

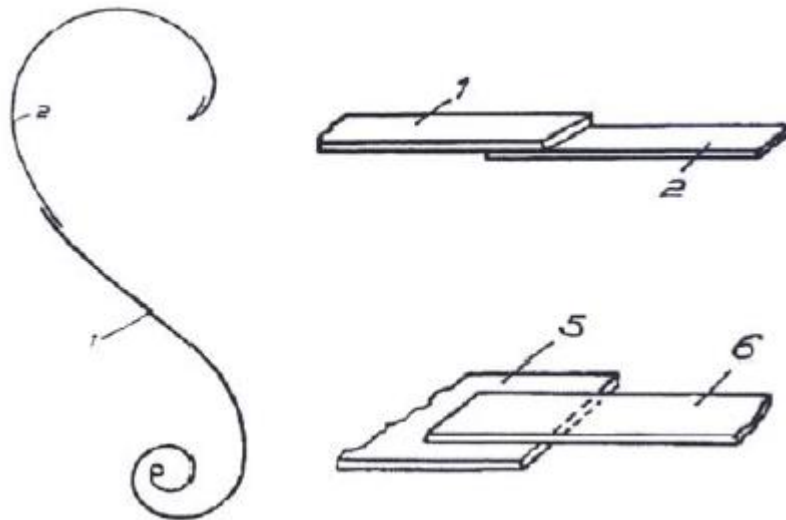


Figura 12. Diseño de resorte propuesto por [Auge, 1957].

El desarrollo de [Kabushiki, 1971] plantea un resorte en el que varía la sección resistente del fleje mediante vaciados de diferentes formas geométricas

(Figura 13). Sus aplicaciones se centran en pequeños resortes básicamente de relojería y juguetería con una variabilidad del par no cuantificada.

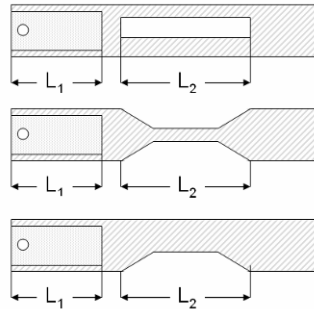


Figura 13. Diferentes secciones resistentes de fleje propuesto por [Kabushiki, 1971].

Una forma de obtener la reducción de variabilidad del par, sumando varios de los efectos anteriores, es la llevada a cabo por [William, 1981], en la que se aúna la variación de inercia con el empleo de varios flejes.

Dicho resorte consiste en el apilamiento de varias bandas superpuestas de diferentes longitudes sobre el mismo punto de amarre a la carcasa. Sin embargo, en dicho desarrollo no se ofrece información sobre la constancia del par.

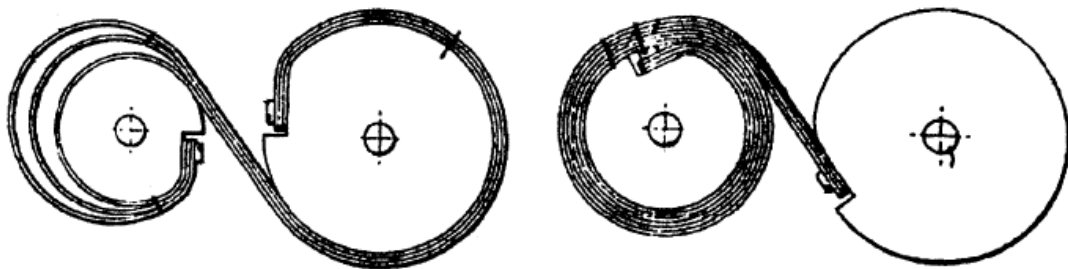


Figura 14. Diseño de resorte propuesto por [William, 1981].

Existe otro conjunto de desarrollos cuya base para conseguir baja variabilidad de par consiste en fabricar el resorte de gran longitud con sección constante y flexible normalmente de acero. Entre dichos desarrollos se encuentra [Junghans, 1941] (Figura 15), desarrollado para la industria relojera.

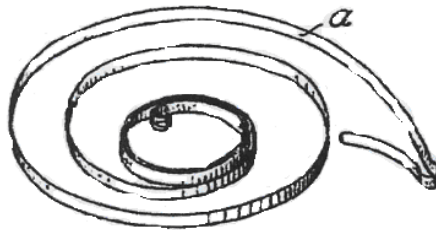


Figura 15. Propuesta de resorte de fabricación por [Junghans, 1941].

Sin embargo, uno de los desarrollos más extendidos es el [Neg'ator, 1979], que bajo el mismo principio básico de funcionamiento, permite transmitir par con una constancia que puede llegar al 20% entre diferentes posiciones relativas de los árboles, no concéntricos como es el caso clásico (Figura 16). Según la aplicación del resorte, se puede disponer de un resorte entre dos tambores paralelos de forma tangencial con configuración interna o externa.



Figura 16. Tipos de resorte [Neg'ator, 1979].

En la propuesta de [Foster, 1965], la variabilidad es proporcionado al disponer de gran longitud, ya esté bobinada en el árbol o en la carcasa, que va a cambiar de curvatura adaptándose de una a la otra (Figura 17).

Sin embargo, no aporta el análisis y cuantificación de dicho efecto. La principal aplicación remarcada por el autor es la tracción y accionamiento de juguetes infantiles.

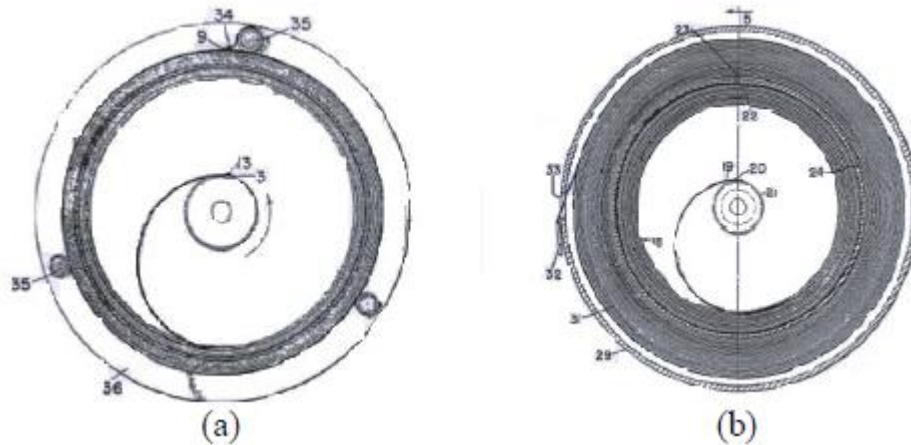


Figura 17. Propuesta de resorte con espiras bloqueadas en carcasa por Foster, 1965.

Los resortes anteriormente descritos pueden ser conectados en serie para aumentar el número de vueltas del conjunto, [Sadatomo, 1985] (Figura 18), desarrolla piezas intermedias entre los resortes que sirven de acople. El tipo de resortes es un fleje flexible de gran longitud y sección constante a lo largo de esta.

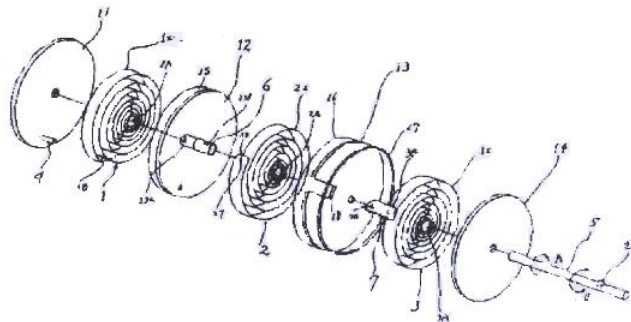


Figura 18. Propuesta de configuración serie de resortes por [Sadatomo, 1985].

Otro de los estudios analíticos es el llevado a cabo por [Xionggang, 1987], en el que se analiza la energía potencial máxima almacenable por unidad de volumen. En dicho trabajo se diferencia entre la energía suministrada por el resorte, la aprovechable y las pérdidas por transmisión en el caso de existencia de resortes motores y motrices. Para ello se analizan la precarga de espiras y el material de fabricación del fleje, obteniéndose la correlación entre longitud y espesor de fleje y entre radio y espesor para óptima energía almacenada. Dicho estudio plantea como óptimo una relación entre radio de carcasa y árbol de 3 con un valor normalizado de volumen entre resorte y carcasa de 0,5 y una relación entre par máximo y mínimo de 1,55, acompañando dichas conclusiones con diferentes gráficas de comparación y correlación entre parámetros de diseño.

Por otra parte [Swift, 1972 y 1973], plantea las condiciones para flexión pura en resortes espirales a torsión, a partir de las cuales se analiza el comportamiento del resorte con flujo de espiras bloqueadas entre la carcasa y el árbol, y las características de las espiras libres y bloqueadas tanto en árbol como en carcasa.

Con dicho comportamiento se plantea la curva característica par – ángulo girado para diferentes parámetros de diseño como son el espesor, el material del fleje o las curvaturas de árbol y carcasa. Los resultados propuestos son validados con el ensayo de diferentes resortes.

Como se acaba de analizar en los planteamientos anteriores, tanto de forma genérica para resortes espirales a torsión como para aquellos que buscan una curva de baja variabilidad del par, los desarrollos analíticos para este tipo de resorte son escasos. La mayoría de los desarrollos se centran en un análisis de la forma genérica de la curva generatriz del resorte sin caracterizarla y sin

poder expresar analíticamente el comportamiento del resorte y las características del fleje. Los resortes empleados eran constituidos principalmente por lajas de acero, las cuales no necesitaban, en principio, ni análisis pormenorizados y estudios para su optimización. Ninguno de ellos realiza un análisis metódico y estructurado de los diferentes factores de influencia de los resortes espirales a torsión que permita plantear un procedimiento de diseño no basado únicamente en la experiencia y en datos empíricos, que limitan las aplicaciones de los mismos fuera de sus correspondientes marcos de desarrollo. Sin embargo, las aplicaciones futuras de los resortes espirales a torsión, con el aumento de su rango de especificaciones y dimensiones, requieren estudios detallados y específicos que permitan su análisis y posible optimización.

Parámetros Eléctricos.

Corriente Eléctrica: La corriente eléctrica es el desplazamiento de cargas eléctricas de un punto a otro en un conductor. Se llama intensidad de corriente eléctrica (I) a la carga que recorre una sección del conductor la unidad de la intensidad de corriente eléctrica viene dada en amperio (A), que equivale a un flujo de cargas de un culombio (C) por segundo (s) esto es:

$$I = \frac{q \text{ (Culombios)}}{t \text{ (segundos)}} = 1 \text{ Amperio}$$

Ecuación 1. Intensidad

Fuente: (Chapman, 2000)

Donde:

I : Intensidad (A)

q : Carga que recorre una sección del conductor (C)

t : Tiempo que utiliza la carga en recorrer (s)

Diferencia de Potencial (V): Es el trabajo (W) esencial para llevar la unidad de carga eléctrica de un punto a otro. La unidad de la diferencia de potencial viene dada en voltio (V), para llevar 1 C de carga de un punto a otro de un conductor es esencial ejecutar un trabajo de 1 J, la diferencia de potencial entre ambos es de 1 V esto es:

$$V = \frac{W \text{ (Julios)}}{q \text{ (Culombios)}} = 1 \text{ Voltio}$$

Ecuación 2. Diferencia de potencial

Fuente: (Chapman, 2000)

Donde:

V: Diferencia de potencial (V)

W: Trabajo para desplazar una carga (J)

Resistencia Eléctrica: Todo conductor tiene una resistencia eléctrica (R) que se opone al paso de una corriente eléctrica, la resistencia eléctrica depende de las características geométricas del conductor, del material de construcción y su temperatura. La resistencia eléctrica fija la intensidad de la corriente obtenida por una diferencia de potencial dada. La unidad de la resistencia eléctrica viene dada en ohmios (Ω) y significa la resistencia de un conductor en el que con una diferencia de potencial aplicada de 1 V, circula una corriente de 1 A de intensidad esto es:

$$R = \frac{V \text{ (Voltios)}}{I \text{ (Amperios)}} = 1 \text{ Ohmio}$$

Ecuación 3. Resistencia eléctrica

Fuente: (Chapman, 2000)

Donde:

R: Resistencia eléctrica (Ω)

Potencia Eléctrica. Relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo, es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La potencia eléctrica se representa con la letra P y la unidad de medida es el Vatio (Watt). En este proyecto se utilizará la potencia eléctrica trifásica. La Potencia trifásica viene dada por la siguiente fórmula:

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\phi$$

Ecuación 4. Potencia Eléctrica Trifásica

Fuente: (Chapman, 2000)

Definición de las Partes Principales del Generador.

Estator: Es la parte fija de la máquina. Está formado por una carcasa metálica que sirve de soporte, dentro del mismo se encuentra el núcleo del inducido, donde se monta el que será el devanado o bobinas del inducido. Por el estator circula toda la energía eléctrica generada.

El arreglo estatórico según el diseño y el tipo de generador seleccionado para la aplicación (Generador de Imanes Permanentes de Flujo Axial) consta de un arreglo de 9 bobinas de cobre calibre #22 AWG ver (*figura 11*). El bobinado se ha configurado de tal forma que la corriente obtenida sea del tipo trifásica. La conexión del bobinado se hizo mediante la configuración “estrella” (Ver *figura 39*). Lo que facilita la generación de voltaje a bajas revoluciones.



Figura 11. Estator

Rotor: Es el elemento que presenta movimiento rotacional en las máquinas eléctricas como motores y generadores, en este caso el rotor es el encargado de realizar movimiento rotacional, presentando un eje que pasa por el centro del estator (Ver *figura 12*). Es llamado también rotor inductor ya que tiene como función producir un campo magnético giratorio, en este proyecto el rotor inductor está constituido por un grupo de imanes con campo magnético permanente (Ver *figura 12*), al girar el rotor inductor, permitirá inducir un campo magnético rotacional en las bobinas del estator generando una diferencia de potencial también llamado voltaje inducido o fuerza electromotriz determinado por la Ley de Faraday – Lenz (Ver Cap. 2.3.10.).

Para esta aplicación, el rotor inductor está compuesto de un plato metálico circular de 8 plg de diámetro y de 1/8 plg de espesor, en el cual se han fijado, mediante una capa de soldadura al frío, 12 imanes de neodimio de grado N-42 (Ver Anexo A).



Figura 12. Rotor inductor

Bobina Eléctrica: La bobina o inductor por su apariencia (espiras de alambre enrollados sobre un núcleo) es aquella que acumula energía en forma de campo magnético.



Figura 13. Bobina o Inductor

Todo inductor al cual se le suministra una corriente eléctrica almacenará energía en forma de campo magnético, y la descargará cuando el suministro de corriente desaparezca o baje de intensidad. El campo magnético almacenado en el inductor circulará por el centro del mismo y cerrará su

camino por su parte exterior. Su unidad de medida es el Henrio (H) en el Sistema Internacional. Se utilizan submúltiplos como el milihenrio (mH) que equivale a una milésima parte de un henrio, y el microhenrio (μH) que equivale a una millonésima parte de un henrio.

Tipos de Bobinas.

Bobinas Fijas con Núcleo de Aire.

Este tipo de bobina consiste en enrollar el conductor sobre un núcleo que hará de soporte para posteriormente retirarlo.

A este tipo de bobina se la denomina como solenoide que son utilizadas cuando se precisan muchas espiras y pueden emplearse dos o más bobinas enrolladas sobre el mismo soporte y conectadas en serie. Este tipo de bobinas poseen baja inductancia y se utilizan para señales de alta frecuencia como en radios, televisores, transmisores, etc.

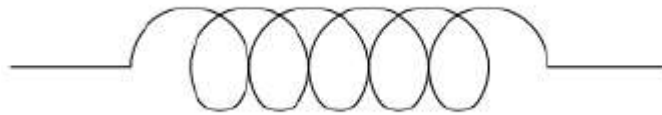


Figura 14. Bobina con núcleo de aire

Bobinas Fijas con Núcleo de Sólido.

Poseen valores de inductancia más altos que los de núcleo de aire debido a su nivel elevado de permeabilidad magnética (capacidad de una sustancia o medio para atraer y hacer pasar a través de ella campos magnéticos). El núcleo suele ser de un material ferromagnético, los más utilizados son la ferrita y el *ferroxcube* debido a su alta permeabilidad y resistividad.

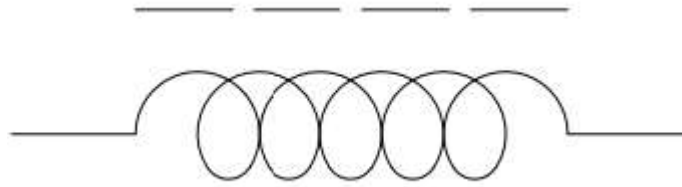


Figura 15. Bobina con núcleo de ferrita

Las bobinas con núcleo de hierro tienen un mayor campo magnético, por consiguiente generan valores altos de inductancia. Se utilizan para aplicaciones en los transformadores en los que se utiliza un núcleo laminado en forma de “E” y otro en forma de “I”, para disminuir pérdidas.

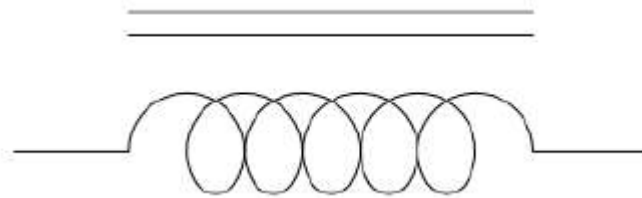


Figura 16. Bobina con núcleo de hierro

Bobinas Variables.

Normalmente se produce la variación de inductancia por desplazamiento del núcleo en este tipo de bobinas.

Las bobinas blindadas pueden ser variables o fijas, que consiste en aislar la bobina dentro de una cubierta metálica, cuyo objetivo es limitar el flujo electromagnético creado por la propia bobina.

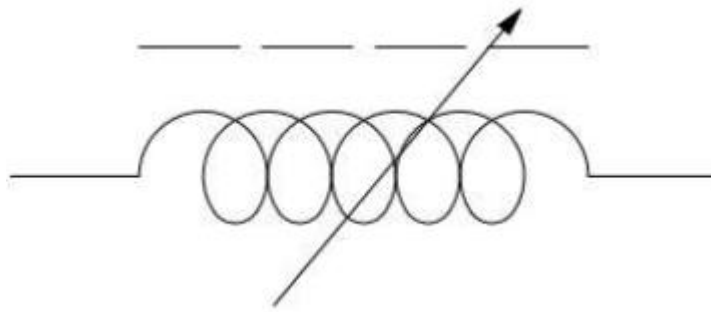


Figura 17. Bobina variable

Imanes Permanentes. Material que puede ser imantado y que es capaz de generar un campo magnético persistente, a diferencia de los imanes temporales que generan un campo magnético sólo mientras está activa la fuerza o energía externa que lo genera. Por ejemplo, un electroimán produce un campo magnético únicamente cuando circula por el material una corriente eléctrica; el campo magnético desaparece de forma instantánea cuando dejar de circular la electricidad.

Los imanes permanentes pueden clasificarse en dos tipos, los naturales, como la magnetita, y en artificiales. Los imanes permanentes artificiales se fabrican con materiales ferromagnéticos duros, que son aquellos materiales ferromagnéticos que, tras ser imantados, tienden a mantener las propiedades magnéticas hasta que no son desmagnetizados, fenómeno que se produce cuando es aplicado un campo magnético contrario al inicial.

Una de las características principales para la elección del juego de imanes, es que posea una elevada remanencia, mientras mayor sea ésta, mayor será el flujo magnético que pueda crear el imán con elevada coercitividad, mientras mayor sea, más difícil será que éste se desmagnetice.

Existen varios tipos de materiales de imanes permanentes como la ferrita, de bajo precio y baja energía, o los imanes de las tierras raras, de alto costo y alta energía.

Los imanes de tierras raras, es un poderoso imán, por tal motivo se utilizarán para ésta aplicación, a pesar de su tamaño reducido, éstos cuentan con una potencia que puede llegar a ser varias veces superior a la de otros imanes en algunos casos.

Las tierras raras son unos elementos pertenecientes a la tabla periódica, las aleaciones de estos elementos son las que producen los imanes permanentes de las tierras raras. Según el material químico que los componga, estos imanes se suelen dividir en:

Imanes de neodimio (Nd-Fe-B), compuestos por boro, hierro y neodimio, de allí sus rasgos metálicos. Se caracterizan por oxidarse con extrema facilidad por lo que son recubiertos con una capa de barniz, zinc o níquel (Ver figura 18).

Imanes de samario cobalto (Sm-Co), a diferencia de los anteriores, estos no se oxidan con tanta facilidad. Es un buen material para aplicaciones que requieren elevado rendimiento en ambientes de trabajo con altas temperaturas, tiene excelentes características térmicas.



Figura 18. Imán permanente de Neodimio N-42

Rodamientos.

Es un elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste por medio de una rodadura, que le sirve de apoyo y facilita su desplazamiento.

En este caso, permite la facilidad de movimiento angular del rotor, el modelo de rodamiento que se utilizó es el Koyo SA205 – 16.



Figura 19. Rodamiento Koyo SA205 – 16

Conceptos Generales del Proyecto.

Generador Eléctrico.

Un generador es una máquina eléctrica que transforma energía mecánica en energía eléctrica, es decir, efectúa el proceso contrario que un motor eléctrico.

Todo dispositivo capaz de producir una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados terminales, bornes o polos, es considerado un generador eléctrico.

La transformación de energía mecánica en eléctrica se produce por la acción de un campo magnético sobre el bobinado eléctrico dispuesto sobre una armadura (estator). Si mecánicamente se ejerce un movimiento relativo entre el campo y el bobinado, se genera una fuerza electromotriz (fem).

Los generadores eléctricos se diferencian de acuerdo al tipo de corriente que producen, de esta forma encontramos con dos grupos de máquinas eléctricas rotativas: los alternadores y las dinamos.

Los alternadores generan electricidad en corriente alterna. El componente inductor es el rotor y el inducido el estator. Un ejemplo son los generadores de las centrales eléctricas, las cuales transforman la energía mecánica en energía eléctrica alterna.

Aunque la corriente generada es corriente alterna, puede ser rectificadas para obtener una corriente continua según sea su aplicación.

Las dinamos generan electricidad en corriente continua. El componente inductor es el estator y el inducido el rotor. Un ejemplo serían las luces que tiene una bicicleta, la cual funciona a través del pedaleo.

Generador Sincrónico.

Los generadores sincrónicos o alternadores son máquinas sincrónicas que se emplean para transformar potencia mecánica en potencia eléctrica.

En este tipo de generadores se suministra una corriente DC al devanado del rotor, lo cual crea un campo magnético, entonces, el rotor del generador gira mediante el acople de una máquina primaria y produce un campo magnético giratorio dentro de la misma, el cual induce en los devanados del estator del generador un grupo trifásico de voltajes.

En las máquinas sincrónicas los devanados de campo (devanados que producen el campo magnético principal en la máquina) están sobre el rotor, creando los polos magnéticos. En esencia, el rotor de un generador sincrónico es un gran electroimán.

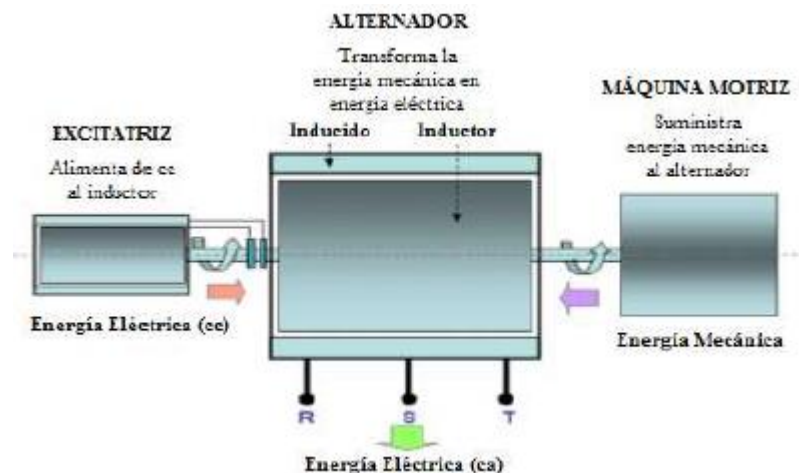


Figura 20. Generador Sincrónico

Los polos magnéticos del rotor pueden ser construidos salientes o no salientes.

El rotor de polos magnéticos salientes quiere decir que estos, están proyectados hacia afuera de la superficie del rotor, son utilizados para motores térmicos o turbinas hidráulicas para sistemas de baja velocidad.

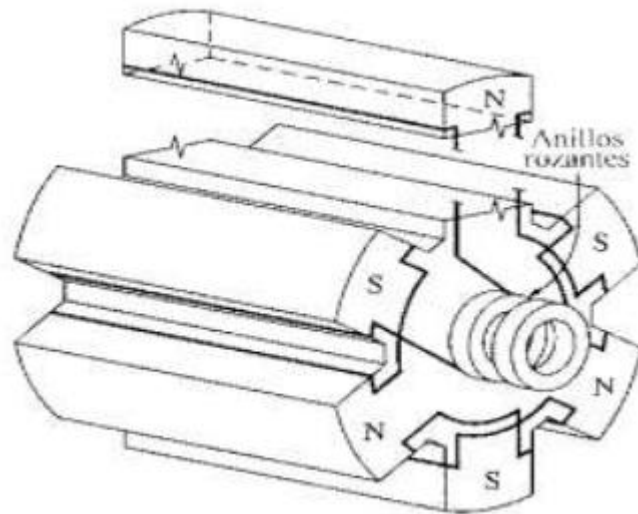


Figura 21. Rotor de seis polos salientes en máquina sincrónica (Chapman, 2000)

Mientras que los rotores de polos no salientes, poseen un rotor construido con sus polos al mismo nivel de la superficie del rotor y son utilizados para turbinas de vapor y gas, éstos grupos son llamados turboalternadores. Pueden girar a 3000, 1500 o 1000 rpm en función de los polos que tenga.

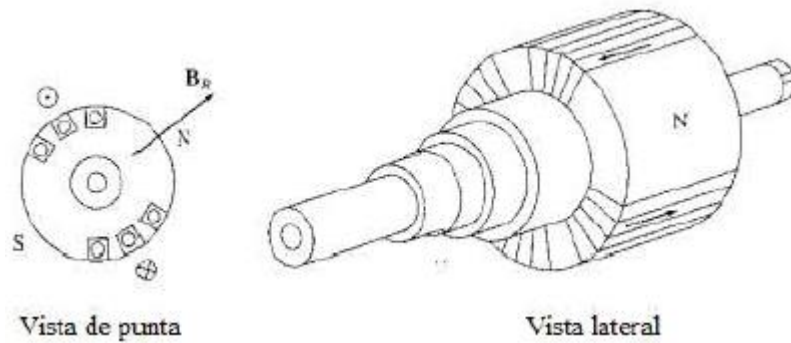


Figura 22. Rotor de polos no salientes en una máquina síncrona (Chapman, 2000)

Se los conoce como generadores síncronos a los generadores eléctricos que tienen sincronismo en su frecuencia eléctrica (f) y su velocidad de giro de campo magnético (n), de acuerdo al número de polos magnéticos (encargados de generar el campo magnético que atraviesa las bobinas). La frecuencia del voltaje generado está dada por la relación:

$$f = \frac{n * p}{120}$$

Donde:

f : Frecuencia eléctrica (Hz)

p : Número de polos (obligadamente es par)

n : Velocidad mecánica del rotor (rpm)

Esta fórmula es independiente del número de fases del generador, no olvidar que cada fase del generador es una bobina o un grupo de bobinas de p polos, que liga el flujo magnético del rotor del generador.

Como se explicó anteriormente estos generadores producen un campo magnético giratorio dentro de los mismos, para inducir en su bobinado una diferencia de potencial, la forma en que induce la tensión puede diferir, y se distinguen por tanto entre rotor bobinado e imanes permanentes.

Generador Síncrono de Rotor Bobinado.

Estos generadores se caracterizan por la necesidad de alimentar el devanado inductor con una tensión continua, éste devanado está situado en el rotor y es accesible mediante unos anillos rozantes, los cuales requieren un frecuente mantenimiento.

Existen dos principales tipos de sistemas de excitación:

El sistema de excitación propia que implica la necesidad de un generador de corriente continua para alimentar el devanado inductor. Este tipo de sistemas están prácticamente en desuso, implica un incremento en los costos de mantenimiento, debido a que se debe dejar fuera de servicio, mientras se realiza el mantenimiento de este generador adicional.

El sistema de autoexcitación o excitación sin escobilla, consiste en alimentar el devanado inductor a través de un puente rectificador, que presenta la ventaja de ser un equipo más fiable que el generador de corriente continua, usado en el sistema de excitación propia. Para el arranque de este tipo de generador se necesita una fuente independiente de corriente continua.

Generador Síncrono de Imanes Permanentes.

Este tipo de generador produce la inducción del estator mediante imanes que producen el campo magnético.

La utilización de este tipo de generador síncrono tiene como ventaja, la eliminación de los anillos rozantes además que elimina las pérdidas en el devanado del rotor. Según la disposición de los imanes y la dirección del campo magnético generado, se distinguen entre varios tipos de generadores de imanes permanentes.

Generador de Flujo Radial.

En los generadores de flujo radial, el grupo de imanes se colocan sobre un cilindro que gira alrededor de su propio eje (Ver *Figura 23*). En este caso el campo magnético generado por los imanes es perpendicular al eje de giro, por lo cual crea el flujo en el entrehierro en dirección radial, debido a esto son conocidos como generador de “flujo radial” lo que en realidad significa que el campo magnético es perpendicular al eje de giro o que va en dirección radial.

En este grupo existen dos tipos de estos generadores, los generadores de imanes superficiales y generadores de imanes embutidos. El generador con imanes embutidos, a diferencia del generador de imanes superficiales, tiene los imanes colocados dentro de las ranuras del rotor, permitiendo un mayor flujo entre el rotor y el estator. El generador de imanes permanentes de flujo radial, es la más común de las máquinas de imanes permanentes. Los principales aspectos constructivos de estas máquinas son: el espacio entre estator y rotor radial respecto al eje, y el estator longitudinal con ranuras e imanes montados en la superficie del rotor.

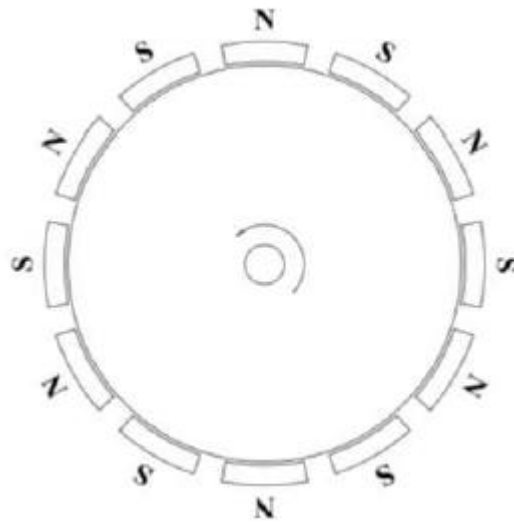


Figura 23. Distribución de los imanes permanentes en máquinas de flujo radial

Generador de Flujo Axial.

En este tipo de generadores, los imanes son montados sobre un disco de hierro que gira alrededor de un eje perpendicular que pasa por su centro (Ver Figura 24). Es decir, que el campo magnético de los imanes es paralelo al eje de giro, y debido a esto se los conoce como generador de “flujo axial”, lo que quiere decir que el campo magnético es paralelo al eje de giro.

El rotor se encuentra en forma de disco, mientras que el estator está ranurado de forma radial, lo que significa que el generador tendrá una disposición más compacta, pero a su vez más difícil de fabricar.

La principal ventaja que presentan éstas máquinas es su tamaño reducido para un torque dado, pero surge como desventaja la gran complejidad del núcleo del estator, éste debe ser laminado. Existe una variante al diseño de este tipo de generador de imanes permanentes, la cual se ha empleado para el desarrollo de este proyecto, y es denominada Torus. La diferencia que muestra esta topología es el tener un estator bobinado sobre un disco y aparte

el disco rotor, que lleva el grupo de imanes permanentes montados superficialmente.

La mayor ventaja de este tipo de generador en relación al anterior, es que el diseño y construcción del estator es más simple, aunque presenta como desventaja, el amplio espacio entre el estator y rotor debido a no tener un estator ranurado para la inserción del bobinado.

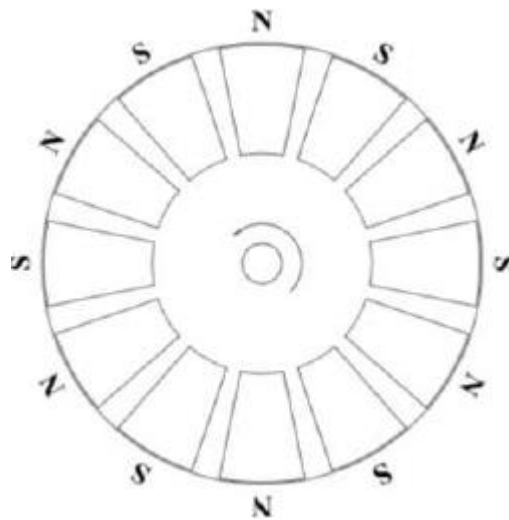


Figura 24. Distribución de los imanes permanentes en máquinas de flujo axial

Ventajas del Generador de Imanes Permanentes Sobre el Generador de Rotor Bobinado.

La máquina síncrona de rotor bobinado posee la ventaja de que la corriente de excitación es regulable, lo que ocasiona que la tensión en el inducido también lo sea. Por esta razón, este tipo de generadores se usan en sistemas de velocidad constante conectados directamente a la red. Sin embargo, para aplicaciones eólicas, en los aerogeneradores, al ser la velocidad del viento variable, también lo será la velocidad del rotor y, por tanto, es necesario poseer un convertidor para mantener la tensión en el nodo de conexión lo más estable

posible, antes de la conexión de la red, lo cual hace que la máquina síncrona de rotor bobinado pierda su ventaja.

Los generadores de rotor bobinado presentan como desventaja la necesidad de utilizar anillos rozantes, los cuales son encargados de permitir el paso de la corriente de la parte estática a la rotatoria de la máquina, y requieren un frecuente mantenimiento.

Otra desventaja de los generadores sincrónicos de rotor bobinado es que habrá una mayor cantidad de pérdidas debido al devanado en el rotor, aunque haya pérdidas en el grupo de imanes permanentes, serán mucho menores que las del devanado.

Mientras que una gran ventaja de los generadores de imanes permanentes es la gran disminución en el tamaño de los mismos, lo que permite hacer máquinas con una mayor cantidad de polos, y a su vez esto permite a que el uso de una caja multiplicadora de velocidad, no sea necesaria, lo que significa que existirá una menor contaminación acústica, además de disminuir las pérdidas mecánicas y por consiguiente reducir el mantenimiento del sistema mecánico.

Velocidades de un Generador Síncrono (rpm).

El rotor gira con la misma velocidad que el campo magnético, la Ecuación 5. Relaciona la velocidad de rotación con la frecuencia eléctrica resultante. Dado que la potencia eléctrica es generada a 50 ó 60 Hz, el generador debe girar a una velocidad fija que depende del número de polos de la máquina.

Tabla 1. Velocidades de un generador síncrono (rpm)

n° polos	rpm (50Hz)	rpm (60Hz)
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720
12	500	600

$$n = \frac{f * 60}{pp}$$

Velocidad de un generador síncrono (rpm)

Campo Magnético.

El campo magnético es la región del espacio que rodea a una carga eléctrica en movimiento. En un determinado punto del espacio existe un campo magnético, siempre que al pasar por él una carga eléctrica con una velocidad dada, sufra la acción de una fuerza que no sea ni electrostática ni gravitatoria. La fuerza del campo magnético se mide en Gauss (G) o en Tesla (T). Un campo magnético es un campo de fuerza creado como consecuencia del movimiento de cargas eléctricas (flujo de la electricidad). Las líneas de flujo magnético decrecen a medida que el campo magnético que lo genera se aleja, es decir a mayor distancia de separación menor flujo magnético.

Inducción Magnética.

La inducción magnética (**B**) es un vector que representa el módulo, dirección y sentido del campo magnético en un punto. También denominado densidad de flujo. El campo magnético se representa por las líneas de fuerza o de inducción de manera que el número de líneas que atraviesan perpendicularmente una superficie de área unidad es igual a la inducción magnética en aquella región. El vector inducción es tangente, en cada punto, a las líneas del campo.

$$\mathbf{B} = u * H \left[\frac{\text{weber}}{\text{m}^2} \right]$$

Inducción magnética (Chapman, 2000)

Donde:

B: Inducción magnética $\frac{\text{weber}}{\text{m}^2}$.

u: Permeabilidad Magnética del material al cual se le está induciendo el magnetismo, para el caso del aire es $u = 4\pi * 10^{-7} \frac{\text{Henrios}}{\text{metros}}$.

H: Intensidad de Campo Magnético $\frac{\text{Amperes vuelta}}{\text{metro}}$.

La inducción magnética (**B**) se expresa en weber por metro cuadrado (Wb/m^2) que también se denomina Tesla (T) es decir, $1 \text{ T} = \text{Wb}/\text{m}^2$.

Intensidad de Campo Magnético.

La intensidad de campo magnético *H* es, de alguna forma, una medida del esfuerzo de una corriente por establecer un campo magnético.

Inducción Electromagnética.

Cuando en un circuito tiene lugar una variación de flujo magnético, se induce una fuerza electromotriz (fem).

Fuerza Electromotriz.

Los generadores eléctricos se distinguen por su fuerza electromotriz (fem, \mathcal{E}), que se determina como la energía que provee a la unidad de carga eléctrica para hacerla transitar desde puntos de menor potencial a puntos de mayor potencial. La fem se mide por la diferencia de potencial entre los bornes o terminales del generador, cuando se encuentra en circuito abierto, es decir, no hay existencia de corriente eléctrica. La Unidad de la fem es el voltio.

$$\mathcal{E} = Blv$$

Fem inducida en un conductor (Wildi, 2007)

Donde:

\mathcal{E} : Voltaje inducido en un conductor.

B : Inducción magnética.

l : Longitud del conductor inducido.

v : Velocidad rotacional del campo.

Siendo B , l y v mutuamente perpendiculares. La fem se mide en voltios cuando B se expresa en teslas (T) o Wb/m², l en (m) y v en (m/s).

Ley De Faraday – Lenz.

El valor de la fem inducida en una bobina es proporcional a la variación de flujo por unidad de tiempo y al número de espiras de la bobina. Cuando se produce una variación de flujo, se origina una fem en cada una de las espiras y, como están en serie, la fem inducida en la bobina será la suma de las inductancias en cada una de ellas. La fem media es:

$$e_{ind} = -N * \frac{d\varphi}{dt}$$

Ley de Faraday – Lenz (Chapman, 2000)

Donde:

e_{ind} : Voltaje inducido en la bobina.

N : Número de vueltas de alambre en la bobina.

φ : Flujo que circula en la bobina.

El signo menos de la ecuación 9. Es la expresión de la ley de Lenz, donde establece: La corriente inducida tiende a oponerse a la causa que la produce. Es decir, si en una bobina se produce un incremento del flujo que atraviesa, se origina una corriente inducida que circula en una dirección tal, que el campo magnético asociado se opone al campo original. Si la variación de flujo magnético es debido al movimiento de un conductor de un campo, la corriente inducida tendrá una dirección tal, que el campo magnético que ocasiona se opone al movimiento que originó su aparición.

3. MARCO METODOLÓGICO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR

Para elaborar el análisis e implementación de manera experimental del diseño del generador tipo axial con excitación mediante imanes permanentes, se empleó algunos métodos y técnicas de investigación, los cuales se mencionan a continuación:

Metodología.

Método Investigativo.

Se utiliza el método investigativo para la adquisición de información, relacionada a la tipología de generadores sincrónicos y aerogeneradores dentro del ámbito de energías renovables. Además la realización de estudios para el desarrollo y cálculo del diseño del generador trifásico de tipo axial con excitación de imanes permanentes.

Método Analítico.

Se genera y se concluye con análisis para el dimensionamiento del generador tipo axial con excitación de imanes permanentes para abastecer una carga resistiva, inductiva o capacitiva y realizar comparaciones, en caso de que el proyecto se emplee como aerogenerador, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, produciría el torque en el eje del rotor para la generación de energía.

Método Experimental.

Permite comparar las variables en cada uno de los acontecimientos planteados para la obtención de datos del proyecto de estudio en condiciones controladas, permitiendo estudiar exhaustivamente los determinados

parámetros del generador tipo axial, y poner de manifiesto los condicionantes de la máquina.

Técnicas de Investigación.

Técnica Documental.

Permite recolectar la información necesaria para poder validar los conceptos y sustentar los parámetros de generadores además de su desempeño, que han sido utilizados en el marco teórico del proyecto.

Técnica De Campo.

Se utiliza en el momento de realizar pruebas de funcionamiento de este proyecto, las pruebas realizadas y los datos que se obtuvieron, fueron efectuados en el Laboratorio de Motores y Generadores con equipos y elementos reales.

3.3. Parámetros del Generador de Imanes Permanentes.

Para el diseño y construcción del generador de imanes permanentes, en primer lugar se deberá parametrizar las características que tendrá el generador, esto es:

- Generador Trifásico Síncrono.
- Voltaje de fase 25 V \pm 2 Voltios.
- 4 Amperios de corriente de fase.
- Campo Magnético (1 – 1,3) Teslas.
- 60 Hz de frecuencia eléctrica. (600 rev/min)

Una vez parametrizado el generador, se procederá a realizar cálculos de diseño.

Cálculo del Número de Polos.

El número de polos que llevará el generador está directamente relacionado con la frecuencia eléctrica y la velocidad de giro del rotor.

$$pp = \frac{f * 60}{n}$$

Donde:

pp : Pares de polos (siempre par).

f : Frecuencia eléctrica, en Hz.

n : Velocidad mecánica del campo magnético en rev/min (velocidad de giro del rotor).

Al reemplazar los valores de parámetros anteriormente detallados en la ecuación 10. Da como resultado 6 pares de polos, es decir 12 Imanes con campo magnético permanente.

Cálculo del Número de Bobinas.

Para determinar el número de bobinas a utilizar en el generador se deberá calcular con la siguiente ecuación:

Cálculo del Número de Bobinas.

Para determinar el número de bobinas a utilizar en el generador se deberá calcular con la siguiente ecuación:

$$Nb = \frac{3}{4} * p$$

La armadura del estator será el conjunto que conlleve el grupo de bobinas, debido a que el diseño consta de un conjunto de nueve bobinas, la armadura está conformada por nueve núcleos los cuales alojara cada una de las mismas.

Además de las cabezas o contratapas de las bobinas, de igual forma serán nueve para cada una de las nueve bobinas y finalmente la placa principal de la armadura albergará el conjunto de todas las piezas anteriormente mencionadas formando un solo conjunto.

Las cabezas de las bobinas son 9 piezas individuales que fueron fabricadas de un material acrílico de 1/8 plg.

De manera ideal, estas piezas deberían ser fabricadas de algún material ferromagnético, y de ésta forma atraer mayor líneas de campo magnético de cada uno de los imanes de neodimio y transmitirlo al núcleo de la bobina, pero para implementación académica no fue necesaria mayor captación de campo por lo que se las realizó de material acrílico.

4.1 Consideraciones Generales del Diseño.

El diseño del sistema de generación se desarrolló considerando sus condiciones de uso, operación y aplicaciones, este sistema sería usado para impulsar por medio mecánico a un generador de energía eléctrica tipo alternador de manera portable y modular. Por ello se optó por usar tres módulos para la generación de energía eléctrica limpia.

El diseño de este debía incluir: una etapa impulsora para un resorte torsional en forma de espiral, un módulo de transmisión mecánica (engranes rectos) acoplado a un generador modular tipo alternador, formado por 3 secciones. El procedimiento de operación es; el hacer girar al resorte torsional en forma de espiral hasta que se enrolle a su máxima capacidad, para que por medio de la relación de engranes (en forma de elevador de revoluciones) se pueda hacer girar a los módulos de generación interconectados apropiadamente, generando una corriente eléctrica producida por la inducción magnética en su interior y se recolecte a través de unos bordes de conexión de salida.

Para poder cumplir con uno de los objetivos de este trabajo de investigación, además de las etapas ya mencionadas, el sistema debe de contar con manivelas para poder enrollar al resorte torsional cada vez que este se requiera, con la finalidad de utilizarlo en cualquier momento.

Ahora bien, para el sistema propuesto se tuvieron que considerar ciertos aspectos como:

- ✓ No deben de hacerse modificaciones en las dimensiones del resorte e imanes establecidos o estipulados.
- ✓ El sistema estará conformados por tres secciones: módulo motriz, de relación de engranes y por último de generación eléctrica.

- ✓ Los elementos a usar deben de ser fáciles de conseguir, para poder sustituirlos rápidamente en caso de ser necesario.
- ✓ El sistema de generación eléctrica debe de ser modular e intercambiable.
- ✓ Los módulos de generación internamente serán de flujo axial con imanes permanentes, teniendo en su configuración 6 imanes y 6 bobinas circulares.
- ✓ En su interior de los módulos las bobinas pueden ser intercambiables.
- ✓ El número de módulos estará limitado a 6 de ellos por el torque mínimo requerido para hacerlos girar.
- ✓ La configuración estará dado por la sección terminal de las conexiones para cambiarla de manera serial, paralela o mixta.
- ✓ En caso de que el sistema ya no este entregando la suficiente corriente y voltaje, el resorte torsional se deberá enrollar para volver a retomar esos niveles.

Una vez que se consiguieron los materiales a utilizar en el sistema, surgieron aspectos importantes a considerar que a continuación se detallan.

- EL resorte de torsión conseguido da la pauta al tamaño de ancho real de sistema.
- Los imanes a utilizar serán como mínimo de grado 42, y el tamaño tanto de alto como de ancho, estará sujeto al tipo de resorte que se consiga para la operación del sistema.
- Debido al manejo de PLA como alternativa de fabricación, los componentes del sistema, deben de ser robustos para soportar las condiciones de operación (vibraciones e impactos)
- Uno de los aspectos críticos a considerar es la temperatura, no mayor a 70 grados, por posibles deformaciones de materiales o componentes

impresos en PLA, así como en el rango susceptible para la pérdida de magnetización de los imanes de neodimio.

- El sistema de generación eléctrica debe ser fácilmente desmontable y configurable en caso de que así se requiera.

De esta forma, un diseño preliminar del sistema de generación eléctrica, se muestra en los siguientes diagramas esquemáticos, que se realizaron usando la herramienta de diseño SolidWorks®.

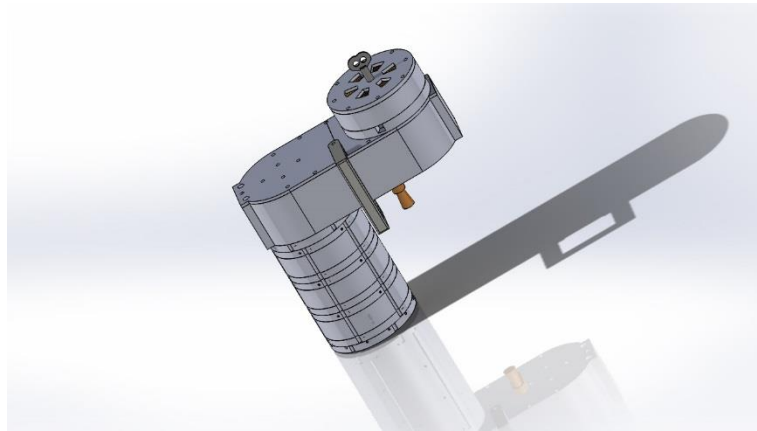


Figura 4.1 Sistema de generación eléctrica portable de flujo Axial modular propuesto.

4.2 COMPONENTES DEL SISTEMA MOTRIZ

En esta sección se detallan los componentes que conforman el sistema motriz, atendiendo la consideración general antes planteada. Adicional a ello se describe su función dentro del sistema de generación, sus características técnicas y los criterios de selección tomados en cuenta (Tapa, Base, Caja, Resorte Torsional, Extensión y Cople).

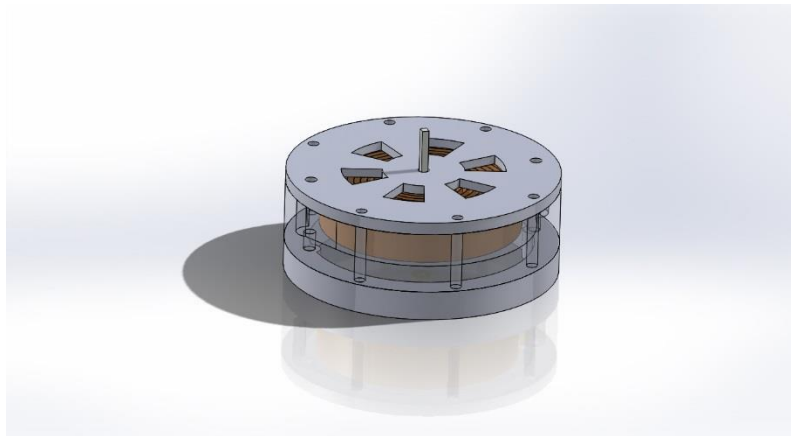


Figura 4.2 Caja motriz del sistema de generación.

4.2.1 Caja Motriz.

Este generador es impulsado principalmente por un resorte torsional de 16 vueltas de espesor de 0.1 mm y con una altura de 19 mm, de forma laminar de acero templado, como se muestra en la siguiente figura 4.3, tomando como consideración que la torsión pierde su efecto después de 70 mm.

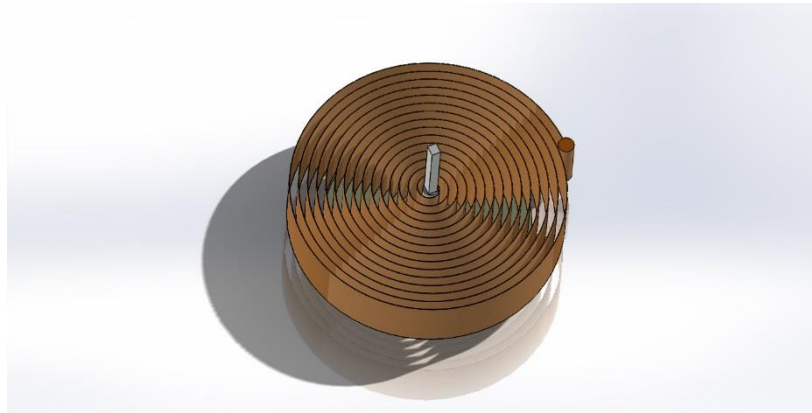


Figura 4.2 Caja motriz del sistema de generación.

La caja cubre de manera parcial el resorte torsional en espiral. Las dimensiones con las que cuenta son: diámetro exterior de 120 mm e interior de 80 mm, y una altura de 22 mm, debido al espesor de la base de la caja.

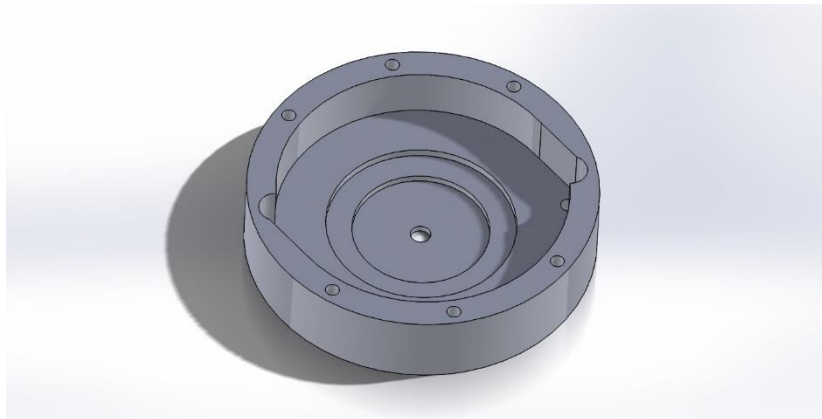


Figura 4.3 Caja del resorte torsional en espiral.

La tapa del sistema motriz cuenta con cortes o ventanas con la finalidad de visualizar en qué estado se encuentra el resorte torsional en espiral al momento de su operación. Al mismo tiempo este tipo de ranuras brinda una dureza a la tapa con un espesor de 4 mm. En la siguiente figura 4.3 se muestra la distribución de las ventanas así como el centro de 5.8 mm de diámetro.

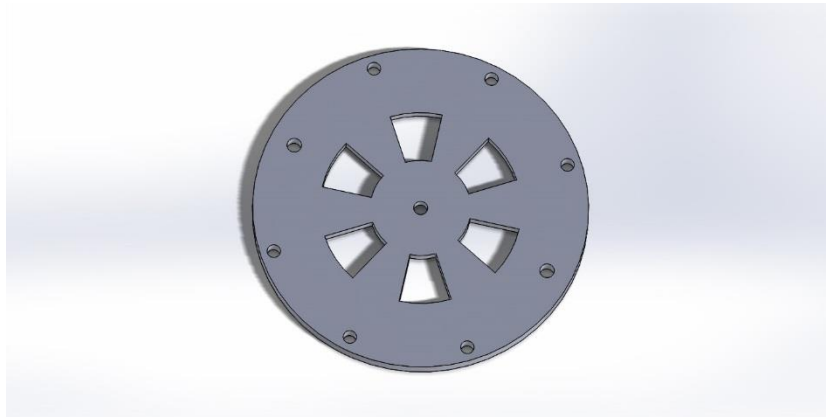


Figura 4.4 Tapa del sistema motriz.

La extensión y el adaptador (tipo cople), nos permite comunicar la caja motriz con la transmisión de engranes del sistema, esto se realiza por medio del eje acoplado al resorte torsional en espiral. En la siguiente figura 4.5 se muestra la extensión con espesor de 12 mm en forma de tipo anillo del sistema con un corte lateral, el cual tiene como propósito de hacer el sistema integral modular, adicionalmente a ello se muestra el cople sujetado al eje del resorte.

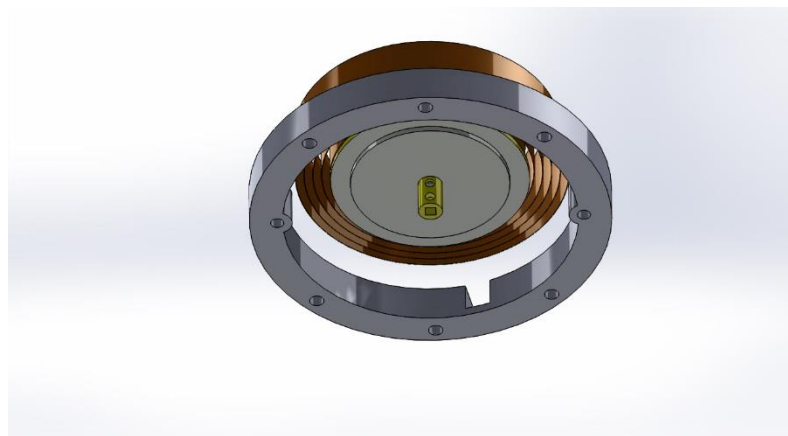


Figura 4.4 Extensión y cople de la caja motriz.

4.2.2 Tren de transmisión de engranes.

A continuación se describen los componentes que conforman la sección de tren de engranes acoplada a la caja motriz y la generación eléctrica.

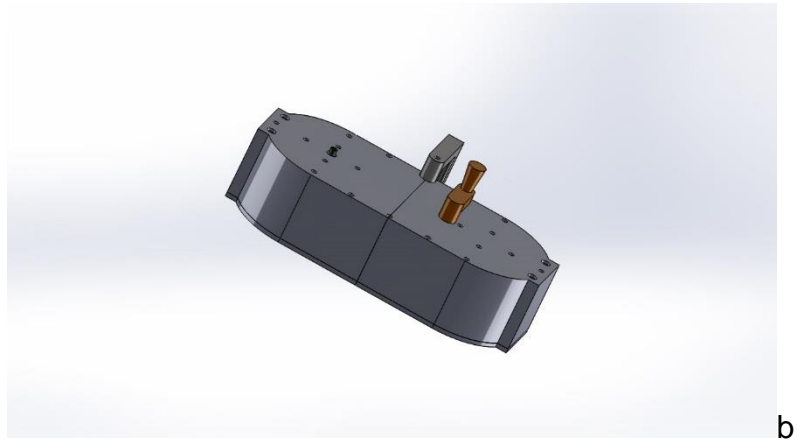


Figura 4.5 Caja de engranes

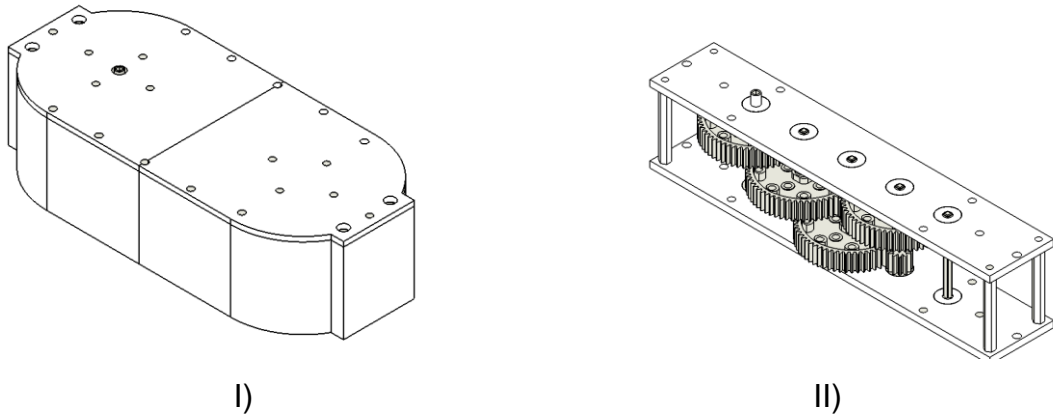
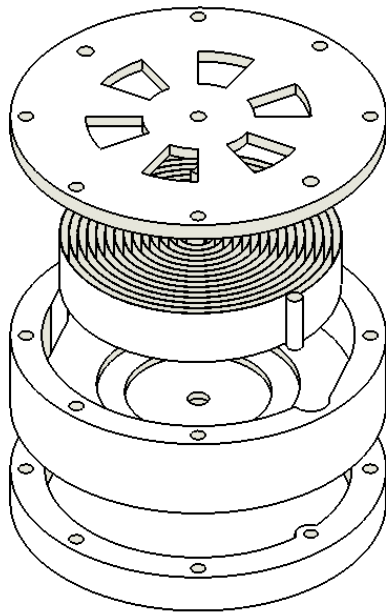
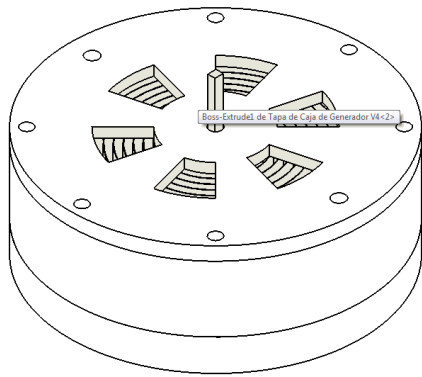


Fig. 2 Elementos del sistema de transmisión (elevación 1: 256), I) Vista desde la carcasa general y II) Vista del tren de engranes interior ambos Isométricos.



I)

II)

Fig. 3 Elementos del sistema motriz (Resorte helicoidal torsional), I) Vista desde la carcasa y II) Vista de la distribución de la caja impulsora o motriz ambos Isométricos.

Módulo de Generación eléctrica

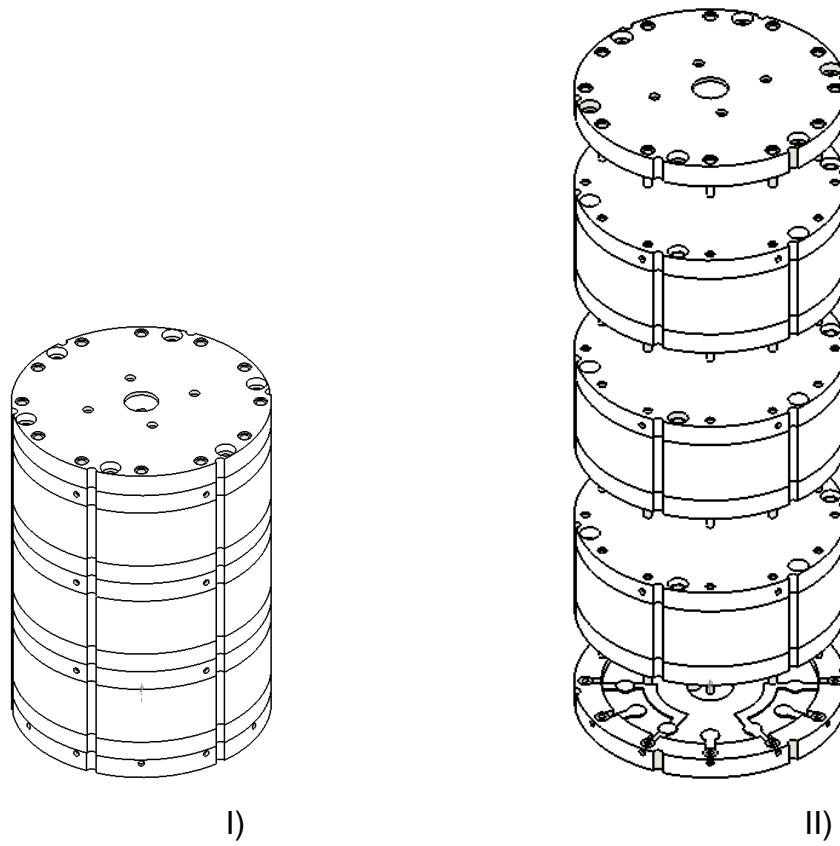


Fig. 4 Elementos del sistema de generación formado por 3 módulos de generación eléctrica, I) Vista desde la carcasa y II) Vista por secciones en múltiples capas ambos Isométricos.

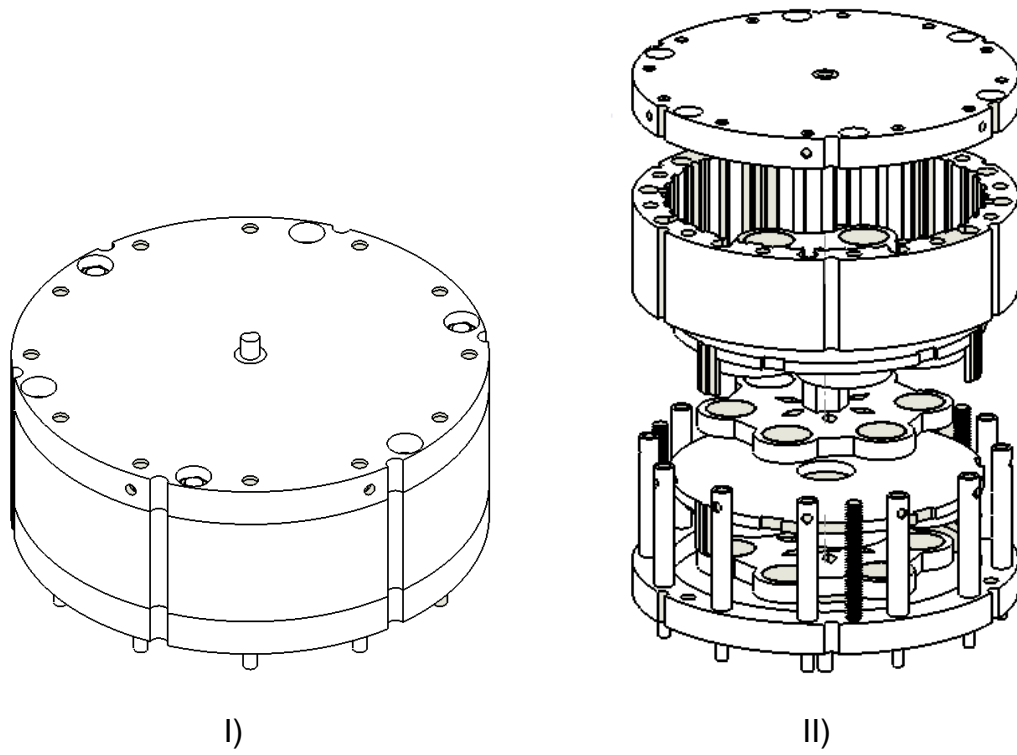


Fig. 5 Se muestra los componentes que constituye el módulo de generación eléctrica, I) Vista desde la carcasa y II) Vista por secciones en múltiples capaz un Isométrico y la segunda dimétrico.

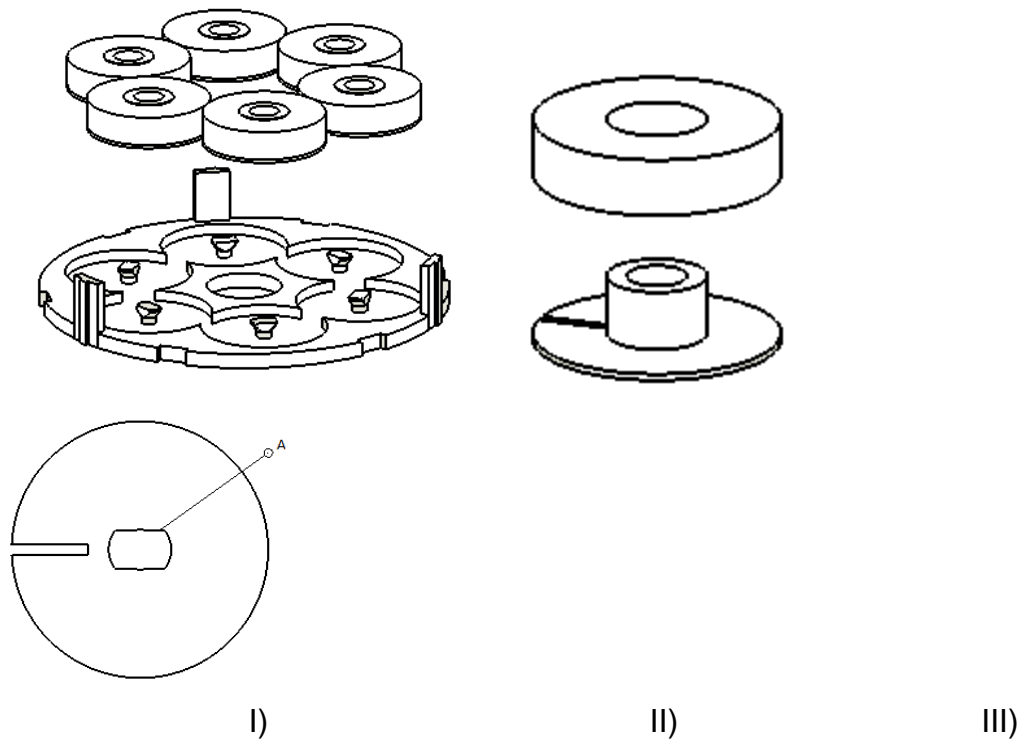


Fig. 6 Se muestra los componentes que constituye el módulo de bobinas, I) Distribución de las bobinas, II) Secciones de base y bobina y III) Vista desde la parte inferior.

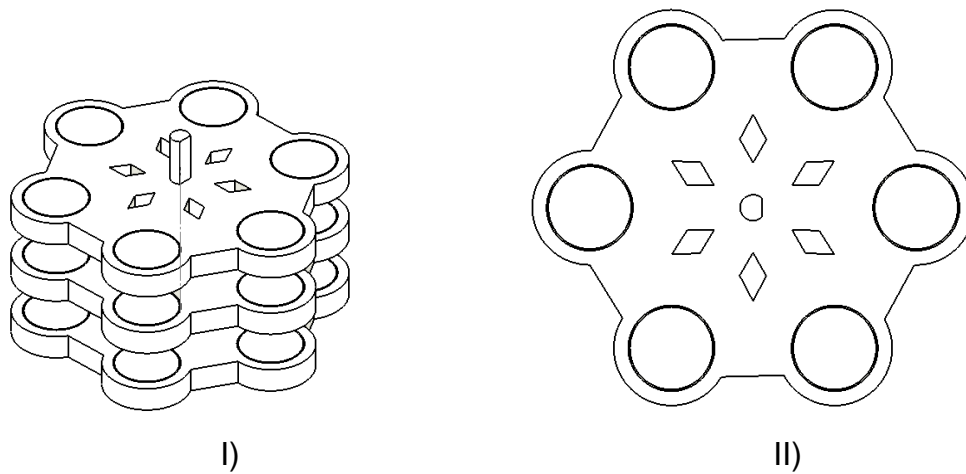


Fig. 7 Se muestra la distribución de los discos de imanes, I) Vista isométrica 3 disco en un eje de 4.7 mm, II) Vista desde la parte superior la distribución a 60° cada uno.

RESULTADOS

Tomando como base lo anterior, (En ésta sección se describe detalladamente la invención, haciendo mención del problema técnico que se presenta, la solución que presenta su invención y los efectos ventajosos, en caso de que los hubiera).

El desarrollo de la presente invención está basado en la generación de energía limpia por medio de un impulso mecánico generado por un resorte helicoidal torsional de lámina en forma de espiral.

La solución que se plantea en la presente invención es -ante la ausencia de la factibilidad del suministro de energía eléctrica- el uso de un alternador de flujo axial configurable y modular para los requerimientos eléctricos de los diferentes dispositivos, sin depender de fuerzas naturales externas, químicas o de combustible; teniendo como ventajas técnicas la portabilidad completa del sistema, la modularidad, la configuración y adaptación de los diferentes módulos de generación eléctrica para el incremento o decremento de demanda de la energía requerida mínima para los dispositivos móviles eléctricos o electrónicos.

MEJOR MÉTODO PARA LLEVAR A CABO LA INVENCION

(Aquí se describe el método paso a paso de la mejor manera de desarrollar la invención).

El presente ejemplo es ilustrativo y no limitativo, ya que un técnico en la materia entenderá que hay variantes que caen dentro del alcance de protección de la presente invención.

No obstante que la anterior descripción se realizó tomando en cuenta las modalidades preferidas del invento, deberá tenerse en cuenta por aquellos expertos en el ramo, que cualquier modificación de forma y detalle estará comprendido dentro del espíritu y el alcance del presente invento. Los términos en los que se ha redactado esta memoria, deberán ser tomados siempre en sentido amplio y no limitativo. Los materiales, forma y descripción de los elementos, serán susceptibles de variación siempre y cuando ello no suponga una alteración de la característica esencial del modelo.

Para llegar al resultado de la solución que se presenta estuvo compuesta por elementos de modelos prototipos de experimentación basados en un marco teórico de múltiples desarrollos y aplicaciones, fallidas y exitosas tales como artículos publicados en revistas especializadas, tesis doctorales, patentes, etc.

El experimentar con las diferentes opciones para la generación de energía, se encontró que a través de módulos independientes (ver fig. 4) daba la ventaja sobre las otras soluciones, el suministro de energía variable y necesaria para equipos de baja potencia. Con la combinación y configuración de los de módulos, y sus bobinas internas como se muestra en la figura 6 de manera serial, paralela o mixta (usando una terminal de conexiones ver figura 3 inciso II), se puede variar o alterar la corriente y voltaje del generador que se presenta.

El tiempo de operación de la generación es entre 5 a 22 minutos dependiendo del número de módulos conectados así como la relación de transmisión utilizada (1:256, 1:343, 1:64, 1:196, 1:69) es periódica, pero no infinito, por lo que se requiere que de manera manual se tiene que enrollar nuevamente el muelle para que opere nuevamente el sistema.

A mayor demanda requerida, el sistema de generación modular también se acrecienta.

Se pueden generar diferentes tipos de conectores terminales para aplicaciones como lámparas, cargadores de baterías, conectores de dispositivos móviles, etc.

Debido a su portabilidad del sistema, no depende de energías naturales como sol, agua o aire; sin embargo, los módulos de generación eléctrica son fácilmente adaptables a otras aplicaciones como en minigenerador y miniturbinas en otras aplicaciones.

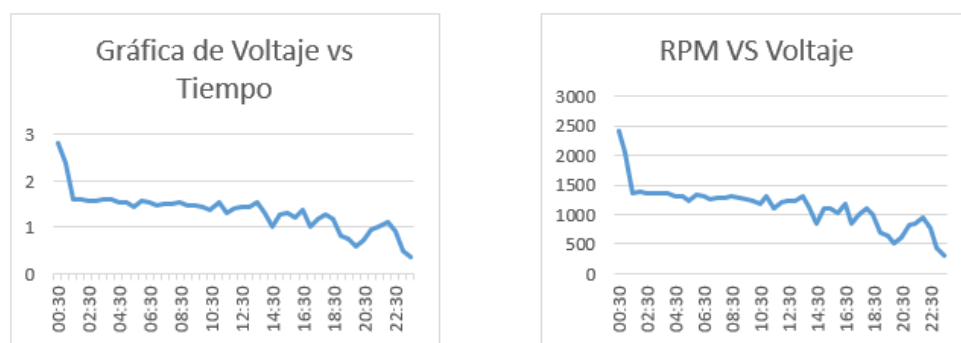
La configuración puede ser tan variante como lo desee el usuario debido a la versatilidad que tiene tanto en el acomodo de módulos, relación de transmisión, su configuración de conexión entre bobinas e imanes internos.

En el caso de los soportes de las bobinas (ver figura 6, I) para el montaje se cuenta con un conector tipo macho, con la finalidad de mantener firme la base y la bobina a través de un conector tipo hembra (ver figura 6 III A), esto se realiza girando 90°, y con esta idea se puede intercambiar dichas bobinas, de

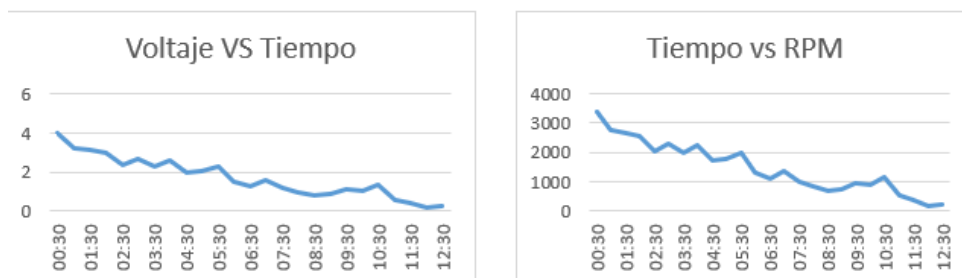
menor y mayor número de espiras en ella y por consecuencia selecciona el voltaje y corriente deseada.

Para el caso del rotor de imanes permanentes (ver figura 7 I), se distribuyeron de manera equitativamente 6 de estos (a 60°), dejando como separación el diámetro del imán a utilizar, de los cuales solo se tomaron 3 medidas calves por sus dimensiones como lo son: 15 mm, 12 mm y 10 mm, con un espesor de 5 mm en cada uno de ellos y con una altura de separación de 10 mm entre discos (ver figura 7, II).

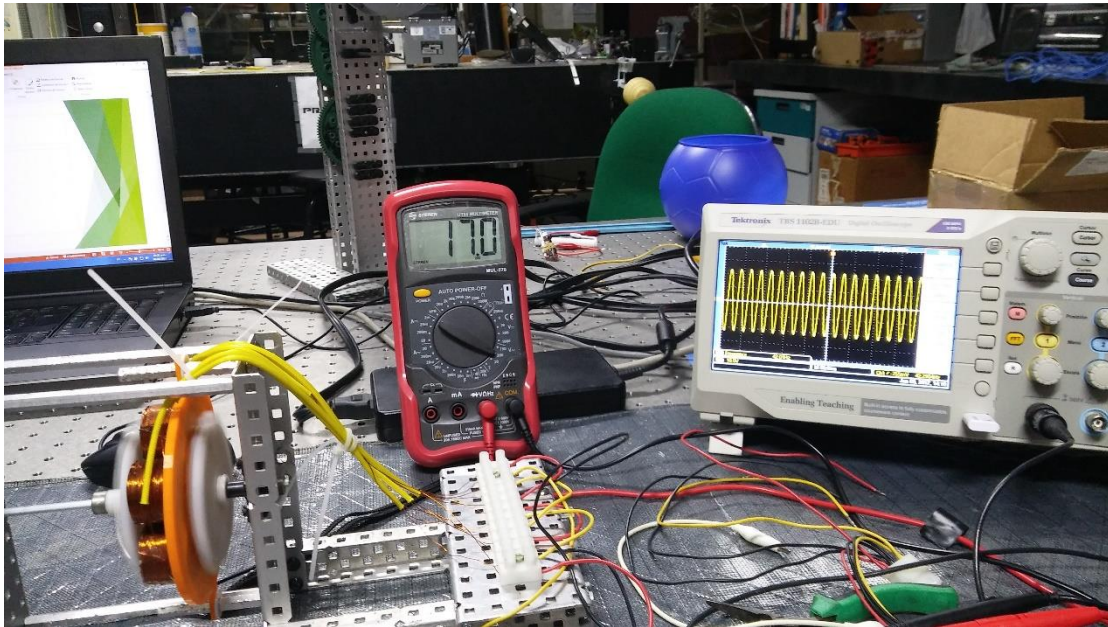
En pruebas experimentales se observó que depende mucho la producción de energía eléctrica, en el comportamiento que tiene el resorte torsional al desenrollarse, en las siguientes gráficas se muestra esta situación dando un tiempo variable con carga (23 min) y con carga (10 min).



Gráfica 1 Con carga.



Gráficas 2 Sin carga



Habiendo descrito suficientemente mi invención, considero como una novedad y por lo tanto reclamo como de mi exclusiva propiedad, lo contenido en las siguientes cláusulas:

1. Un dispositivo de generación eléctrica portable, modular y configurable conformado por un elemento mecánico impulsor (resorte helicoidal torsional), tren de engranaje lineal como elevador de revoluciones (engranes rectos acoplados) y un módulo adaptable de generación de flujo axial con núcleo de aire usando imanes permanentes.
2. Se caracteriza por la capacidad de generar diferentes tipos de corriente y voltaje para la demanda requerida de los diferentes tipos de dispositivos eléctricos y electrónicos móviles.
3. El módulo adaptable de generación de flujo axial, es configurable para la demanda de voltaje o corriente, así como el producir múltiples fases debido a la configuración interna que se pueda manejar.
4. Módulos elevación de revoluciones intercambiables.

5. Módulo de generación de flujo axial eléctrica usando imanes permanentes circulares.
6. Una tapa de conexiones terminales, para manejar 3 tipos de configuraciones: serial, paralelo y mixto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fernando Andrés López, Generador de energía eléctrica mediante un resorte en espiral, España, 2012.
- Rostislav Huzlik, Cestmir Ondrusek, Design of axial coreless permanent magnet generator for small hydro power plant.
- Habib Asiful, Hagng Seng Che, Design and Simulation of Axial Flux Permanent Magnet Generator for Residential Pico-Hydro Power Generation, Kuala Lumpur, Malaysia, 2018.
- D. Daniel Fernández Caballero, Modelización generalizada de resortes espirales a torsión. Aplicación en almacenamiento de energía, Madrid, España, 2011.
- Casero Briz Alejandro, Caracterización de generadores eléctricos de flujo axial e imanes permanentes en banco de ensayos dinamométrico, Valladolid, España, 2017.
- M.W. Ranney, Inhibitors—Manufacture and Technology, Noyes Data Corp, New Jersey, 1976.

ANEXOS

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

(En ésta parte se hace la descripción de que es cada figura y sus componentes, en caso de que la invención necesite de dibujos para ser explicada).

La figura 1 muestra las diferentes vistas del sistema correspondiente al generador portable con 3 módulos, donde:

- a) Tren de engranajes.
- b) Carcaza.
- c) Acoplamiento de caja motriz.
- d) Tapa de carcaza general.
- e) Caja motriz.
- f) Acoplamiento de los módulos de generación.
- g) Módulos de generación.
- h) Terminal de Conexión.
- i) Agarradera.
- j) Llave para cuerda.
- k) Manivela.
- l) Muelle Torsional.
- m) Tapa de caja Motriz.
- n) Orificios para fijación.
- o) Bornera de conexión.

La figura 2 nos muestra la transmisión de engranes rectos como elevador de rpm de 1:256.

La figura 3 nos indica la caja motriz del sistema, así como los componentes que constituyen a este módulo como el resorte helicoidal torsional (16 vueltas).

La figura 4 se observa los componentes que conforman los módulos de generación que contiene el alternador, modular, adaptable y configurable (3 módulos).

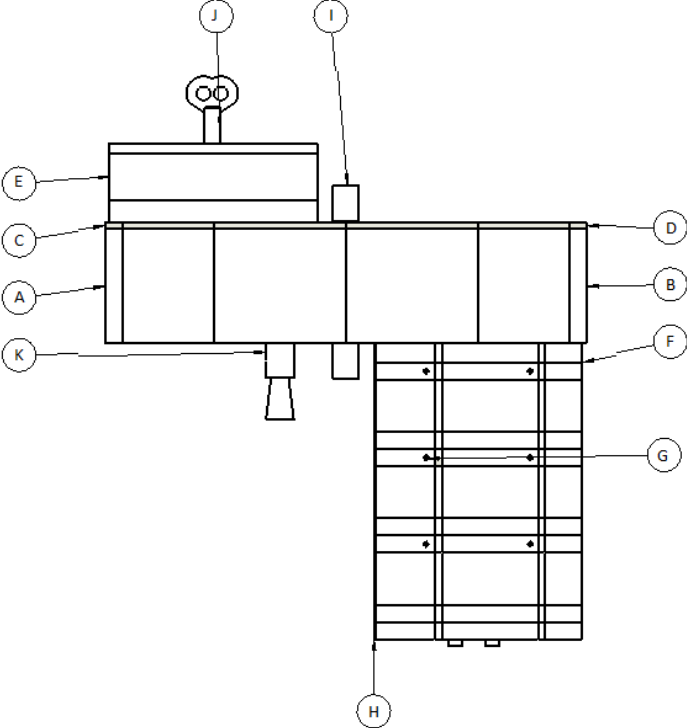
La figura 5 se muestran los componentes que constituye al módulo de generación eléctrica, como: Arreglo de imanes (con imanes permanentes circulares de 10 mm X 5 mm, 12 mm X 5 mm y 15 mm X 5 mm N52), soporte de bobinas de alambre cobre (calibre AWG, 27, 28, 29, 30 y 31), carcasa para defasar la señal sinusoidal cada 10° hasta 50° por devanado, postes de conducción eléctrica y tornillos de sujeción.

La figura 6 nos detalla los componentes del módulo de bobinas, como la distribución de las bobinas (altura de 7.2 mm y espesor de 17.5 mm), bobina (en promedio de 560 espiras) y la vista inferior de la base donde se muestra el conector hembra.

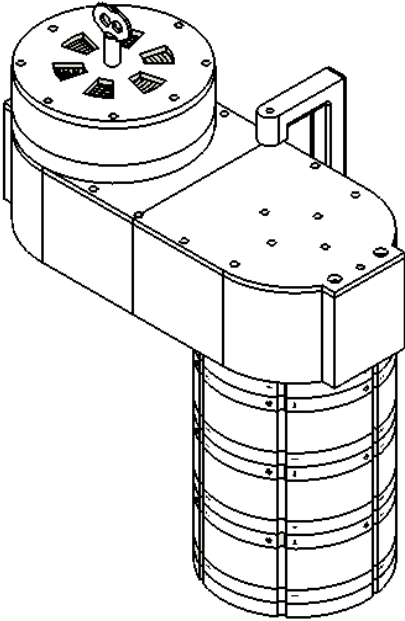
La figura 7 muestra la distribución de los 3 discos con 6 imanes cada uno, así como su distribución a 60° vista desde la parte de arriba.

La figura 8 describe las medidas actuales que tiene el sistema de generación eléctrica vistas desde la parte superior, lateral e inferior.

Anexo A)



l)



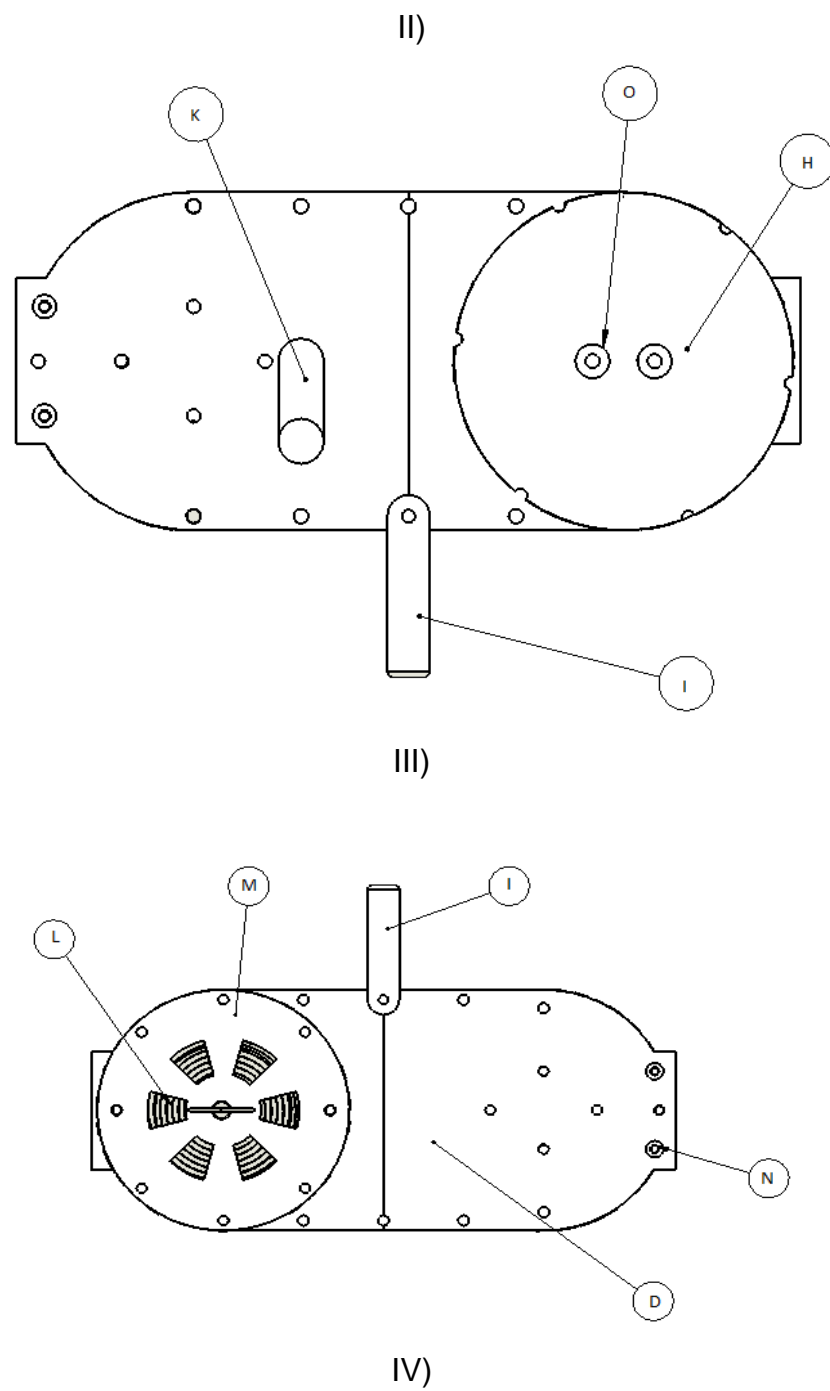


Figura A1 Elementos del sistema de generación eléctrica modular (Portable),
 I) Vista lateral, II) Vista superior, III) Vista Inferior y IV) Vista Isométrica.

Anexo B

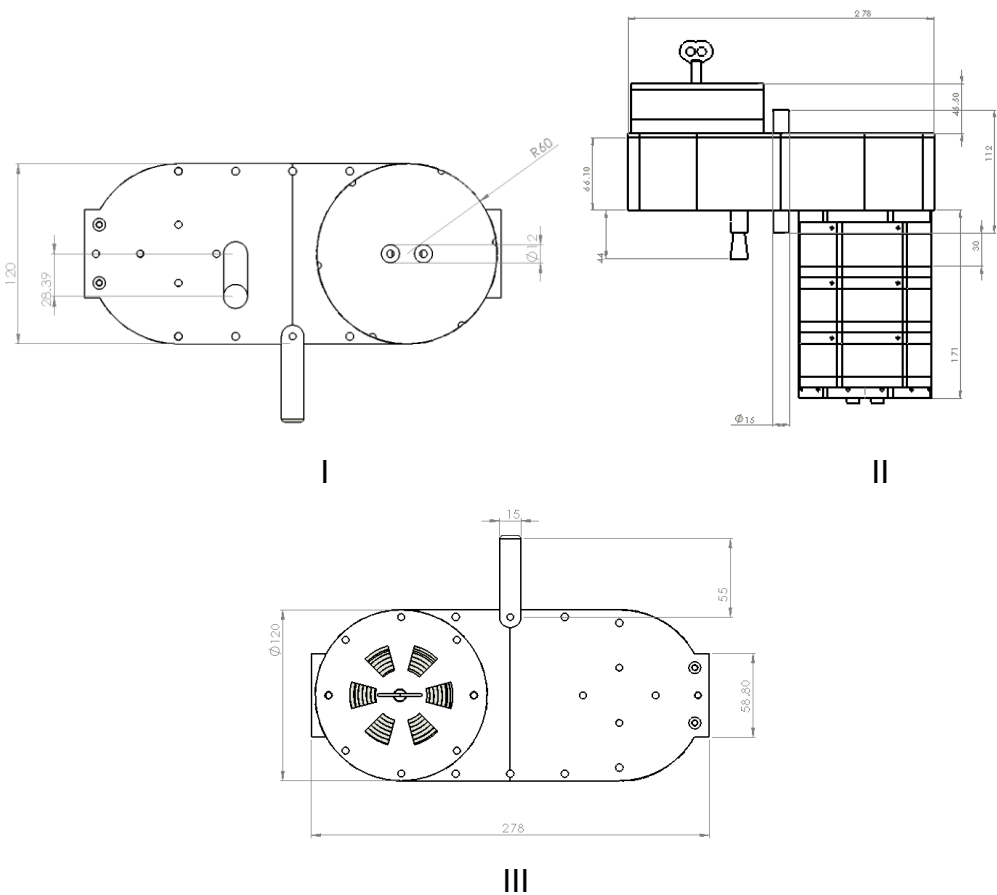


Figura B1 Se muestra las medidas actuales del sistema de generación vistas desde la parte superior, lateral e inferior.



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS

Jefatura de Posgrado en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Cuernavaca, Morelos, 17 de mayo de 2019.

DR. ROSENBERG JAVIER ROMERO DOMÍNGUEZ
COORDINADOR DE POSGRADO
EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
P R E S E N T E

Atendiendo a la solicitud para emitir DICTAMEN sobre la revisión de la tesis titulada "CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO MODULAR DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA LIMPIA, IMPULSADO POR ENERGÍA POTENCIAL ELÁSTICA" que presenta el alumno HÉCTOR MIGUEL BUENABAD ARIAS, para obtener el título de DOCTORADO EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS con opción terminal en TECNOLOGÍA ELÉCTRICA.

Nos permitimos informarle que nuestro voto es:

NOMBRE	DICTAMEN	FIRMA
DR. PEDRO ANTONIO MÁRQUEZ AGUILAR	Aprobado	[Firma]
DRA. SVITLANA KOSHOVA	Aprobado	[Firma]
DRA. LAURA LILIA CASTRO GÓMEZ	Aprobado	[Firma]
DR. ALLAN RAINIER MEJÍA ARANDA	Aprobado	[Firma]
DR. HÉCTOR CERECEDO NÚÑEZ	Aprobado	[Firma]
DR. J JESÚS ESCOBEDO ALATORRE	Aprobado	[Firma]
DR. MIGUEL ÁNGEL BASURTO PENSADO	Aprobado	[Firma]

PLAZO PARA LA REVISIÓN 20 DÍAS HÁBILES (A PARTIR DE LA FECHA DE RECEPCIÓN DEL DOCUMENTO)

NOTA. POR CUESTION DE REGLAMENTACIÓN LE SOLICITAMOS NO EXCEDER EL PLAZO SEÑALADO, DE LO CONTRARIO LE AGRADECEMOS SU ATENCIÓN Y NUESTRA INVITACION SERÁ CANCELADA.