

## **Diseño, simulación y análisis de un prototipo generador de energía continua accionado por energías renovables**

## **Design, simulation and analysis of a prototype generator of continuous energy powered by renewable energies**

**Cristhian Guillermo Alturo-Aldana<sup>1</sup>, Omar Leonardo Fuentes-Ramos<sup>2</sup>, Hoffman Ramírez-Guio<sup>3</sup>**

**Resumen:** En este artículo se expondrá el diseño y posterior ensamble de energías renovables para así incrementar la producción de flujo eléctrico. Se diseñará un mecanismo tipo volante inercial, para que sea el encargado de sumar las energías alternativas. Este sistema magnificará la eficiencia de los implementos puesto que se utilizará por los menos de 6 a 12 horas de energía nominal.

**Palabras clave:** Energía eólica, Energía solar, Prototipos, Recursos energéticos renovables.

**Abstract:** In this article, the design and subsequent assembly of renewable energies will be presented in order to increase the production of electric flow. A flywheel type mechanism will be designed to be in charge of adding the alternative energies. This system will magnify the efficiency of the implements since it will use at least 6 to 12 hours of nominal energy.

**Key words:** Wind energy, Solar energy, Prototypes, Renewable energy resources.

---

<sup>1</sup> Ingeniero en Mecatrónica, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia.

<sup>2</sup> Ingeniero en Mecatrónica, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia.

<sup>3</sup> Ingeniero en Mecatrónica, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0265-0109>

## **1. Introducción**

En los últimos años se han podido evidenciar, cómo las cooperaciones internacionales y los estudios a niveles locales han demostrado el desarrollo en América latina y en el caribe, enfocando su rumbo hacia la eficiencia energética que tienen lugar en distintos procesos industriales, así en la medida en que se logren mejorar los procesos, con el fin de obtener un mayor beneficio a partir de materias primas y se reduzcan los costos, no sólo económicos sino también ambientales. Al suceder todo esto, se incurre en mejoras significativas que interviene positivamente en los estándares de rendimiento.

En la mayoría de los países de América Latina es fundamental enfatizar su mirada a la incorporación de tecnologías que les permitan una mayor eficiencia energética y reducción en el impacto ambiental, todo esto no solo desde el punto de vista de generación, sino también desde la perspectiva en la mejora de los procesos industriales; de esta manera dicha generación de energía será a través de una fuente de energía alternativa, exhibiendo la tecnología que llevará a un cambio favorable en la misma. Todo esto sin dejar a un lado los beneficios anteriormente mencionados [3].

## **2. Objetivos**

Acoplar dos sistemas de energías sustentables para la iluminación de un recinto cerrado, usando un prototipo generador de fluido eléctrico continuo, accionado por energías renovables.

- Identificar el tipo de turbina y hélice apropiada para accionar un movimiento repetitivo, a partir del modelado de los estudios existentes de una zona donde se inhalará el prototipo para que garantice un mayor torque en vez de velocidad por medio de un flujo de aire, una vez obtenido el

movimiento repetitivo lo acoplaremos al multiplicador tipo VOLANTE INERCIAL con un contrapeso para aprovechar la fuerza de gravedad aumentando tanto velocidad y torque necesarios.

- Establecer un montaje que permita instala un panel solar, con su respectiva batería según sea el estudio para esa región en condiciones de radiaciones solares; con el fin de alimentar un motor para mantener el movimiento continuo del multiplicador de energías VOLANTE INERCIAL.
- Proponer el sistema más adecuado de almacenamiento de energía. Una vez obtenida esa energía, se deberá suministrar electricidad que alimentará la fuente de iluminación del recinto cerrado.

### **3. Diseño del volante inercial**

En el presente diseño se expondrá principalmente el simulación y análisis de engranajes rectos para así obtener el sumador mecánico o volante inercial, así como se deberá partir de los trenes de engranajes existentes en él.

Se aplicarán criterios de diseño, también mencionaremos velocidades y torques existentes en el proceso, tanto iniciales como finales para el prototipo requerido [5].

#### **3.1.Arquitectura**

Se concibe en primera instancia como una idea estructural, en el planteamiento.

¿Por qué NO, diseñar un equipo que me permita acondicionar la energía eólica y energía solar en una misma máquina para mejorar la eficiencia en producción de energía?

En primera instancia se recurre a plantear un bosquejo, una vez ya centrada la idea de un volante inercial, se procede al diseño teniendo en cuenta que será un prototipo a escala.

El sumador o volante inercial, se describe como un acumulador de energía mecánica, que contiene una serie de cajas reductoras y unos engranajes capaces de hacer relación en torque y velocidad, en este capítulo se expresa el diseño y configuración que se ha desarrollado conociendo la teoría del diseño de engranajes y el análisis de cargas máximas que deberá soportar el conjunto como tal. El sumador es la parte de diseño mecánico desarrollado en Solid Works.

Se establece que los dientes deben ser RECTOS, puesto que son capaces de transferir pequeñas velocidades a grandes velocidades y que son fácilmente asequibles en el mercado. Se opta por los engranes rectos por:

- Sus velocidades son ampliamente variables, es decir, transmiten tanto pequeñas como grandes velocidades.
- Uno de los defectos es la intensidad de ruido que desempeñan en el trascurso del proceso. Este ruido no afecta en gran importancia el funcionamiento de la máquina.
- Son fácilmente reemplazables.
- Tienen muy poco desgaste.
- Manejan un torque estándar o NO tan grande.
- Su fabricación es sencilla y eficiente (no es necesario una fresa con alta precisión).

Como tal los engranes son los encargados de que el sistema no posea deslizamiento, es aquí en el que los engranes toman un grado de importancia. En realidad, desaparece, pero esto no es así, puesto que se sustituye sobre los trazos.

### 3.2.Cálculos para el Diseño del Planeta

$$D_p = M N \quad (1)$$

$$N = D_p = 48$$

$$M = 24$$

$$N = 24$$

De =Diámetro exterior

$$D_e = M (N + 2) \quad (2)$$

$$D_e = 2(24 + 2)$$

$$D_e = 52\text{mm}$$

Se procede a calcular el Di =Diámetro interior:

$$D_i = D_p - (2M)(1.167) \quad (3)$$

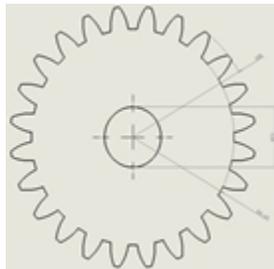
$$D_i = 48 - 4.66 = 43.332\text{mm} \quad h = \text{altura total del diente}$$

$$h = 2.167M \quad (4)$$

$$h = 4.334$$

l =altura del diente

Figura 1. Diseño del planeta



Fuente: elaboración propia.

$$l = 1.167M \quad (5)$$

$$l = 2.334$$

$$L = M = 2 \quad (6)$$

Obteniendo un diseño resultante del planeta, el cual se puede apreciar en la siguiente imagen utilizando el software anteriormente mencionado (SOLIDWORKS):

Ahora se procede a diseñar los planetas, de tal forma que se cilindren todos en un solo bloque y luego se mecanizan para separarlos, de los cuales serán 3 unidades.

Como esta anteriormente mencionado, el módulo guía o del planeta es  $M=2$  por lo que el satélite deberá tener el mismo modulo para conservar la relación de transmisión de velocidades y torques.

### 3.3.Cálculos para el Diseño de los satélites

Se opera de la misma forma con los que se hizo el planeta, es decir:

$D_p$  =Diámetro primitivo.

$M$  =Modulo.

$N$  =Numero de dientes.

Se establece por criterio de diseño que:

$D_p$  =Diámetro Primitivo

$D_p = 144\text{mm}$

$M = 2$

De la Ecuación de  $D_p$  Diámetro primitivo, hallamos  $N$

$N = D_p = 144$

$N = 72$

Del diámetro exterior:

$D_e = 2(72 + 2)$

$D_e = 52\text{mm}$

Se procede a calcular el Diámetro interior:

$D_i = 144 - 4.66$

$$D_i = 139.332\text{mm}$$

$h$  = altura total del diente

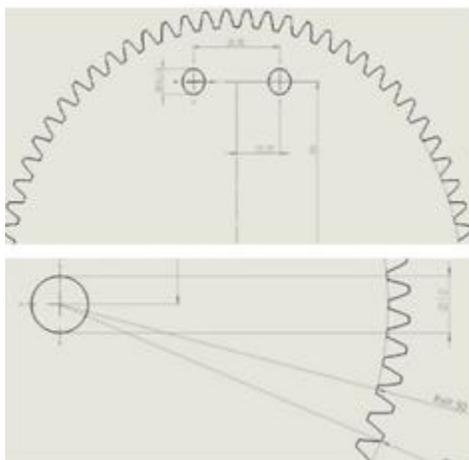
$$h = 4.334$$

$l$  altura del diente

$$l = 2.334$$

$$L = M = 2$$

Figura 2. Diseño de los Satélites con sus respectivos orificios para los contrapesos.



Fuente: elaboración propia.

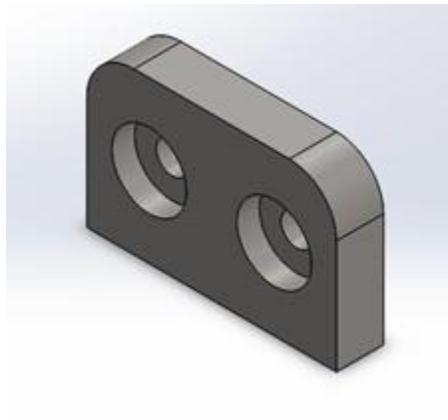
Arrojando una masa determinada simulada por el software SOLID WORKS de Masa planetas 518.219g.

### 3.4. Contrapeso

Como se puede notar, se dejan unos orificios al satélite para ubicar el contrapeso, el cual va a ser el encargado de aumentar el suministro de energía cinética a cada satélite al momento de girar.

A este diseño se le realiza una estructura que está directamente relacionada a la energía gravitacional, el cual es un contrapeso que abarca una aproximación de 0 grados a 120 grados total de la circunferencia del satélite, para el cual en primera instancia se determina un peso específico, pues este peso es determinado con solo las dimensiones equivalentes al prototipo. Es decir; El contrapeso se halla de acuerdo con las dimensiones en las cuales es posible insertar el dispositivo teniendo en cuenta los espacios equivalentes.

Figura 3. Diseño del Contra peso del satélite



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con las dimensiones y estructura de un prototipo se opta por establecer una medida determinada para el contrapeso, para el cual el software de simulación SOLIDWORKS arroja una masa determinada según sea el material seleccionado, arrojando una masa de:

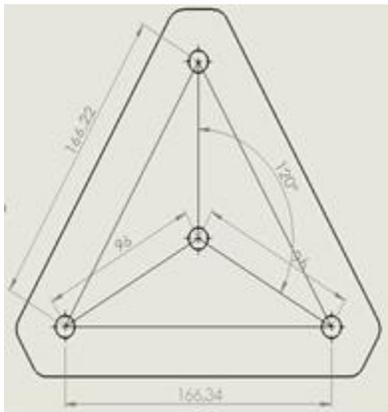
Masa de los contrapesos 120.94g

### 3.5. Porta Satélites

Ahora se procede a diseñar 2 porta satélites para que se sostengan los satélites del volante inercial. Esta es la pieza que debe diseñar con la mayor precisión posible, puesto que es en ella es donde todo el sistema planetario o volante inercial reposa, así mismo en ella recae la responsabilidad de ubicar las velocidades y movimientos del equipo.

Se comienza por hallar la distancia entre centros a la cual arroja la siguiente razón a mano alzada para tener claridad del diseño a emplear.

Figura 4. Diseño porta satélite



Fuente: elaboración propia.

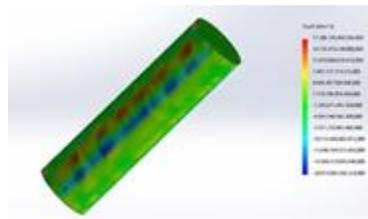
### 3.6. Diseño de ejes

#### 3.6.1. Eje Principal

Donde T representa el torque ejercido por los contrapesos de los planetas. La configuración vertical de los planetas permite analizar el elemento de tal manera que la carga que ejerce cada uno de los

planetas sea solamente a través de sus momentos flectores. Cada engranaje transmite un par torsor a el engranaje central. La carga total es soportada por el sol que a su vez comprime el eje haciendo que la carga total ejercida sea por momento flector. La transmisión que proviene de la cadena tiene una relación 1:1, por lo que la velocidad nominal de 120rpm provenientes del motor son transmitidas directamente al eje principal. De esta manera gracias a la herramienta, y conociendo el torque que entran a través de los planetas, conoceremos el esfuerzo máximo que deberá soportar nuestro eje.

Figura 5. Esfuerzos en el eje del planeta 55Kg f = 539.55N



Fuente: elaboración propia.

### 3.6.2. Eje de los satélites

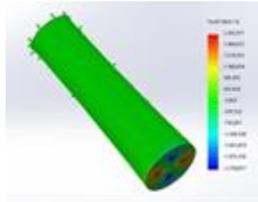
Ahora se procede a repetir el proceso de fabricación de la flecha, que para este caso será el eje de cada satélite sostenido a la porta satélite, donde la carga que va a soportar el eje de cada satélite será proporcional al peso del mismo engranaje sumada a la del contrapeso

$$F = mg = 0.518219 \text{ [K g]} 9.81 \text{ m/s}^2 = 5.0837 \text{ N}$$

$$M = 0.0244029 \text{ N m}$$

El límite máximo que puede tomar el eje esta por un valor que no supera los 2400N/m<sup>2</sup>, soportables para aguantar la carga máxima y el esfuerzo cortante realizado por los contrapesos.

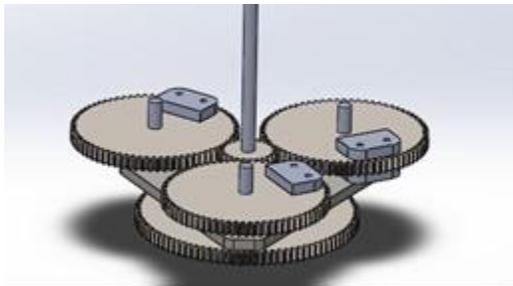
Figura 6. Esfuerzos eje de cada satélite



Fuente: elaboración propia.

### 3.7. Ensamble Volante

Figura 7. Ensamble Volante Inercial



Fuente: elaboración propia.

### 3.8. Cálculos de trabajo

Momento ejercido por cada uno de los planetas, su valor es independiente y va variando con respecto a la trayectoria de cada planeta, como el sistema de transmisión a cierta velocidad nominal, los planetas ejercen un momento al sol proveniente del momento angular acumulado por la velocidad de despliegue. Esta velocidad acumula una energía cinética proveniente de la energía potencial gravitacional. El balance de energías se puede representar de la siguiente manera:

$$M = x \times F (7)$$

$$M = (144/1000) * 2.3728 = 0.241 \text{ Nm}$$

### 3.9. Cálculos para energía solar

Cabe notar que para los cálculos de los paneles debemos tener en cuenta la carga a la cual será sometida el proyecto, quien desde un inicio se estableció que es para la iluminación de un recinto cerrado.

Dicha potencia será disipada en [4]:

Tabla 1. Datos para requerimientos

Carga	Cantidad	Pot Promedio (w)	Pot total	Horas día uso (Kwh/d)	Consumo día prom	Consumo día max	Consumo día max+30%
Lamparas	28	48	1344	13	13	13	16,9
TV	3	100	300	18	18	18	23,4
Celulares	100	13	1300	5h/d y 3v/sem	1.671	3.9	5,07
otros	3	200	600	2	1,2	1,2	1,56
Total				32.671	34.9		45,37

Se sabe que los paneles foto voltaicos con los que se van a trabajar son policristalinos de 12V a 5 Amperes y con una Potencia pico dado por el fabricante de 60 Watts.

Se conoce por los datos proporcionados por la Universidad Militar Nueva Granada [2] en cuanto a la Irradiación efectuada en la sede de Cajicá es de 3, 72 K wh. También se sabe que el regulador de trabajo es de máximo 50 Amperes, y que las baterías son de SIL.

Se da inicio conociendo los datos de inicio:

Perdidas Varias= 0, 15

Ka =Plomo ácido.

Se debe tener una autonomía de 4 a 6 horas.

$$P_{dmax} = 80 \%$$

Se requiere calcular el número de paneles.

El número de paneles se halla de la siguiente manera.

$$N_p = E_{real} / (0,9 * w_p * H P S) \quad (11)$$

Por lo que se debe calcular HPS

$$H P S = I * h \quad (12)$$

$$H P S = 3,73 * 2 = 7,46$$

Donde I es la irradiación y h es el tiempo de irradiación pico en horas. Se determina un valor promedio de h=2 horas puesto que en los lugares en promedio la irradiación tiene un valor pico en solo 3 horas del día.

Se requiere Calcular la energía total:

$$E_{real} = E_t / R \quad (13)$$

Donde se conoce por los datos de R, que no son más que constantes establecidas en el diseño de paneles

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v)(1 - K_a N) \quad (14)$$

donde se selecciona por criterio en el desarrollo:

- $K_b = 0,1$ , ya que se tomó como un sistema de descarga rápida, el decir por el tipo de batería SLI.
- $K_c = 0,007$ , porque se va a implementar un inversor de tecnología nueva (opcional)
- $K_v = 0,15$ , por unas pérdidas varias.
- $K_a = 0,0005$ , pues las baterías son de plomo ácido.
- $N = 6$ , tomando el caso más extremo en el que el sistema necesite ser autónomo por seis días
- $P_d = 0,8$ , ya que por criterio se eligió una profundidad de descarga del 75 %

donde;

$$R = (1 - 0,1 - 0,15)(1 - (0,0005*6)/0,8)$$

$$R = 0,4687$$

por lo tanto;

$$E_{real} = 45,5/0,4687 = 96,79K \text{ wh/día}$$

para el cual se necesitará un número determinado de paneles:

$$N = 96,79/(0,9*0,1*7,46)$$

$$N = 144,103$$

Para el cual aproximamos al valor entero mayor, en don se requerirán 145 paneles aproximadamente.

Pasando de un consumo teórico de 45,37 a un consumo real teniendo en cuenta la Irradiación mencionada equivalente a 3,73H P S, y la potencia pico de los paneles es de 60W p, el número de paneles que se deben instalar para suplir la necesidad energética es de 144,1, aproximando hacia el siguiente valor entero da un total de 145 paneles fotovoltaicos.

Debido a que las características de los paneles indican que cada uno es capaz de proporcionar 12V y uno de los requerimientos de funcionamiento es que la transmisión sea a 48V, se deben agrupar en serie de 4 paneles para un total de [1]:

$$\text{grupos} = 144/4 = 36$$

Para un total de 36 grupos o arreglos.

La conexión para realizar se debe hacer en una serie donde la corriente de corto el circuito es igual para todos los paneles, es decir, 5A, por lo cual, los reguladores deben ser capaces de administrar un total de 180A. Debido a que cada regulador es capaz de soportar 50A, se necesitan:

$$50A/5 = 10 \text{ arreglos para cada regulador}$$

Donde cada regulador recibirá:

$$10 \cdot 5 = 50A$$

Este valor es muy cercano a la capacidad máxima del regulador, por lo cual se seleccionarán 9 arreglos cada regulador, teniendo un consumo de:

$$9 \cdot 5 = 45A$$

De esta manera, se tiene cierta tolerancia a fallos, evitando que los reguladores se lleguen a afectar por sobrepaso de su capacidad máxima.

Se tendrá un regulador por cada 9 arreglos.

El número de reguladores a usar serán:

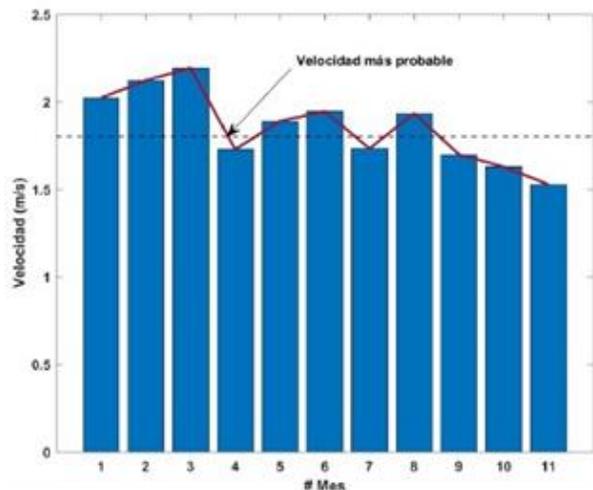
$$36/9 \text{ arreglos} = 4 \text{ reguladores}$$

### 3.10. Cálculo de energía eólica

Se debe realizar un estudio previo de flujo de vientos, analizando una medida estándar para determinar el tipo de turbina a proponer [1].

Una vez obtenidos los valores se procede a realizar un análisis probabilístico de Weibull, puesto que es quien arroja una probabilidad estándar del flujo de aire existente en un periodo determinado.

Figura 8. Valores de velocidad de viento más probable para cada mes.



Fuente: elaboración propia.

Arrojando la siguiente tabla en magnitudes para los meses:

Tabla 2. Velocidades en magnitudes probables

Mes	Magnitud de velocidad más probable. (m/s)
Enero	2.02
Febrero	2.12
Marzo	2.19
Abril	1.73
Mayo	1.89
Junio	1.94
Julio	1.73
Agosto	1.93
Septiembre	1.69
Octubre	1.63
Noviembre	1.53

#### 4. Análisis y resultados

Cabe la pena notar que el número de dientes del planeta es  $N_{\text{planeta}} = 24$ , en relación con los satélites que son  $N_{\text{satelite}} = 72$ , lo que indica es que cuando el planeta da tres (3) giros, cada satélite solo dará uno (Relación 3 a 1).

Esto hace que la maquina adquiera una mayor velocidad, ya que los satélites NO son solidarios con el planeta y al eje de trasmisión principal.

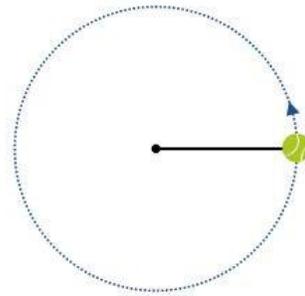
De estos datos se puede inferir que; la inercia adquirida en el desplazamiento es otorgada por el planeta y dada o suministrada al porta satélite, que tampoco es solidario o acoplado al eje principal.

Esta afirmación se puede evidenciar analizando o tomando una idea, de que cuando una masa se aleja del eje de rotación, el sistema establece que dicha masa lleva consigo un momento adicional alrededor del círculo (debido a que la velocidad está en aumento) y es porque el momento cambia más rápidamente. Estos dos efectos dependen de la distancia entre ejes, lo cual la inercia rotacional comúnmente se le conocerá como el momento inercial.

$$I = m(K G)r^2 (m)^2 = K gm^2 (8)$$

En la Figura 9 se muestra como el momento inercial se le llama el «segundo momento de masa», debido al hecho de que depende de la longitud del brazo del momento al cuadrado.

Figura 9. Episodio de Momento Inercial

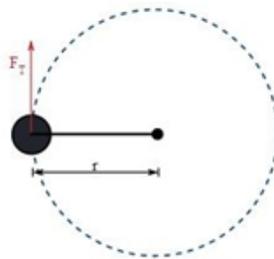


Fuente: elaboración propia.

Esta Inercia rotacional tiene relación en la segunda ley de Newton, quien establece:

Considera una masa  $m$  unida a un extremo de una barra sin masa. Se muestra en la Figura 10 como el otro extremo de la barra está articulado para que el sistema pueda girar alrededor de la bisagra central.

Figura 10. Segunda ley de Newton



Fuente: elaboración propia.

Es decir que se conoce que el motor proporciona un torque de 50K gF m, equivalente a 490, 3325N m y el peso del satélite con el contrapeso es de 0, 638K g. La velocidad angular del satélite a experimentar es de:

$$\alpha = r/I \text{ (9)}$$

$$\alpha = 490, 3325/ (0, 638 * 0, 072m) = 490, 3325/0, 045936 = 10809,7994 \text{ rad/s}^2$$

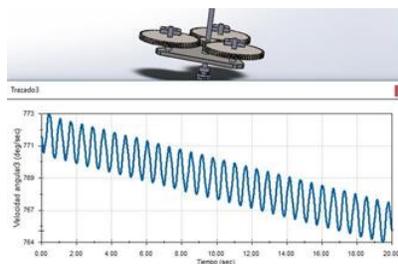
$$\alpha = 1131,9995 \text{ rpm}$$

Donde esa velocidad será aproximadamente para cada satélite agregada tangencialmente por medio de los dientes de los engranajes.

Aclarando que es NO es cierto que esa velocidad adquirida por los satélites será la velocidad final del porta satélite, puesto que esa velocidad solo se verá reflejada para que llegue el sistema a una velocidad nominal y almacene esa energía mecánica durante un cierto tiempo.

Se puede observar un comportamiento sinusoidal entre el satélite y el eje principal en la Figura 11, puesto que su velocidad irá en aumento hasta que la misma inercia, lo haga desplazar a los extremos.

Figura 11. Comportamiento entre el eje principal y el eje del satélite con contrapeso



Fuente: elaboración propia.

Se espera que el mecanismo híbrido implementado produzca energía a plenitud durante las 17 horas del día de luz más la suficiente energía para alimentar el motor y vende la inercia de la maquina aproximadamente arrojando los siguientes datos:

- Energía producida por los paneles a plena luz del día:

$$P = 120\text{w/h}$$

- Energía producida por la turbina:

$$P = 1170\text{w/h } 2$$

La potencia máxima en esas 2 horas del día en producción independiente es:

$$PT = 120 + 1170 = 1290 \text{ (10)}$$

Siendo insuficiente para el sistema demostrado.

Acoplando el sistema híbrido se tendrá:

$$PT = (60\text{w} + 585\text{w})(17) = 10965\text{w}$$

## 5. Conclusiones

Se concluyo que realizar la suma de dos o más fuentes de energía renovable es posible, a razón de optimizar la producción de energía. todo esto de acuerdo con el tipo de transductor que se emplee.

Se debe tener en cuenta que si es para el caso de energía eólica y energía solar, al aumentar la velocidad de inicio de la máquina (motor) y quererla sumarlas entre ellas, la energía eólica se inutiliza, puesto que esta energía renovable es de baja potencia, así que la maquina adquirirá una mayor velocidad a razón de la inercia suministrada por los contrapesos a tal punto de llegar

con mayor rapidez su velocidad nominal y no habrá forma de emplear dicho movimiento mecánico suministrado por el aire. El comportamiento de los satélites es fluctuante hasta alcanzar la velocidad nominal, con respecto al eje principal.

Los mecanismo híbrido, tienen la facilidad de producir energía alternándose unos a otro, es decir; la energía es aprovechada al máximo cuando dichas fuentes están a plenitud, en relación a este sistema híbrido, quien la energía solar producida hará mover un motor que estará venciendo la inercia propia de la máquina y el flujo de aire generará un movimiento mecánico que facilitará alcanzar la velocidad nominal de dicho sistema, todo esto alimentado y almacenado con un conjuntos de baterías, dando así, una eficiencia de energética máxima.

Si se emplea solamente el volante inercial en el sistema fotovoltaico, da la facilidad de superar la falla presentada al paso de las nubes, puesto que reduce su eficiencia con el paso de esta, por lo cual el volante Inercial almacena una energía mecánica que suplirá ese paso de la nube generando energía al punto de producir, mas no consumir más (mejorará su eficiencia).

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen a la Universidad Militar Nueva Granada por el apoyo prestado en el desarrollo de este proyecto por medio del PIC ING 2517.

## **Referencias**

- [1] C. G. Aldana, “Distribución de probabilidad de Weibull en energía eólica en Cajicá”, Colombia. 2017.
- [2] U. d. C. La Mancha. “Tema 10 rodamientos”, España, 2010.
- [3] A. M. Hincapié-Niño, “Implementación del aerogenerador híbrido DARRIEUS-SAVONIUS en un vehículo para la generación energética”, Universidad de La Salle, 2016.

- [4] D. Rojas, “Análisis del potencial eólico”, Universidad Militar Nueva Granada, 2017.
- [5] R. G. Budynas, J. K. Nisbett, “Diseño en ingeniería Mecánica de Shigley”, 2008.