

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

Facultad Regional La Plata



2016

Proyecto Final

Título de la Práctica: Volante de inercia.

Alumnos:

- **Juan Manuel Marinier**
- **Hernán Puglisi**
- **Pons Julián**

Introducción

Un volante de inercia, es básicamente un sistema de almacenamiento de energía mecánica. Su principal característica frente a otros sistemas es la capacidad de absorber y ceder energía en poco tiempo.

Su funcionamiento se basa según uno de los principios más simples de la física: los objetos que se encuentran en movimiento, tienden a permanecer en movimiento.

Consiste en una rueda (o rotor), generalmente bastante pesada, a la que una fuente de energía le transmite energía cinética rotacional para que luego el volante se la devuelva.

Cabe mencionar que idealmente, durante el proceso mediante el cual se le aporta energía al volante para que luego la devuelva, no se crea ni consume energía. En un caso real habrá fricciones que harán que una porción de la energía se disipe en forma de calor.

Historia

Está presente ya en el período neolítico, en los husos para hilar, y también en los tornos de los alfareros. Ejemplos más recientes, históricamente hablando, son el caso del artesano alemán Theophilus Presbyter (años 1070 a 1125) y el ingeniero andaluz Ibn Bassal (años 1038 a 1075).

Al parecer de una forma u otra, el volante de inercia siempre ha estado presente de una manera u otra entre nuestros instrumentos mecánicos desde que aprendimos a utilizarlos

Funcionamiento

El volante de inercia está normalmente acoplado a un árbol, girando solidario al mismo aprovechando de sus condiciones físicas para ganar inercia a medida que el árbol va aumentando su velocidad.

En un automóvil el volante de inercia es generalmente de fundición o acero. Se encuentra colocado en el extremo del cigüeñal más próximo a la caja de cambios.

Su funcionamiento básicamente se limita en girar solidario al cigüeñal, aunque generalmente se lo aprovecha para formar parte de otras partes constitutivas de la mecánica.

El volante cuenta con el Entrante, la parte más importante del conjunto, que funciona como una especie de soporte para el embrague, lo que supone como una especie de control de la caja de cambios, haciendo que ésta funcione o no de acuerdo al accionamiento del mismo.

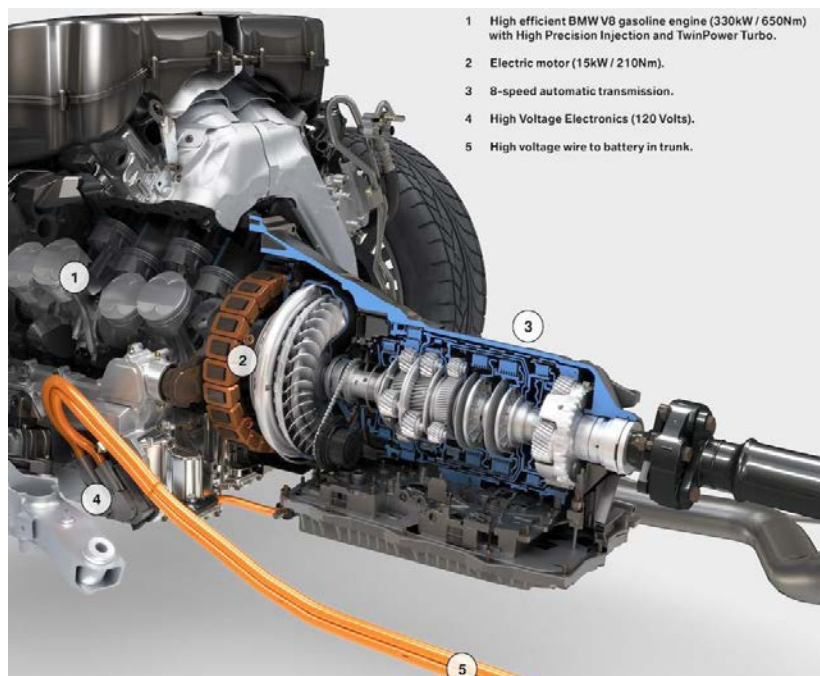
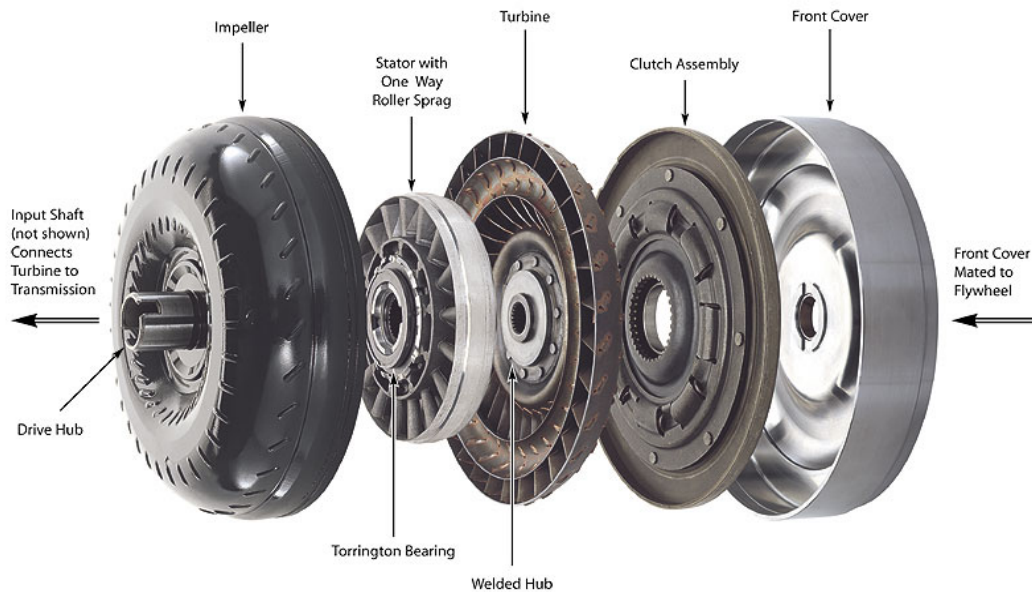
El volante posee una llanta, donde se suelen grabar referencias que son verificadas por el mecánico en el momento del reglaje de la distribución y en el encendido. En toda su periferia, para poder engranar el piñón del motor de arranque. Esta pieza lleva un aro completamente dentado.

Estos elementos mecánicos son necesarios pues en la mayor parte de las máquinas motrices, el trabajo producido por la expansión del vapor, o por la combustión de las mezclas de hidrocarburos, es transmitido por un mecanismo biela-manivela a un tren motriz compuesto por otros mecanismos.

Características de un volante para vehículos

Superficie de fricción para el embrague:

Solo los automóviles con transmisión manual utilizan volantes de inercia (los que tienen transmisión automática utilizan discos de presión y una turbina convertidora de par, que almacenan energía inercial de la misma manera que un volante).



El espacio amplio y liso del volante lo convierte en una superficie de fricción ideal. Cuando el embrague se encuentra acoplado (transmitiendo la fuerza del motor a la caja de velocidades), un potente resorte presiona su disco de fricción contra el volante. Una vez que el

embrague se encuentra presionado contra el volante, se requiere una fuerza de giro enorme para que ambas piezas se deslicen entre sí.



Suavidad del motor:

Como se mencionó anteriormente, el volante almacena la energía cinética del motor mientras gira, la cual será utilizada de manera posterior. Esto puede resultar útil en motores de gran desplazamiento de cualquier tipo que tienden a vibrar con cada combustión en los cilindros. Si no fuera por el volante, el cigüeñal del motor se encontraría acelerando y desacelerando constantemente, lo que produciría fuertes vibraciones.

A mayor momento de inercia en el tren motriz, menor será el factor de irregularidad de marcha δ_i , algo que podremos apreciar más avanzado el trabajo, en la parte de cálculos.

Fiabilidad:

Las vibraciones a altas velocidades destruirían rápidamente el motor por fatiga de sus componentes. Un cigüeñal vibrando, golpearía las bielas y los rodamientos, e impondría esfuerzo demasiado grande en los pernos, hasta destruirlos.

Los automóviles de carrera, como sus motores se desarman frecuentemente para revisar y reemplazar los componentes, utilizan volantes de inercia más livianos que vehículos de uso diario para aumentar su aceleración, (mientras mayor sea el momento de inercia del volante más energía habrá que entregarle para que adquiera cierta velocidad. De igual manera, más difícil será detenerlo).

Prevención del paro:

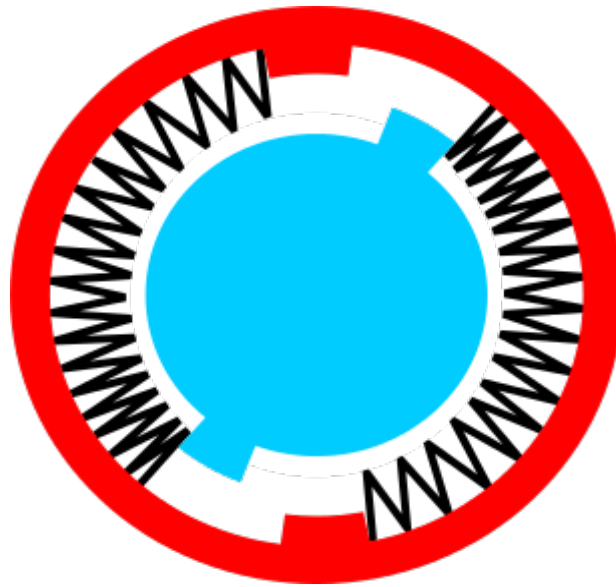
Un problema común de los motores con volantes livianos es que tienden a pararse muy fácilmente. Los motores de Fórmula 1, por ejemplo, con un volante prácticamente nulo, no pueden mantenerse en marcha a menos de 3.000 rpm y se paran si se acopla una marcha a menos de 5.000 rpm. En el otro extremo del espectro, los camiones de remolque diésel, poseen volantes pesados y de gran diámetro, para que sus motores no se paren en condiciones normales de funcionamiento.

Engranaje del encendido:

Además de sus contribuciones dentro de la dinámica del motor, los volantes también ayudan en la puesta en marcha del mismo. Casi todos los volantes de inercia poseen una corona o dientes a su alrededor, lo que les da el aspecto de un enorme engranaje. Al darle marcha al motor, el piñón del motor de encendido acopla la corona del volante. La relación entre el pequeño piñón y la gran corona del volante le da al motor de encendido una fuerza de giro mucho mayor de la que tendría si tuviera que accionar directamente el cigüeñal.

Volantes bimasa para automóviles:

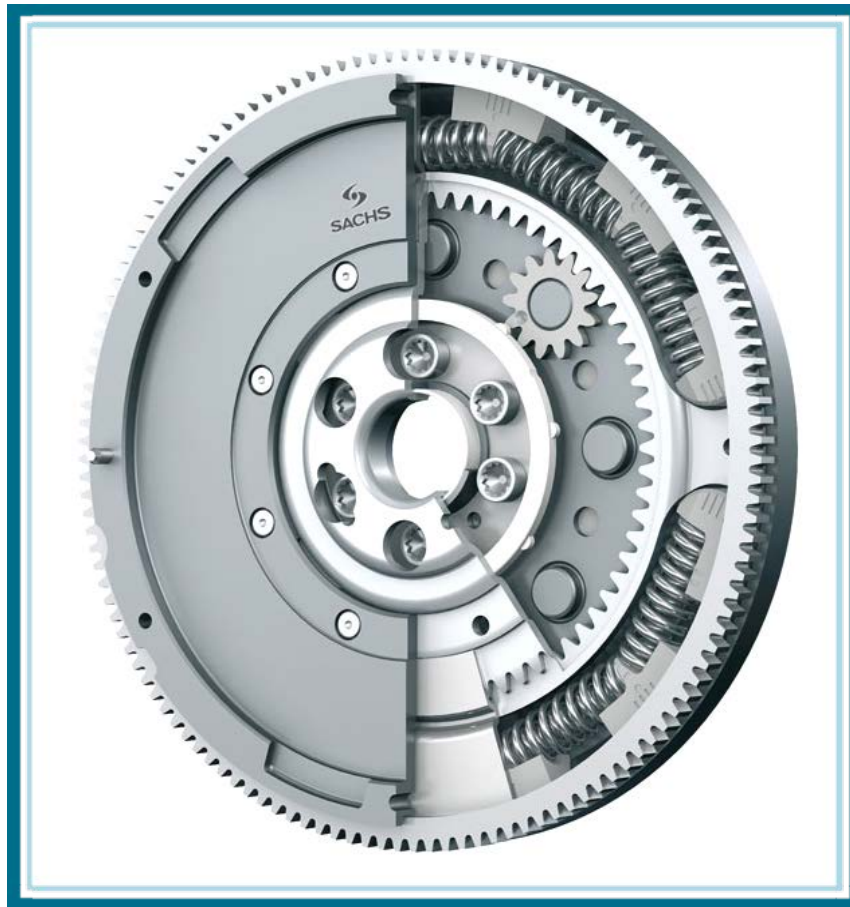
Un volante bimasa, o volante de masa dual (DMF) "dual mass flywheel", supone una evolución sobre un volante de inercia convencional (SMF) "single mass flywheel". A diferencia de este último, busca amortiguar cualquier variación violenta de par o de revoluciones que podría causar una vibración no deseada. La reducción de la vibración se consigue mediante la acumulación de energía en una serie de fuertes resortes durante un periodo de tiempo a un ritmo compatible con la fuente de energía, y a continuación liberando esa energía a una velocidad mucho más alta durante un tiempo relativamente corto.



Negro: Muelles amortiguadores.
Rojo: masa primaria fijada al cigüeñal.
Azul: brida fijada a masa secundaria

Los volantes bimasa fueron desarrollados para hacer frente a la escalada de par y potencia, especialmente a bajas revoluciones. En los últimos años, en busca de una mayor eficiencia, se han desarrollado motores con cilindradas cada vez más bajas y frecuentemente de sólo 3 o incluso 2 cilindros alimentados por turbo, con la entrega de par y potencia a bajas revoluciones para reducir el consumo. Como contraparte ha habido un aumento en el nivel de vibraciones que a los discos de embrague tradicionales les cuesta absorber. Aquí es donde los volantes de masa dual, desempeñan un papel fundamental, permitiendo aumentar la fiabilidad en estas mecánicas.

Los volantes bimasa hoy están presentes en aproximadamente 1 de cada 3 vehículos nuevos en Europa.



Usos

Si el par de la carga y el par del elemento motor de una máquina son constantes no se precisan volantes. Este tipo de mecanismo se utiliza principalmente para proporcionar energía continua en sistemas en los que la fuente de energía no lo es. Por este motivo se suelen utilizar en motores alternativos, ya que la fuente de energía (el par del motor) es intermitente. En tales casos, el volante de inercia almacena energía cuando se aplica un par por la fuente de energía (La expansión de los gases en el cilindro transmite energía al cigüeñal, la cual es almacenada en parte por el volante, montado a un extremo del mismo), y posteriormente la libera al cigüeñal cuando la fuente de energía no está aplicando par (es decir, durante el resto del ciclo motor), buscando así mantener constante su velocidad angular. Por el mismo motivo, los volantes de inercia también se emplean en compresores alternativos, prensas, punzonadoras, troqueladoras, etc.



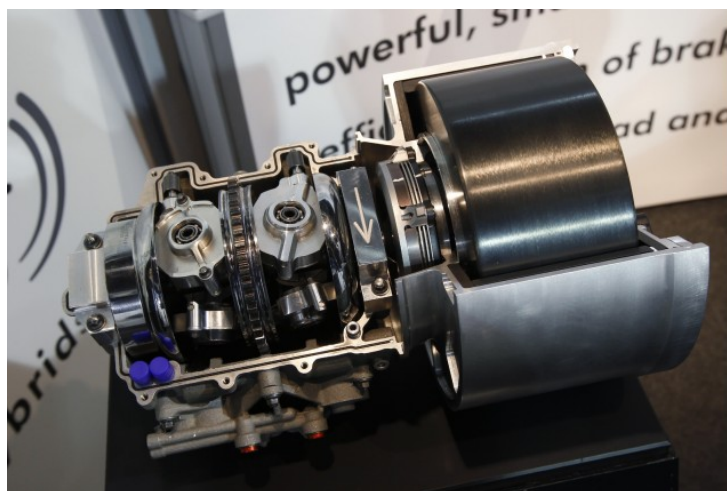
El volante ayuda a los motores alternativos a funcionar de manera más suave, prolongar su vida útil y, para el caso de un vehículo, acelerar de manera más fácil cuando éste se encuentra detenido.

En los motores de avión, la misma hélice hace las veces de volante de inercia, cumpliendo con las funciones mencionadas.

Otro uso que se le da al volante de inercia, aunque menos habitual, es la absorción y entrega de energía a tasas más allá de la capacidad de la fuente de energía.

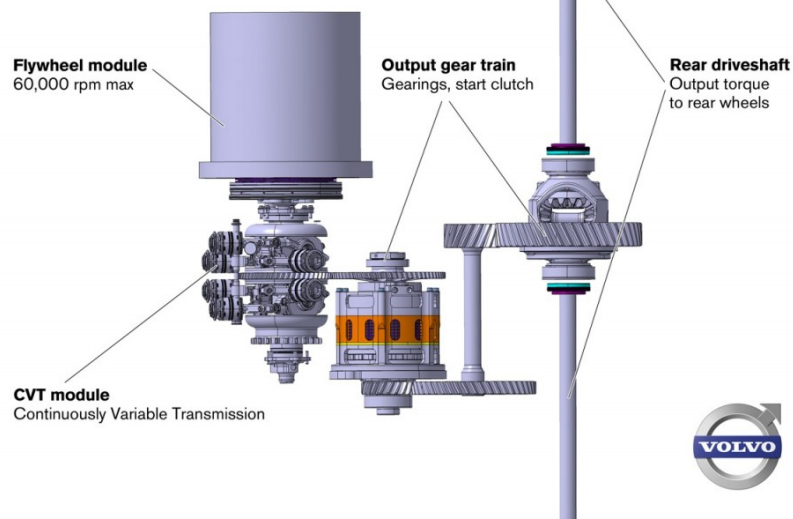
Este tipo de sistema de recuperación de energía, se presenta como una alternativa al frenado de regeneración, compuesto de generadores y baterías eléctricas.

El volante de inercia recopila energía en el tiempo y luego la libera rápidamente, a tasas que exceden las capacidades de la fuente de energía. Un sistema aprovechado en el automovilismo, utiliza una transmisión de variador continuo (CVT toroidal) acoplado al volante. La energía se recupera del tren de transmisión durante el frenado y se almacena en el volante de inercia. Esta energía almacenada en forma de energía cinética rotacional, se utiliza a continuación durante la aceleración mediante la alteración de la relación de la CVT, devolviéndola al mismo tren de transmisión en un breve período de tiempo.



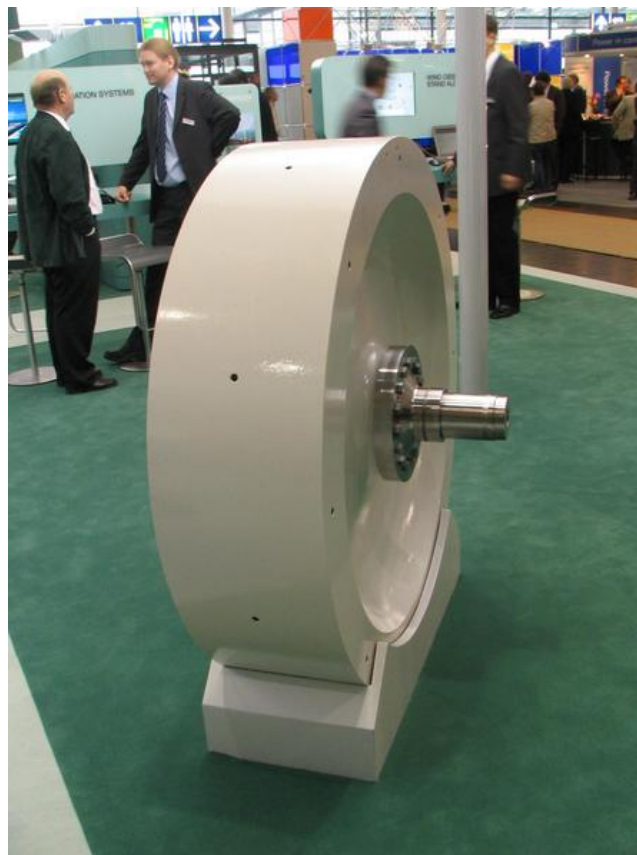
Corte del sistema volante – transmisión de un acumulador de energía cinética aplicado al automovilismo

FLYWHEEL KERS SYSTEM LAYOUT



Esquema del sistema de acumulación de energía cinética.

El volante de inercia también puede utilizarse como dispositivo para suavizar la entrega de energía en aparatos eléctricos, así como en instalaciones generadoras de energía eléctrica mediante la energía solar o la fuerza del viento, reduciendo las fluctuaciones en la entrega.



Volante de inercia de acero usado en un parque eólico en la actualidad.

Diseño

Como se mencionó al principio del presente trabajo, por lo general el volante consiste en una rueda o un disco, calado en el árbol motor, y cuyas dimensiones están calculadas de acuerdo con las características generales del sistema del que forma parte.

En el diseño de volantes, atendiendo la diversidad de aplicaciones, se establecen tres variables de diseño distintas: la masa, el volumen y el coste del material. A cada campo de aplicación se le puede asignar una variable de preponderancia frente al resto.

La eficiencia de un volante de inercia se determina por la cantidad de energía que puede almacenar por unidad de peso.

La energía se almacena en el rotor como energía cinética, o más específicamente, energía de rotación:

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2$$

Siendo ω la velocidad angular, y siendo I el momento de inercia de la masa alrededor del eje de rotación.

El momento de inercia es la medida de la resistencia al par de torsión aplicado sobre un objeto que gira (es decir, cuanto mayor es el momento de inercia, más lento se hará girar cuando se aplica una fuerza dada).

- El momento de inercia de un cilindro sólido es $I = \frac{1}{2} m r^2$,
- para un cilindro vacío de pared delgada es $I = m r^2$,
- y por un cilindro vacío paredes gruesas es $I = \frac{1}{2} m (r_{\text{external}}^2 + r_{\text{internal}}^2)$.

Teniendo en cuenta lo anterior, empujar la masa desde el eje de rotación le da una mayor inercia de rotación sin aumentar su masa total. Es decir, la energía de rotación almacenada por un volante en tales condiciones aumentará sin necesidad de aumentar su masa. Esto aumenta la eficiencia del volante de inercia, así tiene menos dificultad para conducir su propio peso hacia adelante, manteniéndose acotada la carga útil.

Esta distribución en pos de la eficiencia del volante se puede ver limitada por restricciones volumétricas, por lo que a veces para aumentar la inercia del volante se debe aumentar la masa del mismo aportando material sin que se incremente el diámetro o el espesor del volante, o de no ser posible, optando por un material de mayor densidad.

Para el cálculo de los volantes de inercia se suelen utilizar dos parámetros auxiliares, la velocidad angular media, ω_m , y el coeficiente de fluctuación, C_f (también denominado grado de irregularidad δ_i , posteriormente durante los cálculos), que se definen:

$$\omega_m = \frac{\omega_{\text{max}} + \omega_{\text{min}}}{2}$$

$$C_f = \frac{\omega_{\text{max}} - \omega_{\text{min}}}{\omega_m}$$

En la siguiente tabla, se recogen unos valores típicos de coeficientes de fluctuación para diferentes tipos de máquinas.

COEFICIENTE DE FLUCTUACIÓN *

<i>Tipo de máquina</i>	<i>C_f</i>
Maquinaria de machaqueo	0,200
Maquinaria eléctrica	0,003
Maquinaria eléctrica, transmisión directa	0,002
Motores con transmisión por correas	0,030
Maquinaria para molinos harineros	0,020
Transmisión rueda dentada	0,020
Martillos	0,200
Máquinas herramientas	0,030
Maquinaria para fabricación de papel	0,025
Bombas	0,030-0,050
Maquinaria de corte	0,030-0,050
Maquinaria de hilanderías	0,010-0,020
Maquinaria textil	0,025

* *Mechanical Engineers Handbook, de Kent, 12.ª edición, «Design and Production», pág. 7-40.*

Elección del material

Los volantes están hechos de muchos materiales diferentes; las demandas de la aplicación determinan la elección del material.

Los volantes de inercia utilizados en los automóviles pueden estar hechos de fundición de hierro nodular, acero o aluminio en función del rendimiento de las aplicaciones. En un automóvil, el volante de inercia se ve limitado por el espacio en que debe encajar, por lo que el objetivo es maximizar la energía almacenada por unidad de volumen. En este aspecto, es conveniente que el material tenga una densidad elevada.

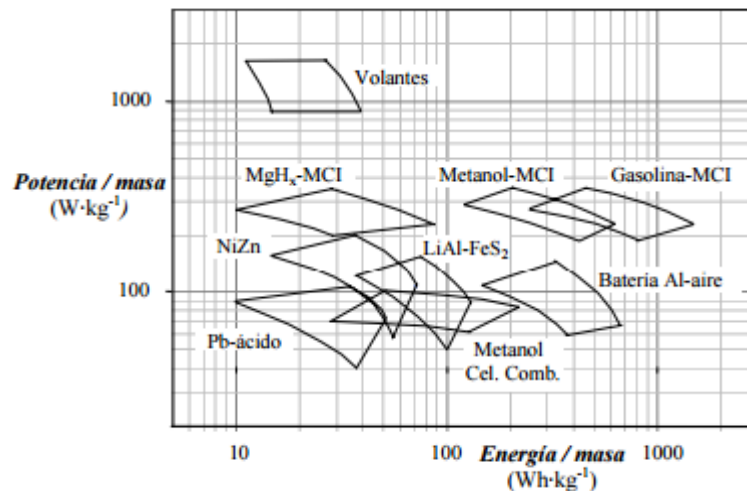
A medida que la velocidad de giro del volante se incrementa, aumenta la energía almacenada; sin embargo, las tensiones centrífugas también aumentan. Si las tensiones centrífugas superan la resistencia a la tracción del material, el volante se romperá. Por lo tanto, la resistencia a la tracción determina un límite superior a la cantidad de energía que puede almacenar un volante de inercia.

La siguiente tabla muestra los valores calculados para la masa, el radio y la velocidad angular para almacenar 500 J. El volante de fibra de carbono es, con mucho, el más eficiente; sin embargo, también tiene el radio más grande. En aplicaciones (como en un automóvil), donde está limitado el volumen, un volante de fibra de carbono podría no ser la mejor opción.

Material	El almacenamiento de energía (J)	Masa (kg)	Radius (m)	La velocidad angular (rpm)	Eficiencia (J / kg)
Hierro fundido	500	0,0166	1.039	1465	30121
Aleación de aluminio	500	0,0033	1.528	2406	151515
Aceros martensíticos	500	0.0044	1.444	2218	113636
Compuesto: CFRP (40% epoxi)	500	0,001	1.964	3382	500000
Compuesto: GFRP (40% epoxi)	500	0,0038	1.491	2323	131579

En volantes tradicionales la cantidad de energía es menor que en otros sistemas de almacenamiento, pero en las últimas décadas se han empezado a fabricar de materiales compuestos, lo que ha supuesto un aumento notable de su capacidad de almacenamiento (ya que soportan un elevado régimen de giro). Esta innovación permite aplicarlos a campos en los que antes era totalmente impensable, por ejemplo, para almacenamiento de energía en automóviles, trenes o autobuses, satélites, etc.

Con este nuevo tipo de volantes se superan, en algunos aspectos, los sistemas clásicos de almacenamiento de energía. Por ejemplo, si se comparan con las tradicionales baterías químicas, los volantes ofrecen mayor potencia energética, tanto entregada como absorbida. Las baterías, debido a su proceso químico, son muy lentas en el proceso de carga y descarga, y si se pretende disminuir el tiempo su rendimiento desciende a valores del 20 o el 30 %.



En este gráfico se observa que la densidad de potencia en los volantes es muy elevada comparada con los diversos tipos de baterías químicas, incluso con los motores de combustión interna. En cambio, su densidad de energía es parecida a las baterías convencionales y es más baja que las baterías especiales y los motores. Por lo tanto, la principal característica de los volantes es su alta densidad de potencia.

Estudio del volante propuesto por la cátedra

Objetivo:

El objetivo del presente trabajo es conocer para diferentes regímenes de giro, la regularidad de marcha de un grupo electrógeno armado con un motor naftero monocilíndrico de 4T propuesto por la cátedra, el cual impulsa un motor eléctrico trifásico asincrónico de 4 HP que opera como generador eléctrico.

Trabajaremos con unidades del sistema técnico y partiremos de datos de indicador correspondiente al motor mencionado, operando en condiciones de desarrollar el máximo par motor.

Descripción del proceso adoptado:

Para determinar la irregularidad de marcha del grupo electrógeno del que forma parte el motor estudiado, hemos recurrido al método de Radingen, a partir del cual hemos obtenido para diferentes regímenes de giro, las fuerzas tangenciales (de gases y de inercia), y los valores de área en exceso (a partir de las fuerzas anteriores), datos necesarios para seguir con los cálculos que nos llevarán a los valores de los diferentes grados de irregularidad del conjunto.

En principio determinamos de manera práctica el factor de inercia del tren alternativo, al cual le sumamos el factor de inercia del generador para obtener así el factor de inercia global (GD^2).

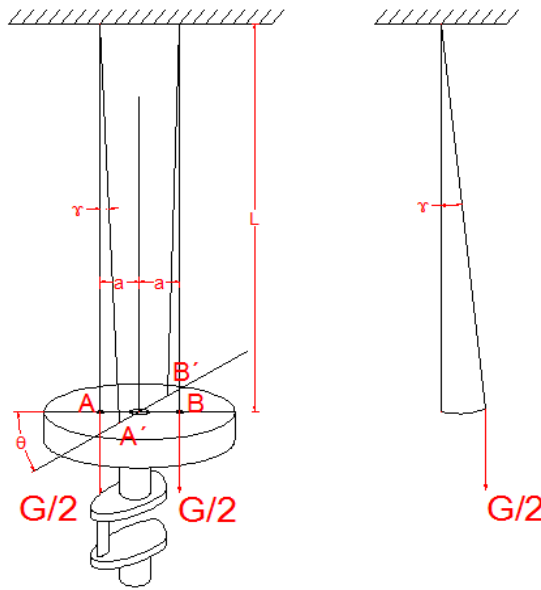
Para calcular el factor de inercia del tren alternativo es necesario obtener el tiempo que dura una oscilación doble. Este período lo determinamos mediante el ensayo del péndulo bifilar, el cual será descrito posteriormente.

Con la determinación del factor de inercia global (Ctte) y del área en exceso para cada régimen de giro, calculamos las regularidades de marcha como ya se mencionó.

- Para determinar el factor de inercia global, a partir del ensayo pendular realizamos el cálculo del factor de inercia del conjunto volante – árbol – cigüeñal. A ese valor le sumo el factor de inercia de un generador al que irá acoplado el tren motriz. Este último se puede deducir a partir del momento de inercia del mismo, valor dado por el fabricante.

Por otro lado, a modo de verificación, hemos comparado el valor del momento de inercia calculado para el volante con otro valor obtenido mediante un software como herramienta de cálculo.

Descripción del ensayo pendular:



El ensayo pendular se utiliza para poder determinar el valor del tiempo que dura una oscilación doble, necesaria para el cálculo del factor de inercia. Dicho valor corresponde al tiempo durante el cual el objeto a ensayar se mueve de una posición extrema a la otra y luego regresa a la primera.

Para realizar este ensayo, hemos colgado para diferentes ensayos y de igual manera (en dos cuerdas de longitud determinada “l”) una pieza de sujeción para el tren alternativo (consiste en un disco de hierro, de dimensión y peso conocidos, al cual se le realizaron dos orificios que distan entre sí en una distancia “2a” para colgarlo de los hilos, y que tiene un agujero central al que irán roscada las otras piezas); la pieza de sujeción con el volante; y el conjunto “pieza de sujeción – cigüeñal – volante”. Las cuerdas están conectadas desde estos dos puntos a otros dos puntos fijos, a una altura “l” por encima de la pieza de sujeción, dispuestos entre sí a la misma distancia que los anteriores, como se muestra en el esquema.

Posteriormente les hemos dado a las piezas colgadas un leve ángulo de giro que las aleje de su posición de equilibrio, para que luego el sistema tienda a volver a dicha posición. Luego el sistema oscilará y pasará por esta posición varias veces.

Para calcular el tiempo de una oscilación doble (T), hemos cronometrado 10 de ellas luego de haber girado el volante, para después tomar como valor de T el cociente entre el tiempo cronometrado y las 10 oscilaciones.

Teniendo el valor de T de la pieza de sujeción, obtengo luego el resultado del T para el conjunto “pieza de sujeción – volante”. Al valor obtenido le resto el de la pieza de sujeción para obtener así el T del volante.

Al conjunto “pieza de sujeción – volante – cigüeñal” le resto el valor de T para el volante y para la pieza de sujeción y obtengo de esta forma el valor de T para el cigüeñal.

Para cada ensayo, reemplazo el valor de T en la siguiente fórmula:

$$GD^2 = (4G \times a^2 \times g \times T^2) / (l \times 4 \times \pi^2)$$

Siendo:

GD^2 = Factor de inercia.

G = Peso del elemento ensayado

a = Distancia de un punto de sujeción del elemento al eje de giro.

g = Aceleración de la gravedad (9,8 m/s²).

T = Tiempo en que transcurre una oscilación doble.

l = longitud de los hilos.

Valores arrojados por los ensayos realizados:

1°) Para la pieza de sujeción, T = 3.664 s

2°) Para el conjunto “pieza de sujeción – volante”, T = 3.91 s

3°) Para el conjunto “pieza de sujeción – volante – cigüeñal” T = 4.046 s

Cálculo de los factores de inercia:

$$GD^2 = (4G \times a^2 \times g \times T^2) / (l \times 4 \times \pi^2)$$

Teniendo en cuenta que el peso de la pieza de sujeción es 2,64 kg, el del volante es 5,05 kg, y el del cigüeñal 2.41kg; además considerando que a=0,0923m; y l =2,764 m, podemos deducir los siguientes valores:

1°) Para la pieza de sujeción, $GD^2 = 0.108 \text{ N} \times \text{m}^2$

2°) Para el volante, $GD^2 = 0.252 \text{ N} \times \text{m}^2$

3°) Para el cigüeñal” $GD^2 = 0.115 \text{ N} \times \text{m}^2$

4°) El generador eléctrico adoptado tiene un J = 0.0063Kg x m², por lo tanto, $GD^2 = 0,247 \text{ N} \times \text{m}^2$

5°) $GD^2_{\text{total}} = 0.753 \text{ N} \times \text{m}^2$

Cálculo del momento de inercia del volante a partir de su factor de inercia:

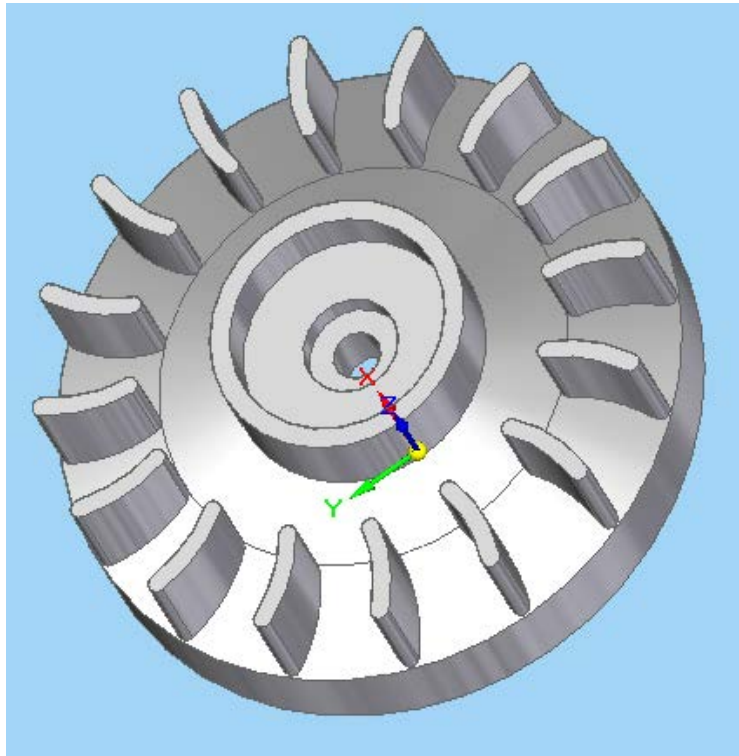
Partiendo del factor de inercia, $GD^2 = (m \times g) \times (4r^2) = 4g \times (m \times r^2) = 4g \times J$

Siendo J el momento de inercia del objeto ensayado: $J = GD^2 / 4g$

Entonces, para el volante de inercia: $J = 0.252 (\text{Kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}^2) / 39.2 (\text{m/s}^2)$
 $J = 0.006428 \text{ Kg m s}^2$

Cálculo del momento de inercia del volante (Mediante Software)

Para obtener el momento de inercia del volante a partir de un software (Solid Edge) como herramienta de cálculo, hemos tomado las medidas del volante en estudio para luego modelarlo en dicho software.



Una vez modelado el volante, determino el material y sus características para poder obtener la masa del mismo.

Tabla de materiales de Solid Edge

Propiedades del material
Material

Mostrando propiedades de: Hierro, fundición gris tipo 40 (Materials\Metales\Hierro)

Estilo de cara: Gris Modificar...

Estilo de relleno: ANSI31(Hierro) Modificar...

Nombre de propiedad	Valor	Elimin...	Edita...
Densidad	7250,000 kg/m ³		
Coefficiente de expansión térmica	0,000011 /C		
Conductividad térmica	0,048 kW/m-C		
Calor específico	544,000 J/kg-C		
Módulo de elasticidad	110316,112 MPa		
Coefficiente de Poisson	0,290		
Límite de elasticidad	193,053 MPa		
Tensión de rotura	275,790 MPa		
Elongación %	0,000		

Descripción
Definición de material = Hierro, fundición gris tipo 40, Estilo de cara = Gris, Estilo de relleno = ANSI31(Hierro)

Material aplicado actualmente al modelo: Hierro, fundición gris tipo 60 (Materials\Metales\Hierro)

Guardar
Aplicar al modelo
Cancelar
Ayuda

Con la densidad del material y con las características geométricas definidas en el modelado, el software puede determinar el momento de inercia del volante, ya que en función de los valores cargados automáticamente define las propiedades físicas de la pieza.

Propiedades físicas ✕

Definidas por el usuario

Sistema de coordenadas:
Espacio modelo

Material
Nombre:
Hierro, fundición gris tip
Densidad:
7250,000 kg/m³
Cambiar

Precisión (de 0 a 1):
0,99

Actualizar al guardar

Global Principales

Masa: 5,045 kg Volumen: 695914,493 mm³ Área de superficie: 180368,44 mm²

Centro de masa Centro de volumen

Mostrar símbolo **cm** Mostrar símbolo **cv**

X: 9,71 mm X: 9,71 mm
Y: 0,00 mm Y: 0,00 mm
Z: 47,15 mm Z: 47,15 mm

Momentos de inercia de la masa

bx: 0,006 kg·m s⁻² lyy: 0,006 kg·m s⁻² lzz: 0,007 kg·m s⁻²
by: 0,000 kg·m s⁻² lzx: 0,002 kg·m s⁻² lzy: 0,000 kg·m s⁻²

Actualizar Cerrar Guardar como... Ayuda

Propiedades físicas ✕

Definidas por el usuario

Sistema de coordenadas:
Espacio modelo


Material
Nombre:
Hierro, fundición gris tip
Densidad:
7250,000 kg/m³
Cambiar

Precisión (de 0 a 1):
0,99

Actualizar al guardar

Global Principales

Orientación de los ejes principales

Mostrar símbolo 

1: 0,00 0,00 1,00
2: 1,00 0,00 0,00
3: 0,00 1,00 0,00

Momentos de inercia principales

I1: 0,007 kg·m s⁻² I2: 0,004 kg·m s⁻² I3: 0,004 kg·m s⁻²

Radios de giro

K1: 85,94 mm K2: 62,82 mm K3: 62,82 mm

Actualizar Cerrar Guardar como... Ayuda

Se puede verificar que el valor dado por el software para el momento de inercia respecto al eje de giro del volante es $J = 0,007 \text{ Kg} \times \text{m}^2$. Dicho valor no dista mucho del calculado en la práctica.

Cálculo del área en exceso:

El área en exceso representa un valor expresado en unidades de energía, utilizado para calcular el factor de inercia necesario para una máquina.

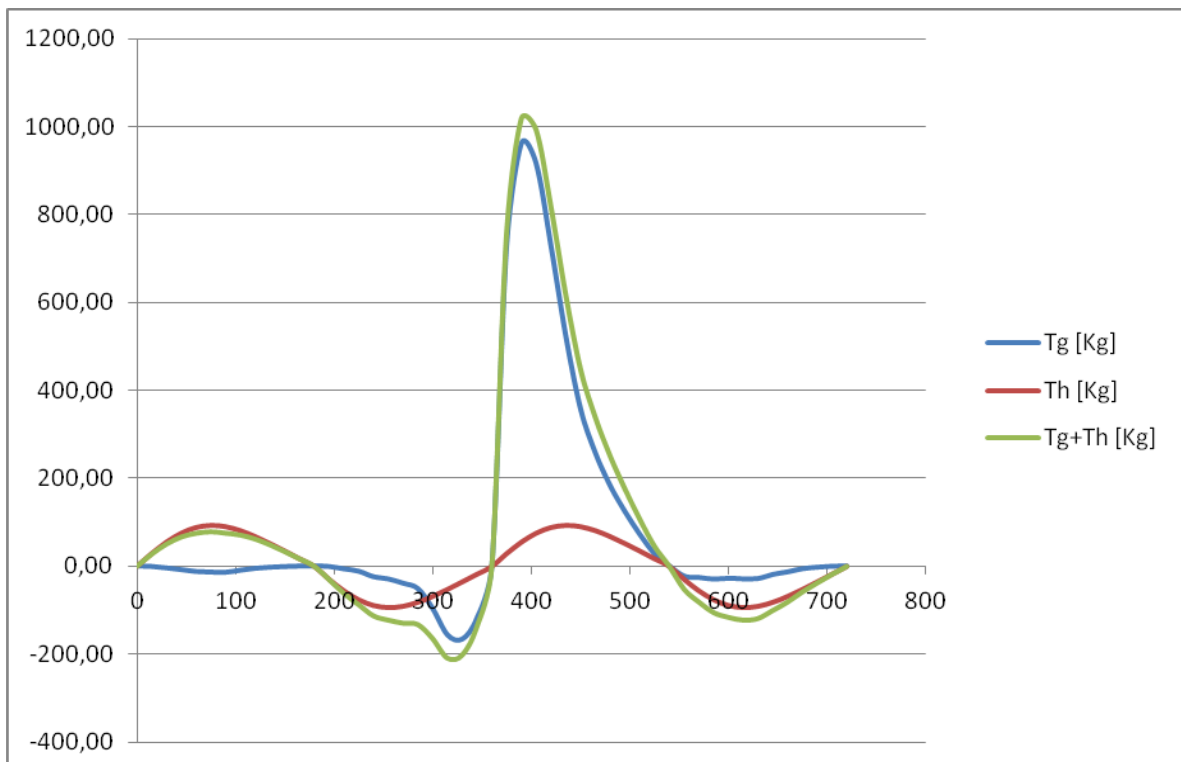
En un diagrama donde el eje de abscisas (Eje X) representa el ángulo de giro del cigüeñal [radianes] y el de ordenadas (Eje Y) la fuerza [Kg/cm], se traza una curva que representa la suma de las fuerzas tangenciales de inercia y de las fuerzas debida al gas, a lo largo de un ciclo de dos giros de cigüeñal (4π radianes), funcionando la máquina a un determinado régimen.

Posteriormente, se traza una recta horizontal que pase por un valor en el eje de ordenadas, el cual representa el valor medio de todas las fuerzas graficadas anteriormente. Esta recta cortará a la curva, quedando por debajo un área encerrada igual a la que quedará por encima. El valor de cualquiera de estas áreas (A) se utiliza para calcular el en exceso buscada (Aexc).

Siendo para el caso en estudio a un régimen $n = 2500$ [RPM], se obtuvieron los siguientes valores:

α	Tg	Th	Tg+Th
[rad]	[Kg]	[Kg]	[Kg]
0,00	0,00	0,00	0,00
0,26	-1,16	28,99	27,84
0,52	-4,38	54,92	50,54
0,79	-8,39	75,17	66,78
1,05	-12,62	87,96	75,34
1,31	-14,03	92,65	78,62
1,57	-14,31	89,78	75,47
1,83	-9,66	80,80	71,13
2,09	-5,38	67,55	62,17
2,36	-2,89	51,81	48,91
2,62	-1,39	34,86	33,47
2,88	-0,28	17,48	17,20
3,14	0,00	0,00	0,00
3,40	-1,16	-28,99	-30,15
3,67	-6,57	-54,92	-61,49
3,93	-11,98	-75,17	-87,15
4,19	-24,54	-87,96	-112,50
4,45	-29,54	-92,65	-122,19
4,71	-39,36	-89,78	-129,15
4,97	-51,52	-80,80	-132,32
5,24	-96,93	-67,55	-164,48
5,50	-156,92	-51,81	-208,73
5,76	-166,73	-34,86	-201,59
6,02	-118,44	-17,48	-135,93
6,28	0,00	0,00	0,00

6,54	730,35	28,99	759,34
6,81	963,18	54,92	1018,11
7,07	916,75	75,17	991,92
7,33	729,18	87,96	817,14
7,59	524,38	92,65	617,03
7,85	357,85	89,78	447,63
8,12	257,62	80,80	338,42
8,38	183,08	67,55	250,63
8,64	123,89	51,81	175,69
8,90	72,25	34,86	107,11
9,16	27,87	17,48	45,35
9,42	0,00	0,00	0,00
9,69	-23,11	-28,99	-52,11
9,95	-26,27	-54,92	-81,19
10,21	-29,96	-75,17	-105,13
10,47	-28,05	-87,96	-116,00
10,73	-29,54	-92,65	-122,19
11,00	-28,63	-89,78	-118,41
11,26	-19,32	-80,80	-100,12
11,52	-13,46	-67,55	-81,01
11,78	-6,19	-51,81	-58,00
12,04	-2,78	-34,86	-37,64
12,30	-0,70	-17,48	-18,18
12,57	0,00	0,00	0,00



Siendo P_g = Fuerzas tangenciales debidas al gas y T_h = Fuerzas tangenciales de inercia.

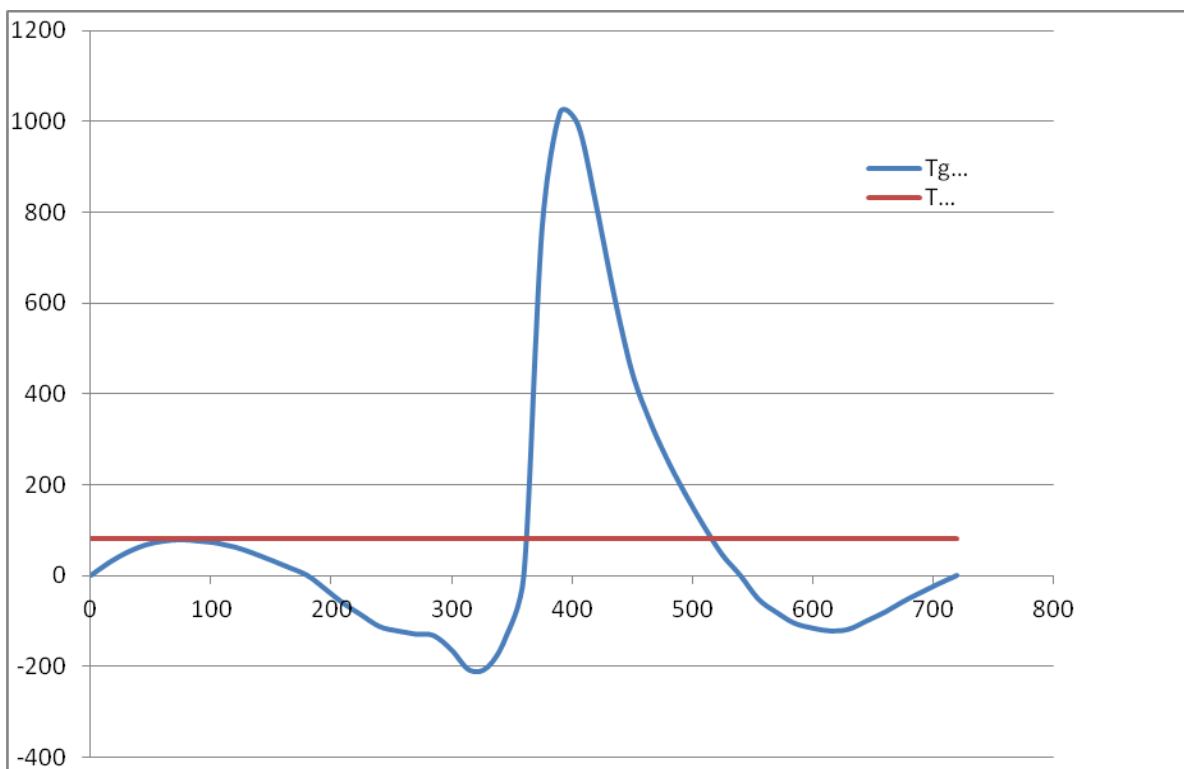
Posteriormente para calcular el área en exceso, desplazamos hacia abajo toda la curva correspondiente a $T_g + T_h$, en un valor equivalente al del valor medio de las fuerzas.

Valor medio =	81,254183	Kg
---------------	-----------	----

Luego calculamos el área encerrada entre el eje de abscisas y curva de la suma de fuerzas.

Para calcular el área encerrada en el gráfico, recurrimos a la sumatoria de Riemann para las sub áreas componentes, determinadas por el área de los “trapezios” formados entre dos valores consecutivos del eje X y la función que está por encima (o por debajo) del eje X. Para ello multiplicamos la base del trapecio ($\Delta X = 0,262$ porque α fue tomado en 48 intervalos de 15° que dividen a 4π radianes), por la altura media del mismo:

$$\text{Área del trapecio} = \Delta X \times (f(X) + f(X + \Delta X)) / 2$$



α [rad]	Integral	Area desplazada
0,00		
0,26	3,644	-17,628
0,52	10,260	-11,012
0,79	15,357	-5,915
1,05	18,603	-2,670
1,31	20,153	-1,120
1,57	20,170	-1,102
1,83	19,190	-2,082
2,09	17,449	-3,823
2,36	14,540	-6,732
2,62	10,784	-10,488
2,88	6,633	-14,639

3,14	2,252	-19,021
3,40	-3,947	-25,219
3,67	-11,996	-33,268
3,93	-19,457	-40,729
4,19	-26,134	-47,406
4,45	-30,721	-51,993
4,71	-32,900	-54,173
4,97	-34,226	-55,498
5,24	-38,851	-60,123
5,50	-48,853	-70,125
5,76	-53,711	-74,983
6,02	-44,181	-65,453
6,28	-17,793	-39,065
6,54	99,398	78,126
6,81	232,668	211,395
7,07	263,112	241,839
7,33	236,805	215,533
7,59	187,732	166,460
7,85	139,364	118,091
8,12	102,893	81,621
8,38	77,107	55,834
8,64	55,806	34,534
8,90	37,019	15,746
9,16	19,957	-1,315
9,42	5,936	-15,336
9,69	-6,821	-28,093
9,95	-17,449	-38,721
10,21	-24,389	-45,661
10,47	-28,946	-50,218
10,73	-31,180	-52,452
11,00	-31,495	-52,767
11,26	-28,605	-49,877
11,52	-23,710	-44,982
11,78	-18,197	-39,469
12,04	-12,519	-33,791
12,30	-7,306	-28,579
12,57	-2,379	-23,652

Las celdas marcadas representan los valores de las fuerzas para un intervalo determinado por valores extremos donde de manera aproximada las fuerzas se hacen nulas.

El área encerrada entre el gráfico y el valor medio para dicho intervalo es igual al área encerrada para el resto de los valores de α . El valor de dicha área multiplicado por el radio de la manivela nos da como resultado el área en exceso para $n=2.500$ RPM

n	Área	Aexc
2500	1219,18022	39,6233571

Cálculo de la regularidad de marcha a partir del factor de inercia global y el área en exceso:

La fórmula utilizada para calcular el factor de inercia es la siguiente:

$$GD^2 = (3580 \times A_{exc}) / (n^2 \times \delta_i)$$

Teniendo como datos el factor de inercia; el régimen de giro y el área en exceso para cada régimen, para calcular la regularidad de marcha δ_i a partir de la fórmula anterior reemplazo los valores:

$$\delta_i = (3580 \times A_{exc}) / (GD^2 \times n^2)$$

Obtuvimos así los siguientes resultados:

n	A _{exc} /r	A _{exc}	ä _i =
500	1051,70174	34,1803066	0,65001592
750	1065,02752	34,6133942	0,29255647
1000	1076,88542	34,998776	0,16639524
1250	1092,13129	35,4942668	0,10800062
1500	1110,76513	36,0998667	0,07628008
1750	1132,78695	36,8155757	0,05715359
2000	1158,19673	37,6413938	0,04473977
2250	1186,99449	38,5773209	0,03622889
2500	1219,18022	39,6233571	0,03014111

δ_i vs "n"

