



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

**Escuela Politécnica Superior
Departamento de Ingeniería Eléctrica**

Grado en Ingeniería Eléctrica

TRABAJO FIN DE GRADO

**Diseño de un Cargador de baterías
mediante generador de imanes
permanentes accionado desde
bicicleta estática**

Autor: David Rebollal Jordán

Profesora: Mónica Chinchilla Sánchez

Septiembre, 2014

Agradecimientos:

A mi padre, Luis, por enseñarme siempre, con paciencia, sus infinitos conocimientos.

A Mónica, por darme la oportunidad, confiar en mí y estar siempre ahí para ayudarme a no dejar de aprender.

A José, que sin su ayuda rápida y desinteresada, y sus conocimientos de mecánica, este diseño no habría salido.

A Elka, por acompañarme y animarme siempre a seguir queriendo tocar el cielo con los pies en la tierra.

A mi familia, a mis amigos.

A todos los que habéis hecho posible este trabajo, de corazón,

Gracias.

ÍNDICE

1	Introducción	5
1.1	Resumen.....	5
1.2	Problema que se plantea	5
1.3	Solución propuesta	6
1.4	Objetivo final	6
2	Instalación de partida	7
2.1	Premisas	7
2.2	Opciones de chasis	7
2.3	Preparación del chasis elegido.....	8
3	Diseño del prototipo	9
3.1	Elección y diseño del sistema de transmisión	9
3.2	Elección del generador.....	10
3.3	Diseño del eje, del volante de inercia y del soporte.....	11
3.4	Elección de la batería	11
3.5	Elección del regulador de carga	12
3.6	Puente rectificador.....	13
4	Montaje del prototipo	14
4.1	Origen de las piezas	14
4.2	Trabajo de acoplamiento	14
4.3	Instalación del tensor de cadena	14
4.4	Selección del velocímetro	15
4.5	Soporte para la batería	16
4.6	Ruedas para transporte del prototipo	16
5	Pruebas eléctricas en el primer generador 200W	18
5.1	Caracterización del generador	18
5.2	Cálculo de la resistencia de los arrollamientos.....	18
5.3	Ensayo de vacío	18
5.4	Ensayo de cortocircuito.....	19
5.5	Calculo de la impedancia síncrona.....	20
5.6	Parámetros del Circuito equivalente	21

5.7	Intento de prueba de carga de batería	22
6	Pruebas eléctricas en nuestro generador M20	25
6.1	Caracterización del generador	25
6.2	Cálculo de la resistencia de los arrollamientos.....	25
6.3	Ensayo de vacío	25
6.4	Ensayo de cortocircuito.....	26
6.5	Cálculo de la impedancia síncrona	27
6.6	Parámetros del circuito equivalente.....	28
7	Medida de la potencia entregada.....	30
7.1	Medida de potencia con carga $R=1,175 \Omega$ sin regulador.....	30
7.2	Medida de la potencia con carga $R=1,175 \Omega$ y regulador.....	32
8	Carga de baterías	33
8.1	El proceso de carga de baterías	33
8.2	Tiempo de iluminación con una recarga.....	38
9	Presupuesto	39
10	Conclusiones y propuestas futuras	40
11	Bibliografía.....	41
Anexo	42
	Hojas de características	42
	Tensión del Generador 200W	42
	Potencia del Generador 200W.....	42
	Tensión del Generador M20 500W.....	43
	Potencia del Generador M20 500W.....	43
	Regulador de carga.....	44
	Batería	45
	Tablas de datos de los ensayos	47

1 INTRODUCCIÓN

1.1 RESUMEN

En el presente trabajo se pretende desarrollar un prototipo capaz de cargar baterías de plomo a partir de la potencia humana de pedaleo, y medir la potencia eléctrica que es capaz de generar dicho sistema, susceptible de ser aprovechada para cualquier fin, como los planteados en el siguiente punto.

1.2 PROBLEMA QUE SE PLANTEA

Según las Naciones Unidas la electricidad está reconocida como una herramienta esencial para alcanzar los derechos humanos, a pesar de ello la cuarta parte de la población mundial, 1.600 millones de personas, carecen de ella, de las cuales se calcula que el 80% vive en zonas rurales. [1]

Además, el consumo energético se ha disparado en las últimas décadas, “el surgimiento de los combustibles fósiles, desarrolla una industria paralela que provoca un exceso de consumo [...] La primera consecuencia es social, porque el consumo de esa energía es desigual. La segunda y muy grave, son los impactos ecológicos [...] La cantidad de energía que se desperdicia con este modelo extractivista, termina afectando al conjunto del planeta. Este tipo de impactos en el medio ambiente afecta directamente a sociedades produciendo desplazamientos forzados de comunidades, pérdida de soberanía alimentaria, cultura, habitabilidad.” [2]

EL presente trabajo pretende dar respuesta a preguntas como: ¿Será posible en el futuro el autoabastecimiento de energía eléctrica a partir de la potencia humana? ¿Se aprovechará como fuente de energía que pueda sustituir a las provenientes de combustibles fósiles? ¿Ayudará a dimensionar con menor autonomía la capacidad de las baterías necesarias en una instalación de energías renovables aislada de red?

1.3 SOLUCIÓN PROPUESTA

La solución propuesta pasa por conseguir un sistema que abastezca la potencia generada por una persona para cubrir el consumo eléctrico de las aplicaciones más sencillas actualmente a nuestro alcance y de la manera más eficiente posible. Por lo que nuestro sistema debe ser capaz, a priori, de aportar alrededor de 100W a almacenadores eléctricos, consumos o cargas, principalmente en tensión continua a 12V o 24V.

Para lo cual se piensa, como en trabajos anteriores, en aprovechar la potencia humana de pedaleo, diseñando un sistema eléctrico que conste de generador, regulador, batería y carga, montado sobre la estructura de una bicicleta estática a la cual se le rediseña el sistema mecánico.

1.4 OBJETIVO FINAL

El objetivo final conocer las capacidades y las limitaciones de tecnologías como ésta basadas en el aprovechamiento de la energía producida por una persona para su propio consumo eléctrico, y plantear la viabilidad de seguir desarrollando tecnologías similares en un futuro, para que puedan aprovecharse, tanto para consumos básicos en zonas donde no hay acceso a otro recurso, como para reducir el tamaño y cantidad de los acumuladores en instalaciones a partir de energías renovables.

2 INSTALACIÓN DE PARTIDA

2.1 PREMISAS

Para la consecución de nuestros objetivos, en la creación de nuestro prototipo se parte de premisas como: la reutilización, ya casi en cualquier parte del mundo existen bicicletas en desuso de las cuales se pueden aprovechar gran número de piezas; la sencillez, reduciendo el número de piezas e intentando maximizar la eficiencia; accesibilidad, utilizando componentes que se puedan obtener sin mucha complicación y sin un coste elevado.

De esta manera se pretende que el prototipo sea reproducible y que se pueda aprovechar y perfeccionar allí donde se necesite.

2.2 OPCIONES DE CHASIS

Antes de elegir la bicicleta estática, se pensó en bicicletas de desplazamiento, se podría elegir entre bicicletas de montaña, de paseo o de carretera disponibles.

Pero la aparición de bicicleta estática antigua, cuyo destino era la basura, y que cuenta con un chasis de acero, que aporta estabilidad, y que además es resistente al trabajo mecánico de las modificaciones (taladros, soldaduras, etc.), nos hizo decantarnos por ella como base para nuestro prototipo.



Ilustración 1: Bicicleta estática BH de origen

2.3 PREPARACIÓN DEL CHASIS ELEGIDO

Se desmonta por completo, se lija y se pinta, se decide aprovechar, también, tanto el sillín como el manillar. Por otro lado se opta por dejar desmontadas las partes móviles, eje pedalier, bielas, pedales, plato, piñón cadena y rueda para el estudio de los componentes que conformarán el prototipo.

3 DISEÑO DEL PROTOTIPO

3.1 ELECCIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Nuestra bicicleta es estática y cuenta con un chasis de acero, lo que le da rigidez. La decisión que se tome en cuanto a la elección del sistema de transmisión ha de estar enfocada a minimizar las pérdidas y a aumentar las revoluciones desde el eje pedalier al eje del generador.

La primera y más sencilla de las opciones es conectar un rodillo de rozamiento de un soporte comercial de entrenamiento, con lo que se podrían conseguir con facilidad las revoluciones que interesen simplemente eligiendo el diámetro de dicho rodillo de rozamiento en contacto con la rueda de nuestra bicicleta. Además, debido al sistema de freno original de la bicicleta que consistía en un rodillo de goma que deceleraba la rueda por rozamiento, esta opción también es interesante, puesto que el perfil del neumático original de nuestra bicicleta es plano, con lo que se maximiza la adherencia de las partes en contacto. Sin embargo, si se trata de minimizar pérdidas, un sistema de transmisión basado en el rozamiento no resulta idóneo, por lo que esta opción se descarta.

Por ese motivo, y con la premisa de la búsqueda de la eficiencia, se decide que será un sistema de transmisión por cadena lo más sencillo posible, que conste solamente de una cadena, un plato y un piñón. De esta manera, reduciendo al mínimo las partes de la transmisión se reducen también las pérdidas en dicho sistema.

Pero esta decisión también tiene sus inconvenientes. Interesa aumentar las revoluciones entre los dos ejes, pero con este sistema se limita la relación de transformación. Para conseguir la máxima multiplicación se trata de conseguir el plato lo más grande posible y el piñón lo más pequeño posible.

Por ello se decide comprar en Francia, fabricado artesanalmente, un plato de 61 dientes, notablemente más grande que los que existen comercialmente, que rara vez superan los 52 dientes en bicicletas de carretera (42 dientes en bicicletas de montaña).

En cuanto al piñón, lo más pequeño sería utilizar un piñón fijo, pero supone una unión fija entre ambos ejes y esto puede ser un problema. Al dejar de dar pedales, la inercia del eje del generador haría que éste siguiera girando llevándose consigo el eje pedalier y pudiendo herir a la persona que pedaleaba.

Por lo tanto se decide elegir el piñón más pequeño que tenga mecanismo de trinquete, para que permita seguir girando con su inercia al eje del generador tras detenerse los pedales.

Con éste sistema de transmisión se trata de, además de maximizar la eficiencia, crear un sistema con pocas partes, las cuales sean reutilizadas en la medida de lo posible, de manera que sea sencillo de reproducir en cualquier parte del mundo.

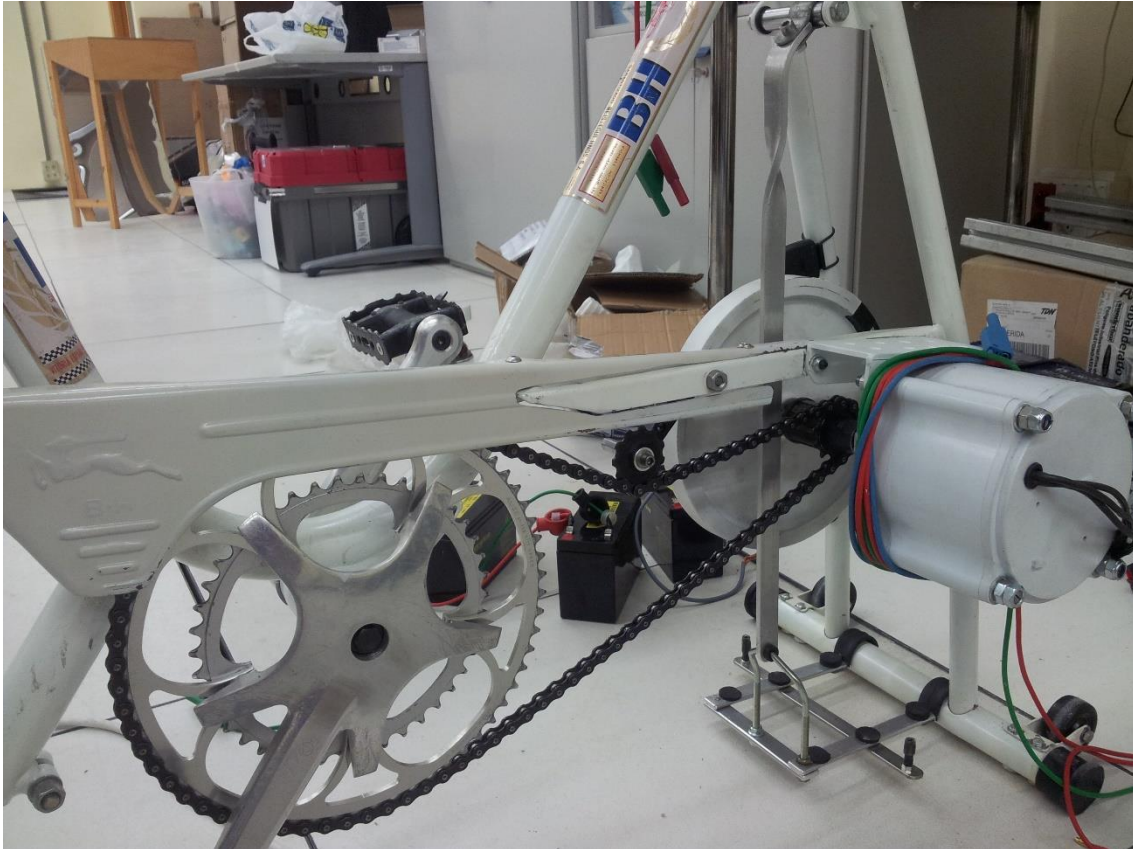


Ilustración 2: Detalle del sistema de transmisión. (En la imagen: plato, tensor, volante de inercia, generador y soporte de batería)

3.2 ELECCIÓN DEL GENERADOR

Con una cadencia de pedaleo normal, tenemos en el eje pedalier en torno a 70-100 rpm. Nuestra relación de transformación es de (61/11), así que se conseguirán en el eje del generador 400-500 rpm. Se pretende encontrar un generador cuyo punto de trabajo nominal, se encuentre cerca de estas revoluciones. No es muy común, pues suelen girar a un número mayor de revoluciones.

Además, se sabe que un adulto sano es capaz de entregar alrededor de 150 W y un ciclista profesional puede elevar esa cifra hasta los 400 W. Por lo que dicho

generador ha de tener una potencia entre 150 W y 400 W, que será la potencia entregada por la persona que pedalee.

Desde el primer momento se piensa en un generador de imanes permanentes, por las ventajas que ofrece en cuanto a mantenimiento, por la ausencia de devanado inductor, y por tanto de escobillas y anillos rozantes, piezas que sufren un desgaste importante.

Pronto se encuentra, de China, un generador que cumple dichas características y que además es compacto y tiene un precio reducido, es un generador síncrono trifásico de 200 W y cuyo rango de tensiones y velocidades se ajusta muy bien a nuestras exigencias, a priori.

Para este generador se mecanizaron la pieza de acoplamiento del eje y los taladros de soporte que se describen en el punto siguiente. Tras las primeras pruebas de carga de batería y de caracterización de la máquina se comprueba que el generador no funciona correctamente.

Ante la imposibilidad de repararlo se acaba tomando la decisión de comprar otro. Un generador, de Italia, con unas características similares al anterior pero de mayor potencia. Es un generador síncrono trifásico de imanes permanentes, de 500 W. Es necesario crear dos piezas, de conexión del eje y soporte, para acoplar el nuevo generador en el lugar del anterior.

3.3 DISEÑO DEL EJE, DEL VOLANTE DE INERCIA Y DEL SOPORTE

Partiendo del piñón elegido, y del generador inicial, así como de la estructura de la bicicleta estática, se piensa la manera de acoplarlo todo. Se diseñan dos piezas, que se fabricarán en acero, eje y el volante de inercia.

El eje será el encargado de conectar el generador directamente con el piñón, y a su vez con la estructura de la bicicleta mediante un cojinete empotrado en la. Estos componentes serán los encargados de

3.4 ELECCIÓN DE LA BATERÍA

En la elección de la batería se limita a las existentes en el laboratorio para así evitar el coste de comprar una nueva. Se decide aprovechar las baterías MHB

VRLA MS 7-12 y MS12-12¹, de plomo, 12V, y 7Ah y 12Ah respectivamente. Son del tipo VRLA (baterías reguladas por válvula) las cuales son estancas, con lo que no precisan mantenimiento, y dentro de este tipo son “AGM (Absorbent Glass Mat) en estas baterías, el electrolito se absorbe por capilaridad en una esfera de fibra de vidrio situada entre las placas. Este tipo de baterías, aunque poseen un tiempo de carga más largo que las baterías de gel, cuentan con un ciclo de descarga mayor.” [3]

3.5 ELECCIÓN DEL REGULADOR DE CARGA

En los sistemas de carga de baterías, el regulador se debe ajustar a las características de la batería, por eso se decide aprovechar también el regulador de carga disponible en el laboratorio. El Marlec Rutland HRSi², es un regulador híbrido solar-eólico que dispone de dos modos de funcionamiento 12V o 24V, el cual detecta automáticamente leyendo el nivel de tensión de las baterías conectadas a la salida.

En este regulador los ajustes pre-programados son apropiados para las baterías de plomo-ácido, las baterías AGM y la mayoría de las baterías de tipo gel. [4] Por lo tanto, en ese sentido, es idóneo para nuestro sistema.

Pero la entrada del regulador es tensión continua, y la salida de nuestro generador tensión es alterna trifásica.

¹ Se adjunta la hoja de características de ambas baterías en el Anexo.

² Se adjunta la hoja de características del regulador en el Anexo.

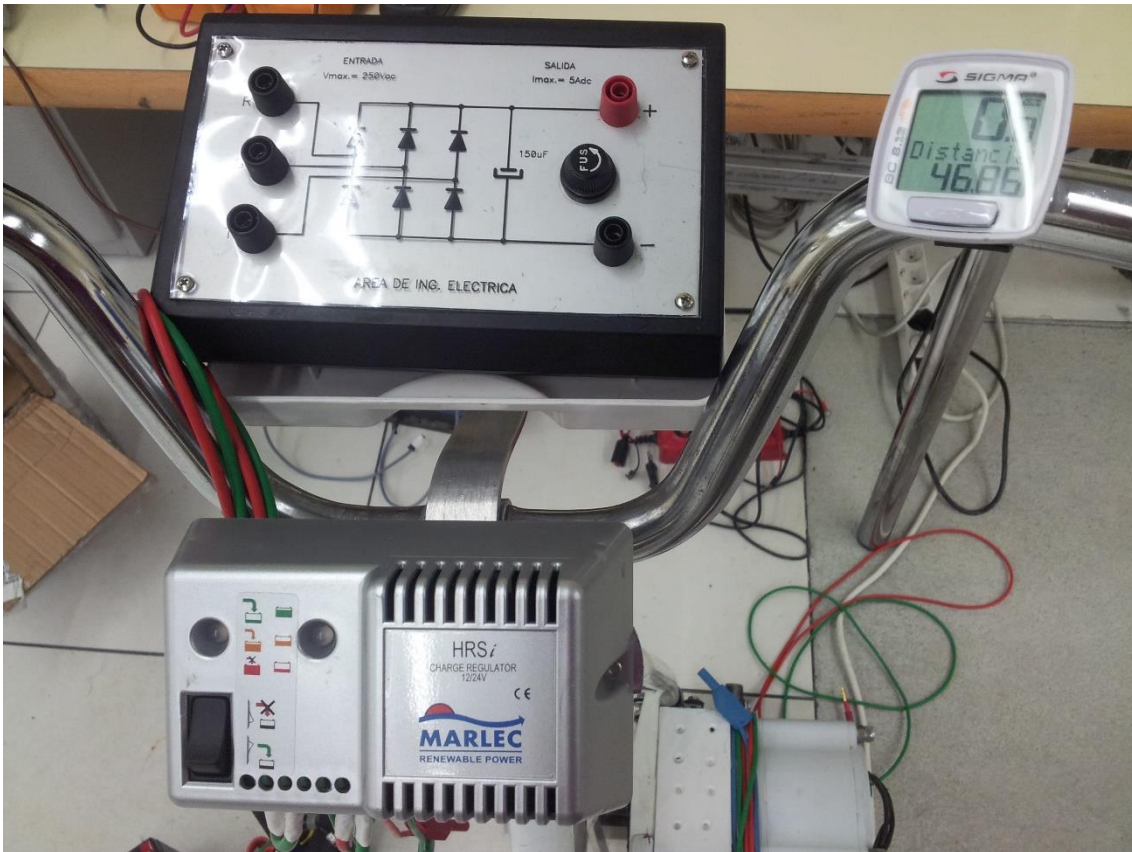


Ilustración 3: Rectificador, regulador de carga y velocímetro montados en el manillar

3.6 PUENTE RECTIFICADOR

Puesto que nuestro generador proporciona a la salida una tensión alterna trifásica, es necesario colocar entre éste y el regulador un rectificador, para lo que se elige el utilizado en las clases de laboratorio, un puente rectificador de 6 diodos con condensador a la salida.

4 MONTAJE DEL PROTOTIPO

4.1 ORIGEN DE LAS PIEZAS

De la bicicleta estática se ha reutilizado la estructura (con uno de los soportes de la rueda modificado), el sillín y el manillar.

Se han comprado el plato y el generador.

Para poder incorporar en nuestra bicicleta un plato tan grande es necesario disponer de un juego de bielas compatibles, en las cuales se acople dicho plato. Se han utilizado unas bielas de una antigua bicicleta de carretera compatibles con dicho plato. De dicha bicicleta se reutiliza también el cuadradillo y los rodamientos, que forman el eje pedalier, y los pedales. De una antigua bicicleta de montaña se ha reutilizado el piñón de 11 dientes.

Además, se han fabricado a medida el eje del lado del generador, el volante de inercia y, finalmente, el soporte del generador.

4.2 TRABAJO DE ACOPLAMIENTO

Debido al gran tamaño del plato, la estructura de origen no lo podía albergar, para darle cabida ha sido necesario modificarla realizando trabajos mecánicos. Ha habido que cortar, levantar, y a soldar más arriba la pletina de protección de la cadena, que de paso se ha aprovechado como soporte para el generador.

Una vez terminado este trabajo de soldadura se ha procedido a lijar, limpiar y pinar por completo la bicicleta, tanto la estructura como las piezas fabricadas.

Por último se han instalado todos los componentes, se ha cortado la cadena a medida, limpiado, engrasado y colocado en su lugar.

4.3 INSTALACIÓN DEL TENSOR DE CADENA

Las primeras pruebas mecánicas han dado como resultado saltos en la cadena, que se acaba saliendo del piñón. Esto se debe a que el piñón reutilizado procede

de un casete de más piñones, y están diseñados con cada diente ligeramente girado hacia un lado para facilitar el salto de la cadena de un piñón a otro, cuando se cambia de velocidad. Esta característica nos perjudica y, ante la imposibilidad de enderezar los dientes para alinearlos (son demasiado duros y podrían partirse), se opta por incluir un tensor de cadena, elemento que, mediante un resorte, ayuda a mantener la cadena engranada en el piñón.

Tras las siguientes pruebas se confirma que ésta ha sido una solución óptima.



Ilustración 4: Detalle del tensor de cadena

4.4 SELECCIÓN DEL VELOCÍMETRO

Una vez el sistema está funcionando dinámicamente bien, y antes de pasar a realizar las pruebas eléctricas, es necesario conocer con exactitud las revoluciones a las que gira el eje del generador.

La primera opción consiste en reparar e incorporar el velocímetro original con el que contaba la bicicleta. Pero es analógico, lo que dificulta ligeramente la exactitud de las medidas, y además la reparación consiste en conseguir el cable

particular con cuadradillo para cuentakilómetros antiguo, lo cual se complica y se decide pasar a la siguiente opción.

Se opta finalmente por comprar un velocímetro digital, un modelo al que se le puede programar al milímetro la longitud de la circunferencia de la rueda. Gracias a esta función se encuentra una equivalencia 10/1, directa y que hace sencilla la toma de medidas. Programándolo para una longitud de 1667 milímetros, las revoluciones por minuto del generador serán diez veces los kilómetros por hora que se muestran en la pantalla digital (por ejemplo, cuando el generador gira a 386 rpm la pantalla muestra 38,6 km/h).

El imán del velocímetro se coloca en el volante de inercia.

4.5 SOPORTE PARA LA BATERÍA

Dado que la batería es uno de los elementos que componen nuestro sistema que más masa tiene, se decide crear un compartimento para alojarla.

Se hace a partir de pletinas de aluminio reutilizadas, a las cuales se les ha dado forma, intentando conseguir un sistema compacto que no salga de la línea de la estructura de la bicicleta para no desestabilizar el sistema, y reducir la longitud del cableado necesario, que además se recomienda lo menor posible entre el regulador y la batería (menor que 1,5m).

Por ello la barra que sustenta el soporte de la batería baja desde la columna de dirección pasando entre el volante de inercia y la cadena, cerca del eje del generador hasta formar una base a ras de suelo donde se aloja la batería.

Este soporte es solidario a la bicicleta, siendo una unidad más de nuestro sistema, que no hace falta separar la batería si necesitamos desplazar el prototipo.

4.6 RUEDAS PARA TRANSPORTE DEL PROTOTIPO

Una vez que nuestro prototipo está completo, cuando es necesario moverlo, nos damos cuenta de que al ser en origen una bicicleta estática y haber ganado masa con nuestras modificaciones es complicado desplazarse con él, por lo que se decide la instalación de unas ruedas.

Las ruedas están colocadas en la parte delantera, que es la que más peso soporta, ligeramente por encima de las patas delanteras, de manera que éstas no tocan el suelo cuando la bicicleta está en posición normal, con lo que no se pierde estabilidad al tener sus cuatro patas apoyadas.

Cuando se levanta ligeramente la parte trasera de la bicicleta las cuatro patas dejan de hacer contacto con el suelo, y la bicicleta se sustenta únicamente sobre las dos ruedas en la parte delantera, con lo que se hace mucho más sencillo que una persona sola se desplace con el prototipo.

5 PRUEBAS ELÉCTRICAS EN EL PRIMER GENERADOR 200W

5.1 CARACTERIZACIÓN DEL GENERADOR

Con el sistema funcionando dinámicamente bien, ya es posible realizar las primeras pruebas eléctricas que permitan caracterizar el generador.

5.2 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS

Para el cálculo de la resistencia se alimenta con tensión continua entre dos bornes de la máquina y se mide la corriente continua que circula, de manera que el valor de la resistencia es el cociente entre la tensión aplicada y la corriente medida

$$R = \frac{V}{I} = \frac{1V}{1.02A} = 0,98 \Omega \quad (1)$$

Suponiendo que los arrollamientos del estator tienen una configuración en estrella, la resistencia del arrollamiento de cada fase, será la mitad de la calculada:

$$R = 0,49 \Omega$$

Más tarde se abrirá el generador y observando los arrollamientos en el interior se confirmará que la suposición de conexión en estrella es correcta.

Por otro lado se comprueba este valor con un multímetro, midiendo la resistencia entre dos bornes y comparando el valor medido con el calculado anteriormente se comprueba que es correcto.

5.3 ENSAYO DE VACÍO

El ensayo consiste en variar gradualmente la velocidad de giro del rotor, y medir la tensión V que aparece en bornes del estator que, al no circular corriente, coincide con la E_0 (Fem).

La característica de vacío se observa en la siguiente figura:

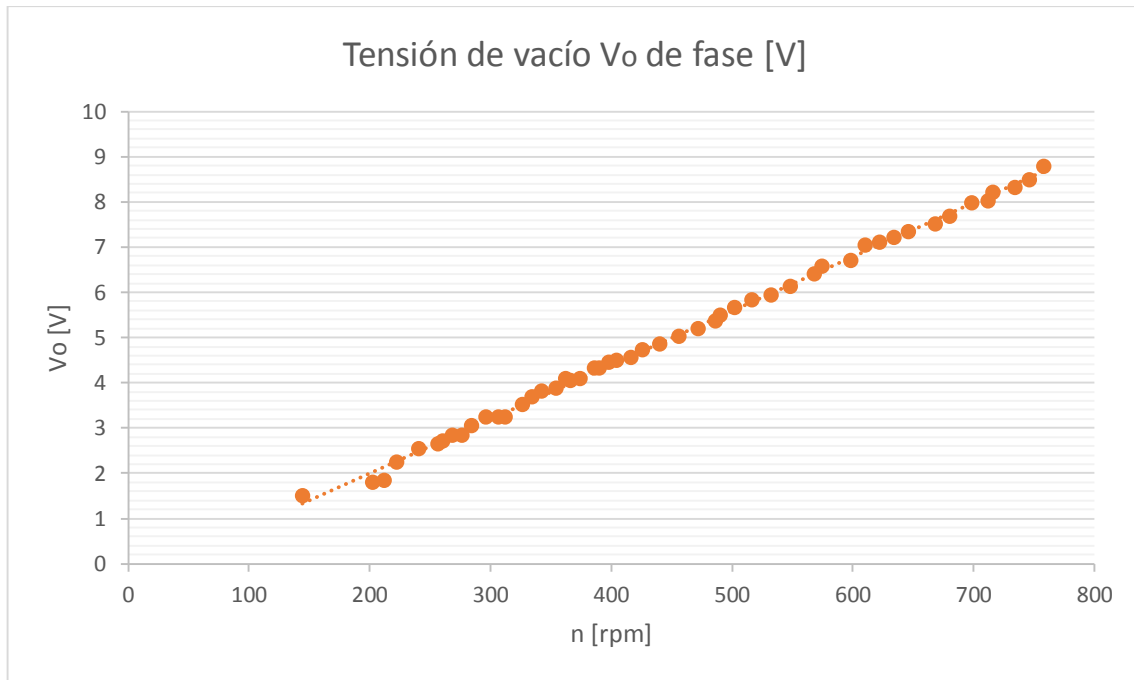


Figura 1: Ensayo de vacío del primer generador 200W

Se puede observar como no aparece la característica de saturación a altas velocidades, manteniendo el generador un comportamiento lineal.

5.4 ENSAYO DE CORTOCIRCUITO

Para este ensayo se cortocircuitan las tres fases del generador y se hace girar el rotor observando el crecimiento de la corriente de cortocircuito por los devanados estáticos. La característica de cortocircuito obtenida en este ensayo se puede observar en la figura siguiente:

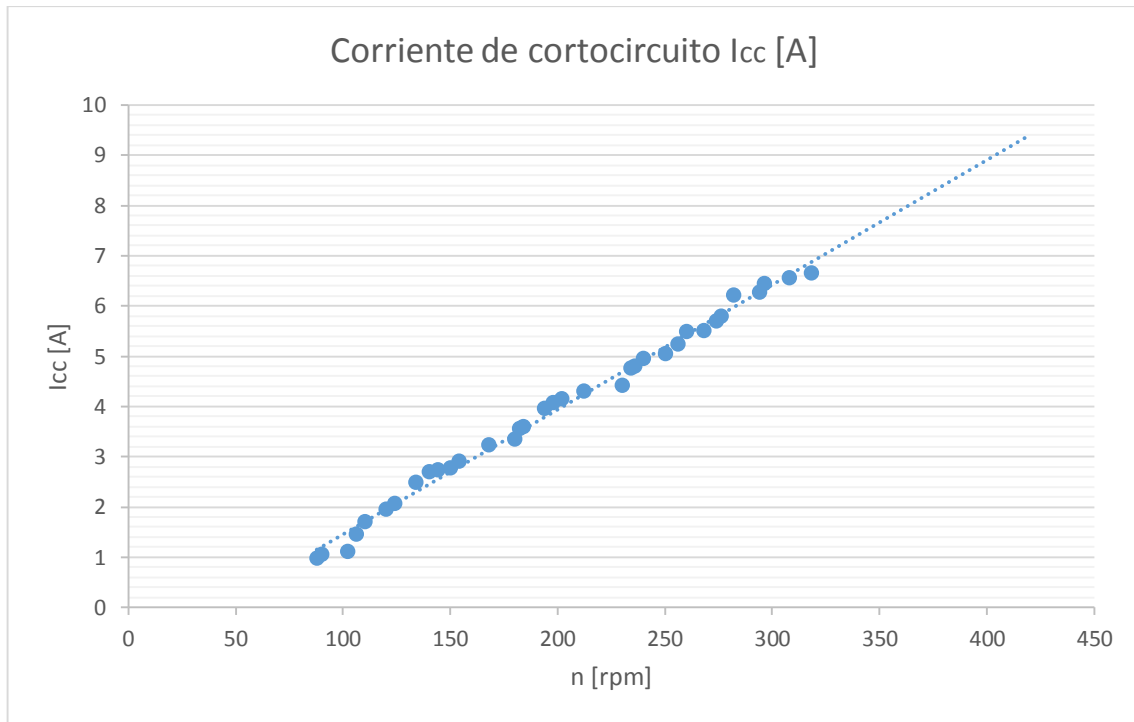


Figura 2: Ensayo de cortocircuito del primer generador 200W

5.5 CALCULO DE LA IMPEDANCIA SÍNCRONA

Una vez obtenida la tensión de vacío y la corriente de cortocircuito, ambas por fase, se puede calcular la impedancia síncrona.

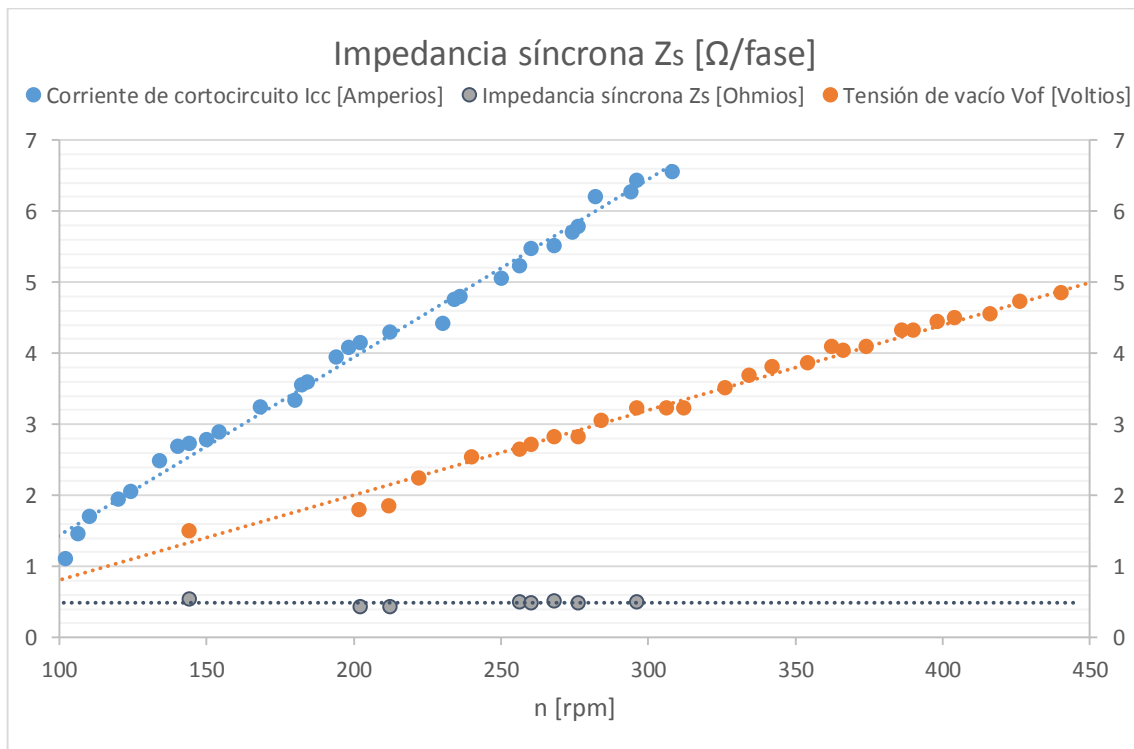


Figura 3: Impedancia síncrona del primer generador 200W

En nuestros ensayos se observa como la característica de vacío no llega a saturarse, manteniendo una progresión lineal. La característica de cortocircuito, como era de esperar, también es lineal, por lo que con el cálculo de la impedancia síncrona se obtiene un valor estable, en torno a $0,5 \Omega$.

5.6 PARÁMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE

El circuito equivalente de la máquina síncrona se muestra en la figura siguiente:

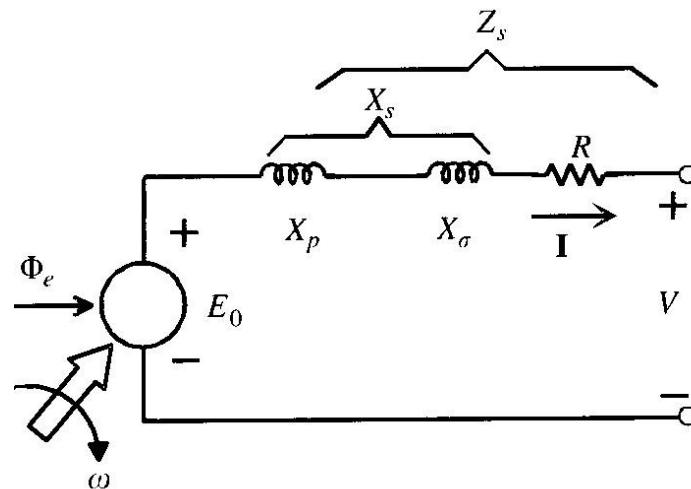


Figura 4: Circuito equivalente de la máquina síncrona [6]

Donde:

X_s es la reactancia síncrona (formada por la reactancia de dispersión X_σ , y por la reactancia de reacción de inducido X_p).

Z_s es la impedancia síncrona, obtenida en el apartado 5.5.

R es la resistencia de los arrollamientos, obtenida en el apartado 5.2.

E_0 es la F.e.m inducida, E_0 para cada valor de n viene dada por la característica de vacío.

V es la tensión de salida.

X_s se puede obtener de la ecuación:

$$Z_s = R + jX_s \quad (2)$$

El módulo de X_s es:

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R^2} = \sqrt{0,5^2 - 0,49^2} = 0,1 \Omega \quad (3)$$

Todas estas magnitudes son de fase.

5.7 INTENTO DE PRUEBA DE CARGA DE BATERÍA

Una vez obtenidos los parámetros del circuito equivalente, mostrados en la figura anterior, se pretende realizar un ensayo de carga de la batería AGM de 12 V y 7 Ah.

Siguiendo las indicaciones del fabricante del regulador para proteger a la batería, en primer lugar se conecta la batería al regulador. Después el generador más el rectificador se conectan también al regulador.

Para conseguir que el regulador empiece a cargar la batería se tienen que sobrepasar 470 rpm, por encima de la velocidad nominal.

En esta prueba de carga, el sistema no carga a la velocidad nominal de la máquina 450 rpm, solamente empieza a cargar a partir de 470 rpm, que es una velocidad alta (justo cuando se consiguen los 12V de continua a la salida del rectificador). A unas revoluciones de 500 rpm - 550 rpm (que se pueden mantener en el tiempo, pero con dificultad) la corriente que carga la batería es de aproximadamente 0.15 A, pero si la velocidad del generador aumenta a más 750 rpm la corriente de carga crece hasta 1.5 A. Esta velocidad no se puede mantener por más de unos pocos segundos. Además los datos obtenidos arrojan una generación de potencia muy baja por parte de nuestro generador.

Se sospecha que el generador está estropeado, por lo que se procede a comprobar el flujo creado por los imanes.

A continuación se muestran los valores medios del flujo magnético creado por imanes en función de su composición:

A partir del ensayo en vacío se obtiene el flujo del imán, como pendiente de la recta de la característica de vacío:

$$E_{of} [V] = \psi [V \cdot s] \cdot \Omega [rad/s] \quad [7](4)$$

El flujo resultante es:

$$\psi = 0,1 [V \cdot s]$$

Este dato confirma que los imanes están estropeados, pues los valores entre los que debería estar el flujo magnético creado por imanes de neodimio, comprobándolo con los valores de otros generadores conocidos, son:

$E_{0f}[V] = 19,45[V \cdot s] \cdot \Omega[rad/s]$ para un generador de 20 kW (imanes NdFeB pegados en rotor, interno, 12 polos) [8]

$E_{0f}[V] = 30,95[V \cdot s] \cdot \Omega\left[\frac{rad}{s}\right]$ generador de 20 kW (imanes NdFeB pegados en rotor, externo, 84 polos) [8]

La primera intención es reparar el generador.

Se abre el generador, se observa en el estator que la conexión de los bobinados está en estrella, que tiene 6 pares de polos, 36 ranuras, ranurado excéntrico de una sola capa, y en el rotor 12 imanes.

Ante la imposibilidad de volver a imantarlos, se intenta reemplazarlos, pero ninguno de los talleres a los que se acude se quiere hacer cargo de la reparación de un generador que no han fabricado ellos mismos. Como alternativa se plantea pedir la fabricación a medida de los imanes a una fábrica para posteriormente intentar reemplazarlos nosotros mismos, pero en la fábrica nos comunican que para realizar imanes a medida el pedido mínimo es de 100 unidades, y nosotros solamente necesitamos 12, lo que hace inviable también esta solución.

Puesto que se consigue repararlo, se decide comprar otro generador.



Ilustración 5: El interior del generador de 200W

6 PRUEBAS ELÉCTRICAS EN NUESTRO GENERADOR M20

6.1 CARACTERIZACIÓN DEL GENERADOR

Tras instalar las piezas de acople y realizar los necesarios ajustes, ya es posible realizar las primeras pruebas eléctricas que permitan caracterizar el generador.

6.2 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS

Al igual que con la máquina anterior, se supone conexión en estrella, se alimenta con tensión continua entre dos arrollamientos y se mide la corriente circulante.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{1V}{0.53A} = 1,88 \Omega \quad (5)$$

La resistencia de cada arrollamiento es la mitad de la calculada:

$$R = 0,94 \Omega$$

6.3 ENSAYO DE VACÍO

El ensayo de vacío de una máquina síncrona consiste, se alimenta el devanado del inductor con una corriente continua de valor constante y se hace girar el rotor, mediante un motor externo, hasta la velocidad de sincronismo. Se va aumentando la corriente en el devanado inductor y midiendo el valor de la tensión inducida en cada fase, sin carga.

Lo que se obtiene en el ensayo de vacío es la relación entre el valor eficaz de la tensión en bornes en circuito abierto y la intensidad del rotor, y se denomina *característica de vacío* del alternador. [5]

Como nuestro generador es una máquina síncrona de imanes permanentes carece de circuito inductor en el rotor, en su lugar cuenta con imanes de Ne-Fe-Bo, que generan un flujo magnético que al girar respecto del estator induce una Fem en los arrollamientos de éste.

Por tanto, nuestro ensayo consiste en variar gradualmente la velocidad de giro del rotor, y medir la tensión V que aparece en bornes del estator que, al no circular corriente, coincide con la E_0 (F_{em}).

La siguiente figura representa la característica de vacío obtenida en este ensayo:

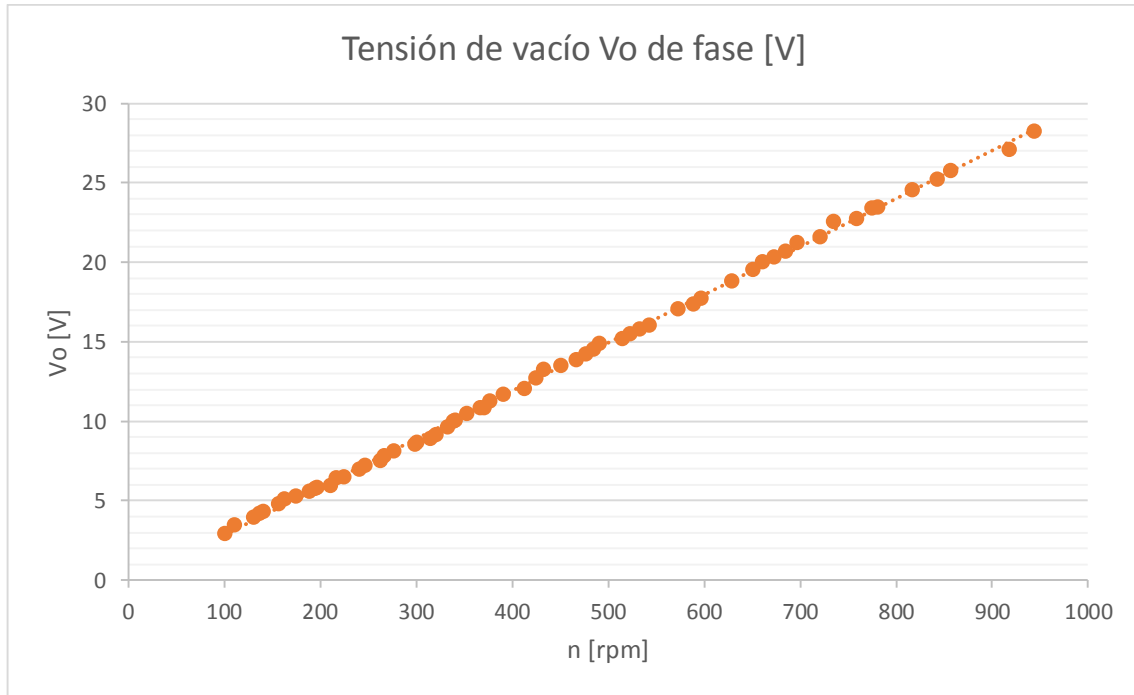


Figura 5: Ensayo de vacío del generador M20 500W

Lo normal es que en el ensayo de vacío de una máquina aparezcan dos zonas diferenciadas. Una zona lineal en la que la relación entre n y V_0 es lineal, y otra zona de saturación en la que el comportamiento deja de ser lineal y a medida que se aumentan las revoluciones por minuto la tensión de salida del generador no crece en la misma proporción debido a que el circuito magnético entra en saturación.

En nuestro caso vemos que la zona de saturación no aparece y que el comportamiento se mantiene lineal incluso llegando a un número de revoluciones por minuto un 50% mayor que el nominal, que son 600 rpm.

6.4 ENSAYO DE CORTOCIRCUITO

Este ensayo consiste en cortocircuitar los arrollamientos e ir aumentando la corriente de excitación en el rotor, mientras se mide la corriente en los arrollamientos del estator, hasta que ésta última sea la nominal.

Como se trata de una máquina de imanes, al igual que en ensayo anterior, se sustituye el aumento progresivo de la corriente de excitación en el rotor, por el aumento progresivo de las revoluciones por minuto a las que gira el eje del rotor.

Estos son los datos obtenidos en este ensayo:

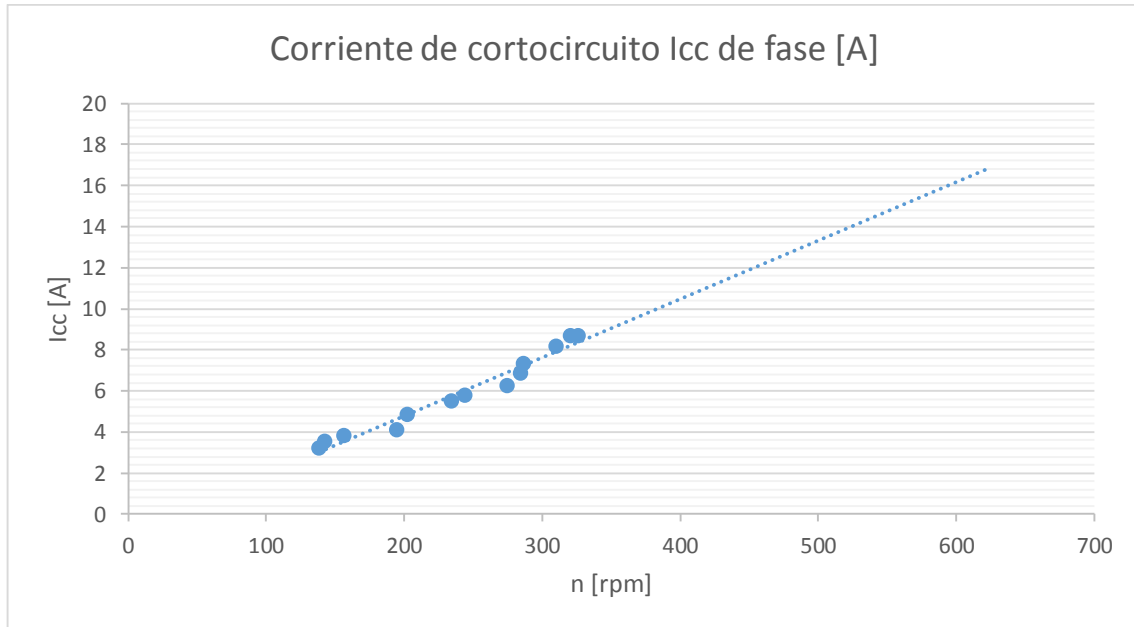


Figura 6: Ensayo de cortocircuito del generador M20 500W

En la siguiente figura se puede apreciar el circuito equivalente en cortocircuito y su diagrama fasorial. En este caso el circuito es completamente inductivo, lo que significa que la f.m.m. de reacción del inducido se opone a la f.m.m. del inductor, por lo que produce una reacción antagonista o desmagnetizante, que tiende a reducir la f.m.m. resultante. [6]

Esto hace que la máquina se comporte como un freno y que sea imposible alcanzar mayores velocidades angulares en este ensayo de cortocircuito. El comportamiento de la corriente de cortocircuito respecto a la velocidad angular en el rotor describe una evolución lineal. Por ello, y dado que no se pueden obtener mayores velocidades en el ensayo, se extrapola la línea de tendencia de los valores de dicha corriente para así visualizar mejor su evolución y poder relacionarla con la tensión de vacío.

6.5 CÁLCULO DE LA IMPEDANCIA SÍNCRONA

El valor de la impedancia síncrona se calcula a partir de los dos ensayos anteriores, dividiendo la tensión de vacío entre la corriente de cortocircuito para cada valor de la velocidad angular en el rotor.

Los resultados obtenidos se reflejan en la siguiente figura:

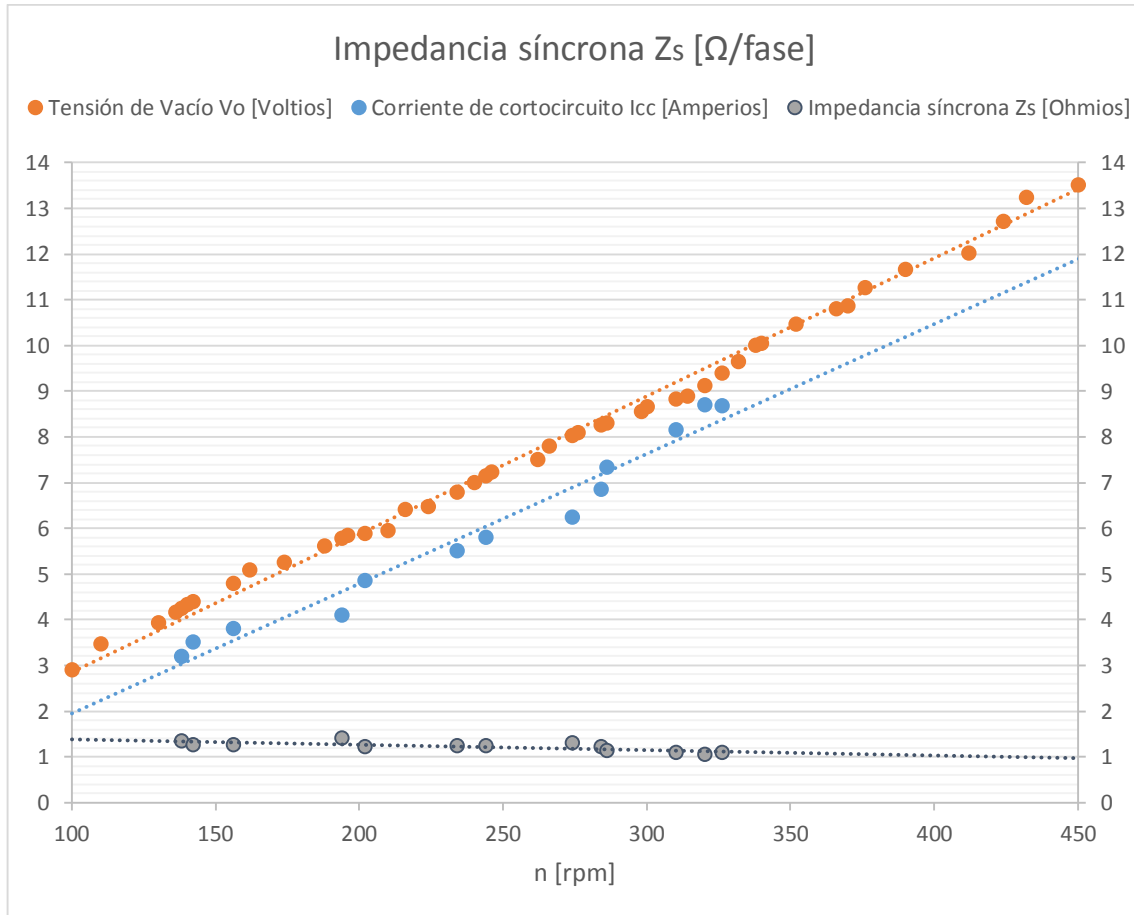


Figura 7: Obtención de la impedancia síncrona

Cuando aparecen dos zonas diferenciadas en el ensayo de vacío, en la obtención de la impedancia síncrona también se ven reflejadas estas dos zonas, de manera que la impedancia síncrona está en torno a un valor en la zona lineal y en torno a otro valor en la zona de saturación, lo que da lugar a la impedancia síncrona lineal y la impedancia síncrona saturada.

En nuestro caso, solamente se nos presenta un comportamiento lineal, por lo que, del cálculo de la impedancia síncrona obtenemos solamente la lineal. Como se puede apreciar en la gráfica anterior, el valor de la impedancia síncrona es aproximadamente de 1,21 Ohmios.

6.6 PARÁMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE

Los parámetros más importantes del circuito equivalente no saturado con el nuestro son:

E_0 para cada valor de n viene dada por la característica de vacío.

V es la tensión de salida.

R es la obtenida en el apartado 6.2.

Z_s es la obtenida en el apartado 6.5.

El módulo de X_s se puede obtener de la ecuación:

$$Z_s = R + jX_s \quad (6)$$

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R^2} = \sqrt{1,21^2 - 0,94^2} = 0,76 \Omega \quad (7)$$

Todas estas magnitudes son de fase.

7 MEDIDA DE LA POTENCIA ENTREGADA

7.1 MEDIDA DE POTENCIA CON CARGA $R=1,175 \Omega$ SIN REGULADOR

Para la medida de la potencia entregada, en la primera prueba no se ha conectado el regulador de carga. El sistema, por tanto, queda formado por el generador, el rectificador, y la carga. La carga elegida ha sido una resistencia de $1,175 \Omega$, como indica la figura:

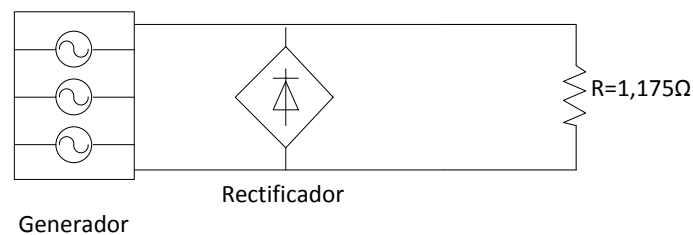


Figura 8: Medida de la potencia generada con carga $R=1,175 \text{ [Ohm]}$

En esta prueba se toman medidas antes y después del rectificador, es decir en la parte trifásica y en la parte continua.

Por un lado se mide el valor eficaz de la tensión de línea en bornes del generador y el de la corriente de línea, y por el otro lado se miden tensión continua y corriente continua a la salida del rectificador. Se pretende comparar la potencia activa trifásica dada por la siguiente expresión:

$$P [W] = \sqrt{3} \cdot V_l \cdot I_l \quad (8)$$

Y la potencia en continua dada por la siguiente expresión:

$$P [W] = V \cdot I \quad (9)$$

Los resultados de esta prueba se muestran en las siguientes figuras:

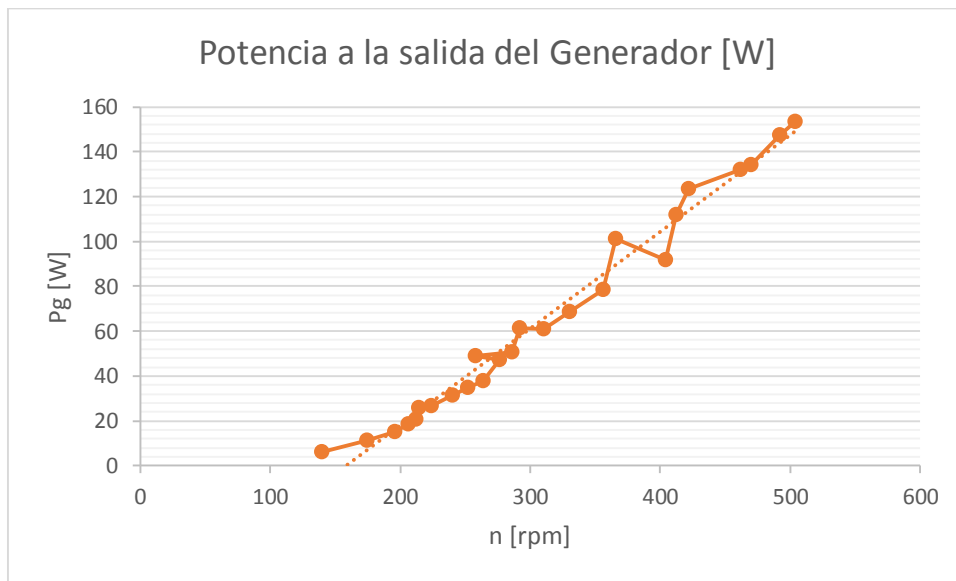


Figura 9: Potencia a la salida del generador [W]

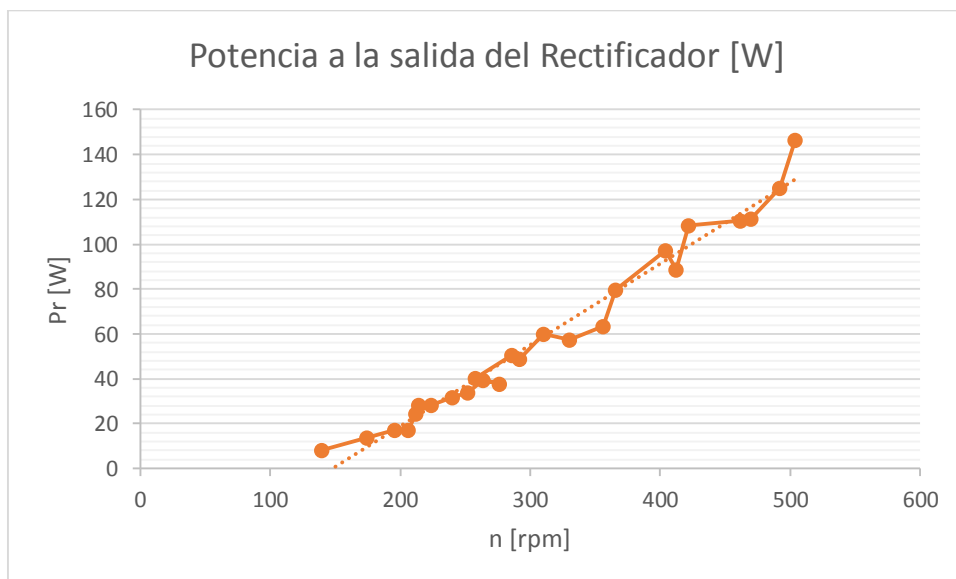


Figura 10: Potencia a la salida del rectificador [W]

Se comprueba que son prácticamente idénticas, las variaciones en las medidas se deben a las pérdidas en el rectificador y los conductores.

7.2 MEDIDA DE LA POTENCIA CON CARGA $R=1,175 \Omega$ Y REGULADOR

La carga elegida también ha sido una resistencia de $1,175 \Omega$. En este caso el esquema montado es el siguiente:

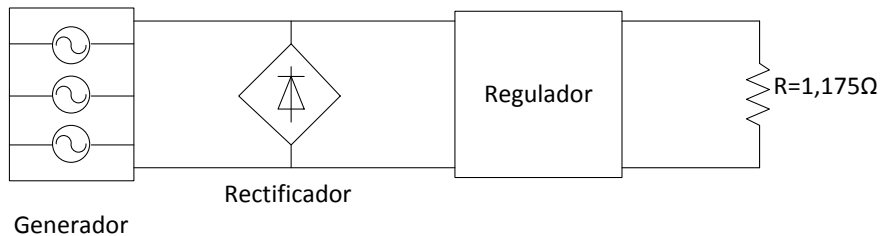


Figura 11: Medida de la potencia generada con regulador y carga $R=1,175 \text{ [Ohm]}$

En la prueba se obtienen los siguientes resultados:

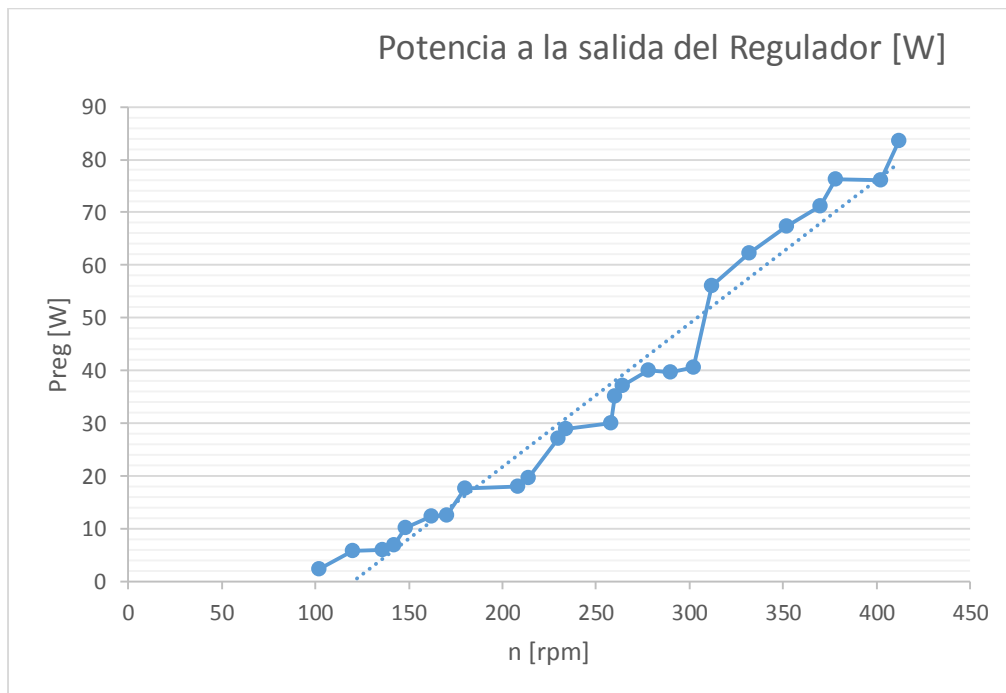


Figura 12: Potencia a la salida del regulador [W]

Se puede observar como en este caso la potencia entregada por el sistema es considerablemente menor debido al rendimiento del regulador, que en cualquier caso es superior a 0,7 por lo que resulta un resultado favorable, pues si extrapolamos los resultados hasta 600 rpm (la velocidad nominal) se podría llegar a entregar más de 100W.

8 CARGA DE BATERÍAS

En los primeros intentos de carga de baterías a 12V, tanto de 7 Ah como de 70 Ah, surge una complicación. Tan pronto como se empieza a cargar la batería, la tensión en ella sube por encima de 13 V, y al leer dicho voltaje en bornes de la batería, el regulador frena al generador, enviando la corriente hacia unas resistencias de derivación y evitando así la sobrecarga de la batería. Esto ocurre porque la tensión de entrada al regulador supera los 13V, y puesto que no cuenta con un convertidor DC/DC, también lo hace la tensión a la salida. Por lo que la carga se debe hacer a la velocidad a la que se obtenga a la salida la tensión deseada.

La velocidad angular para este rango de tensión de 12 V es muy baja, 250rpm, y por lo tanto la potencia entregada también lo es. En estos ensayos la corriente de carga no suele superar 1 A.

Como se pretende que el sistema entregue la mayor energía instantánea posible, se deberían cargar 2 baterías de 12 V en serie, con lo que se entregaría la energía a un nivel de tensión de 24 V, y a ese rango de revoluciones el generador entrega más potencia. Pero las pruebas de intentar cargar con este sistema a 24 V tampoco han sido favorables.

Otro factor limitante es la corriente aceptada en la carga por cada tipo de batería, por lo que a fin de evitar daños en el acumulador, previamente se estudia el proceso de carga de baterías.

8.1 EL PROCESO DE CARGA DE BATERÍAS

Una batería es un acumulador electro-químico, concepto que, aunque no se va a profundizar en este campo en este trabajo, es conveniente tener en cuenta para comprender el comportamiento de la batería en el proceso de carga.

La batería está compuesta por un conjunto de celdas en su interior (en el caso de la batería plomo AGM de 12V son 6 celdas en serie, 2V por celda).

La velocidad de las reacciones químicas en el interior de dichas celdas delimita cuán rápido se puede realizar la carga. Si el proceso de carga se intenta hacer más rápido de lo que la química del interior permite, aportando más corriente de la

admisible, aparecen reacciones en el interior no deseadas porque generan gases y sobrecalentamiento, con lo que se daña la batería.

El circuito equivalente Thevenin, simplificado y despreciando el transitorio, de una batería es el siguiente:

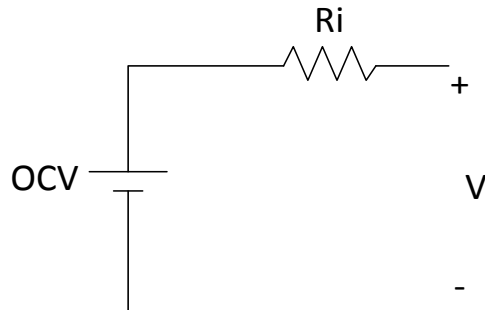


Figura 13: Circuito equivalente simplificado de una batería

La tensión OCV es la tensión a circuito abierto (por sus siglas en inglés), y es la tensión que aparece en bornes de la batería V, cuando no tiene carga.

Cuando se conecta una carga, la corriente circula, y la tensión V será:

$$V = OCV - I \cdot R_i \quad (10)$$

La resistencia R_i debería ser la resistencia equivalente, suma de la resistencia interna y la transitoria que se ha despreciado. Sin embargo, el significado de “resistencia interna” tiene que ser considerado con alguna precaución en una batería, porque que no se trata de una simple resistencia óhmica que causa una caída de tensión certera en respuesta al flujo de corriente. [10]

Cuanto mayor sea la corriente circulante la caída de tensión en la resistencia hace que, en la carga, la tensión V sea mayor, lo que si ésta aumenta mucho, se detiene el proceso de carga, para evitar la consiguiente peligro por sobrecarga.

La corriente de carga se suele dar en función de la capacidad de la batería. Para una batería de 7 Ah, por ejemplo, el fabricante solamente asegura que esa capacidad se cumplirá con el criterio C_{20} , que quiere decir que durante veinte horas la batería será capaz de aportar una corriente en Amperios I_{20} , veinte veces inferior a la capacidad en Amperios hora:

$$I_{20}[A] = \frac{C [Ah]}{20} \quad (11)$$

Por lo que, cuanto mayor sea la corriente demandada, no solo la resistencia equivalente será mayor, sino que además la capacidad real disminuirá.

La tensión máxima de carga para baterías de plomo estancas VRLA es de 2,40 V por celda.[12]

En la siguiente figura se puede apreciar como es mayor el aumento del voltaje por celda en función de la corriente de carga (la corriente viene expresada en función de la capacidad en Ah) para una batería de plomo estanca, en una carga a corriente constante:

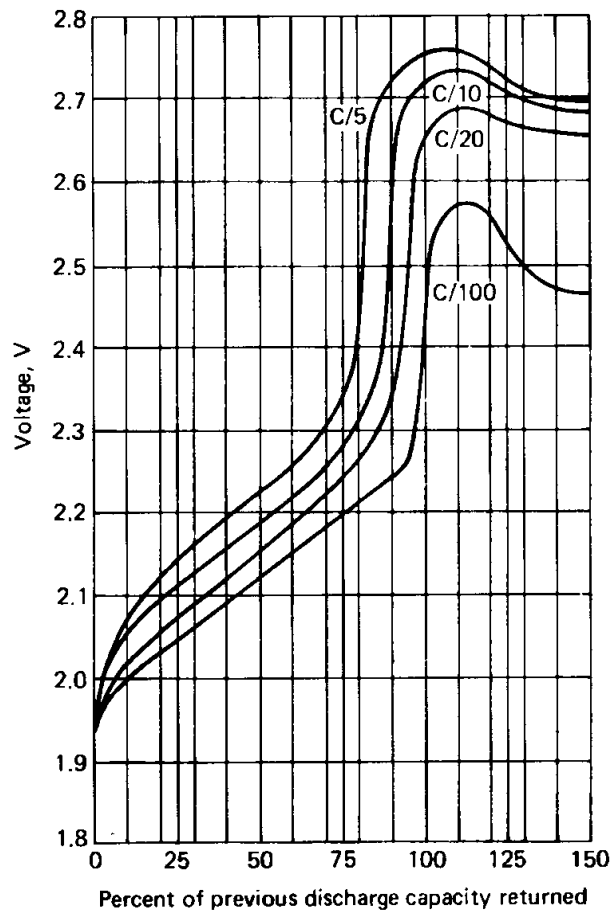


Figura 14: Aumento del voltaje por celda en función de la corriente de carga [11]

La siguiente figura representa el tiempo de carga para una batería de plomo estanca de 2,5 Ah de capacidad, en función de la corriente de carga:

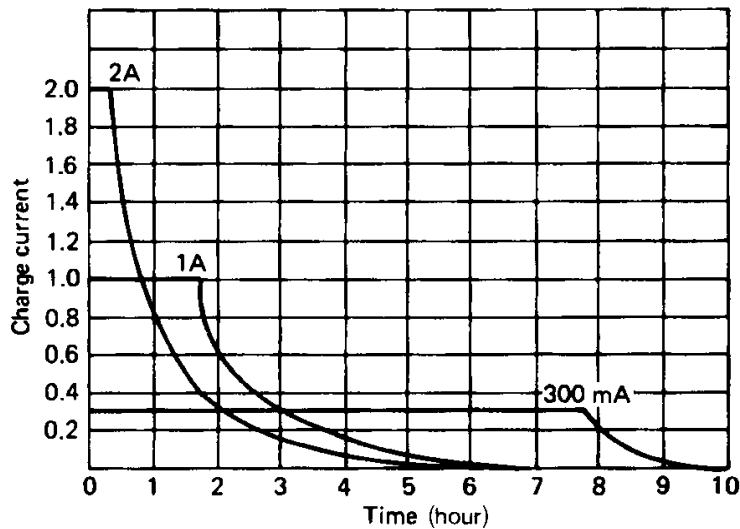


Figura 15: Tiempo de carga para una batería de 2,5 Ah en función de la corriente de carga [11]

En la gráfica anterior se observa como una de las cargas se realiza a una corriente en Amperios 0,8 veces la Capacidad en Amperios hora. En la práctica la norma de Aenor nos limita más ese parámetro para baterías de plomo VRLA, según la Norma:

Las baterías se deben cargar a una temperatura ambiente de 25°C.

1) Carga a tensión constante

- durante un periodo de 16h,
- o hasta que la corriente no varíe más del $2,1 \times I_{20}$ durante un periodo de dos horas consecutivas.

La carga a tensión constante se debe realizar

- a) a una tensión constante, recomendada por el fabricante o, si esto no fuera posible, a $U_c = n \times 2,35 V$,

o bien

- b) a una tensión constante modificada [U_c igual que en el punto a)] con una limitación de corriente de carga inicial de $I_{max} = 6 \times I_{20}$

2) Carga a corriente constante

- Carga de, al menos, el 110% pero no más del 150% de los amperios-hora descargados;

o bien

- Carga a una tensión de carga de 2,4 V por elemento, para continuar la carga con la misma corriente hasta, al menos, $0,25 \times C_{20}$ pero no más de $0,5 \times C_{20}$ amperios-hora que se han añadido.

La carga a corriente constante se debe realizar siguiendo las indicaciones del fabricante o, si esto no fuera posible, con la corriente dentro del rango desde $I=2x I_{20}$ hasta $4x I_{20}$. [13]

El método de carga que realiza nuestro regulador, por las pruebas realizadas, es a tensión constante, como se muestra en la siguiente gráfica, en la que se muestra el tiempo de carga de una batería de plomo VRLA, frente a el porcentaje de capacidad recuperado, para una carga a tensión constante a) 2,35 V por celda, y b) 2,50 V por celda:

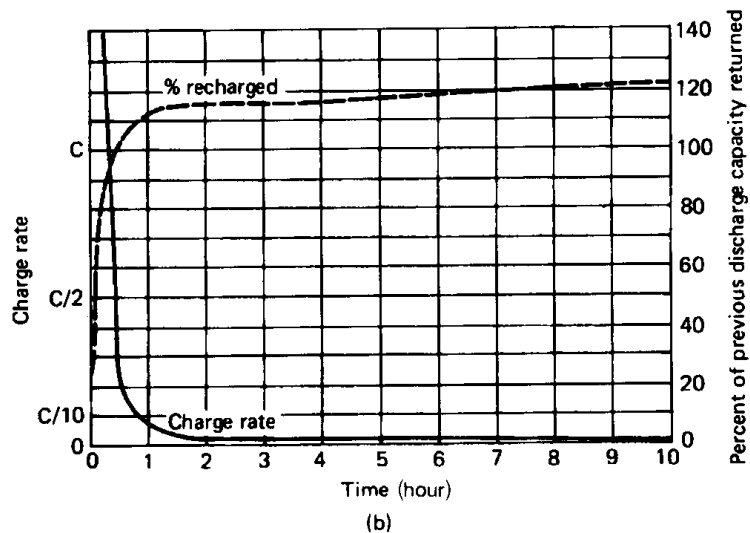
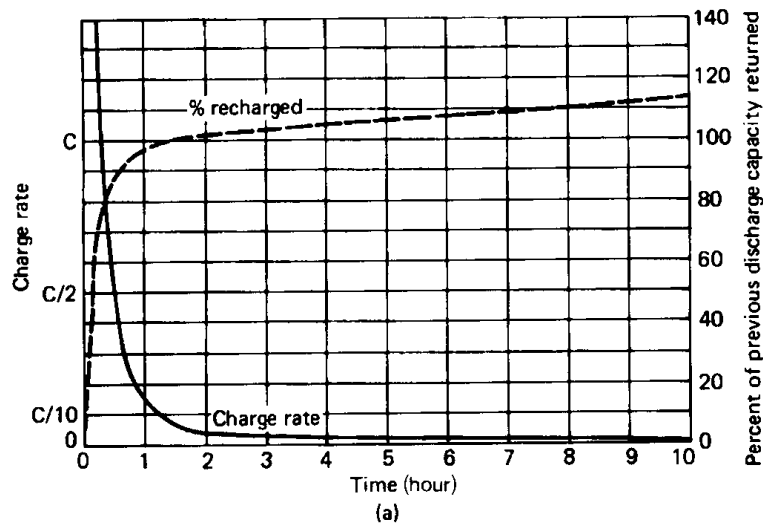


Figura 16: Porcentaje de carga recuperado en función del tiempo para a) 2,35V y b) 2,50V por celda [11]

8.2 TIEMPO DE ILUMINACIÓN CON UNA RECARGA

Utilizando LEDs de bajo consumo, con una batería de 12 V y 7 ah cargada completamente, como se explica en el apartado 8.1, la corriente demandada por el dispositivo es de 0,21 A, muy baja respecto a la capacidad de la batería, exactamente $C_{0,03}$. Puesto que el fabricante nos asegura la capacidad C_{20} , para demandas como ésta, con corrientes menores a la demandada con C_{20} ($I_{20}=0,35$ A) la batería suministrará sin problemas la energía requerida, en este caso durante más de 33 horas.

9 PRESUPUESTO

La mayoría de los componentes de nuestro sistema son reutilizados, el sistema final cuenta con los siguientes componentes comprados:

Plato TA-BCD 130 Alize de 61 dientes	62,89€
Generador M20 500W	199,00€
Gastos de envío	18,00€
<hr/>	
Total	279,89€

10 CONCLUSIONES Y PROPUESTAS FUTURAS

Parece demostrado que aprovechando partes de sistemas mecánicos en desuso y comprando solamente las partes imprescindibles es posible crear un sistema para generar electricidad a partir de la potencia humana.

Con este trabajo se deduce que un sistema de generación de energía mediante pedaleo puede ser capaz de suministrar energía durante una hora a una media de 100W, pero no se ha podido demostrar.

Por otro lado, en el caso de la carga de baterías, los problemas y las limitaciones de los componentes con los que se ha trabajado han hecho que no se termine de ofrecer resultados completamente concluyentes en cuanto a la carga de baterías, principalmente por la limitación de la corriente de carga de entrada a las baterías utilizadas.

Para Proyectos futuros, se propone:

- a) Conseguir un regulador de carga con conversión DC/DC que ajuste el nivel de tensión sin tener que sacrificar el punto óptimo de generación del generador.
- b) En el caso de utilizar un regulador como este:
 - 1) Cargar conjuntos de baterías, 2 en serie para alcanzar el funcionamiento a 24 V, y las que sean necesarias en paralelo en función de la corriente, pero en este caso colocando elementos de seguridad entre las baterías en paralelo para evitar que se descarguen.
 - 2) Cambiar a baterías que admitan mayor corriente de carga:
 - Baterías con la misma tecnología pero de mayor capacidad.
 - Probar con otras tecnologías como el litio, que acepten mayores corrientes en la carga.

Y que de estas maneras se pueda aportar más potencia o realizar cargas más rápidas.

11 BIBLIOGRAFÍA

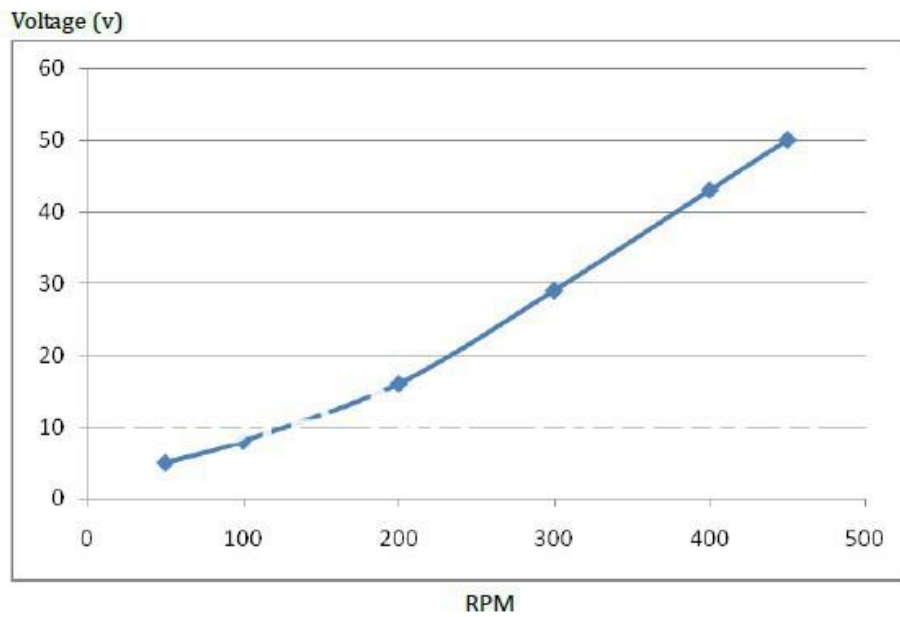
- [1] – Ortega Izquierdo, Alberto Pedro. “Diseño, Construcción y Caracterización de un Sistema de Carga de Baterías Mediante Pedaleo” 2013. Proyecto Fin de Carrera. Universidad Carlos III de Madrid.
- [2] – Tegantai: La Agencia Ecologista de Información. 15 de marzo de 2013. Entrevista: Dr. Ángel Luis Brito. [<http://www.agenciaecologista.info>]
- [3] – Sánchez Tello, Alejandro. “Cargador de baterías de móvil mediante pedaleo” 2013. Trabajo Fin de Grado. Universidad Carlos III de Madrid.
- [4] – “Rutlan HRSi charge regulator. Installation and operation.” Doc. No. : SM-346 Issue B 24.04.08 Marlec Engeneering Co. Ltd.
- [5] – Sanz Feito, Javier. “Máquinas Eléctricas” 2002. Pearson Educación, S.A.
- [6] – Fraile Mora, Jesús. “Máquinas Eléctricas” 2003. McGraw-Hill/Interamericana de España. S. A. U.
- [7] – Chinchilla Sánchez, Mónica. “Control de un sistema de generación eólica de velocidad variable con generador síncrono multipolar de imanes permanentes acoplado a red” 2001. Tesis Doctoral. Universidad Carlos III de Madrid.
- [8] - D. Yildriim, E.F. Fuchs, T. Batan. “Test results of a 20 kW variable-speed direct drive wind power plant “, ICEM 1998, pp. 2039-44.
- [9] – Villsboll, N.; Pinegin, A; Goussarov, D.; Bugge, J. “Designing and testing a 20 kW multipole permanent magnet alternator for use in wind turbines” (Folkecenter for Renewable Energy, Hurup Thy, Denmark) Wind Engineering, 96 Vol: 20 Iss: 3 pp.107-114.
- [10] – D. Brendt. “Maintenance-free batteries. A handbook of a battery technology”. 1993. Research Studies Press Ltd.
- [11] – D. Linden, T. B. Reddy. “Handbook of batteries”. 2001. McGraw-Hill.
- [12] – Norma UNE-EN 50272-2 “Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 2: Baterías estacionarias”. 2002. AENOR
- [13] – Norma UNE-En 61056-1 “Baterías de acumuladores de plomo para uso general (con válvula regulada). Parte 1: Requisitos generales, características funcionales. Métodos de ensayo” 201. AENOR

ANEXO

HOJAS DE CARACTERÍSTICAS

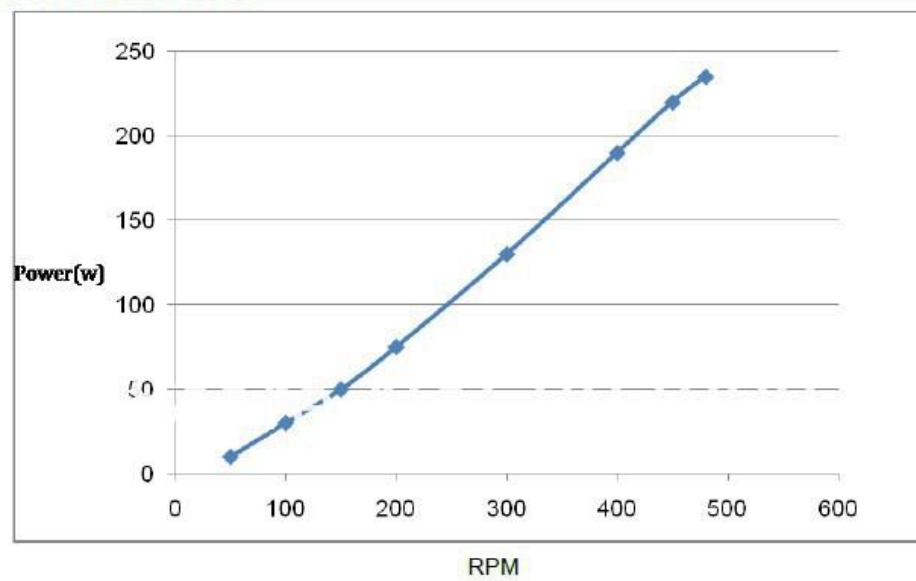
Tensión del Generador 200W

200w 12v voltage curve

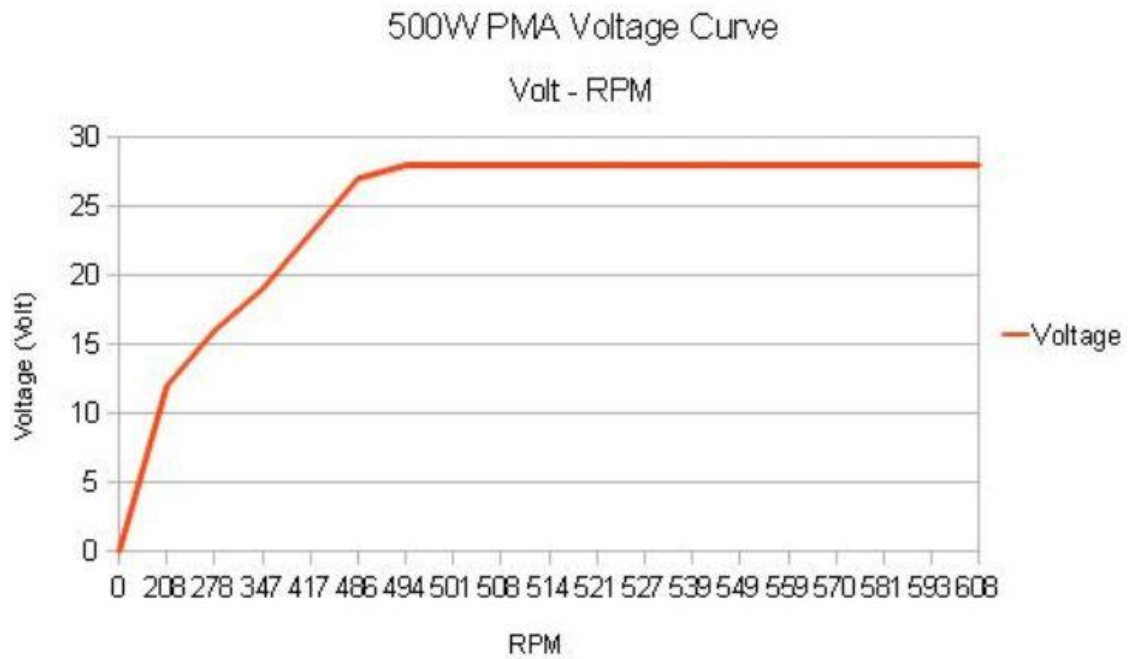


Potencia del Generador 200W

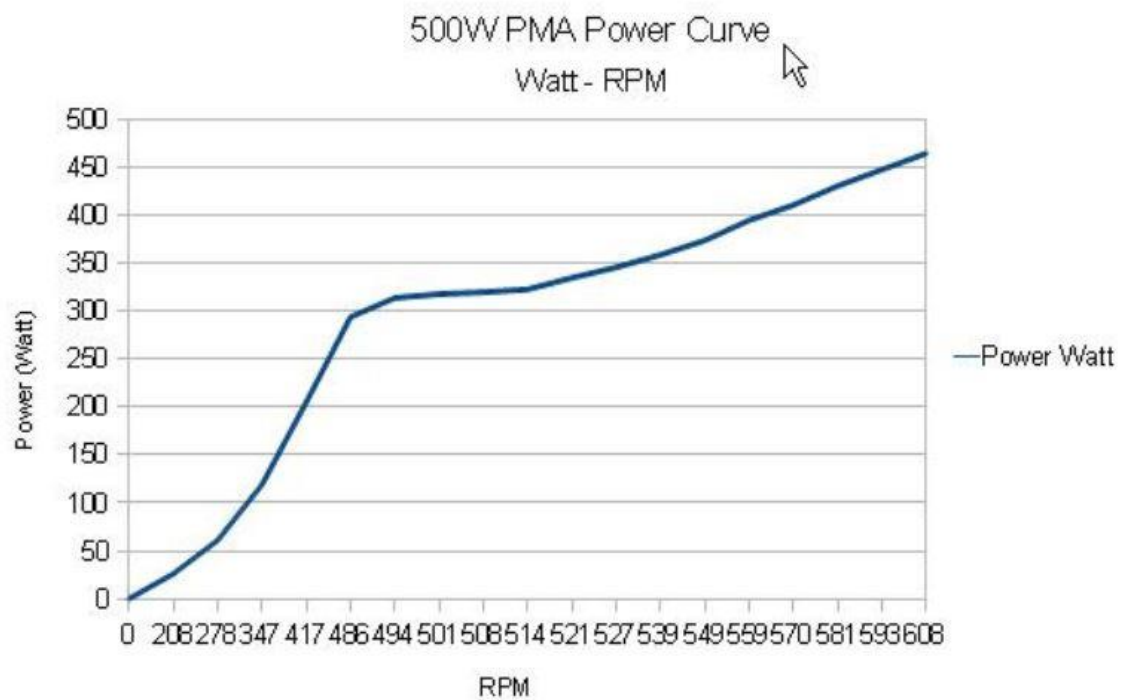
200W Power Curve



Tensión del Generador M20 500W



Potencia del Generador M20 500W



Regulador de carga

HRSi Charge Regulator

Marlec's HRSi Charge Regulator once again leads the small wind turbine industry in technology and product features. The HRSi conveniently brings together a **Rutland Windcharger voltage regulator** with an input for up to **160Watts of photovoltaic panels** in a single easy to install device. **Multi-stage charge control** delivers appropriate charge levels required to ensure your batteries get the maximum power they are able to retain and remain float charged.

New HRSi features intelligent charge control for optimal battery condition.



Technical Features

- **Pulse Width Modulation (PWM)** regulation is now more finely controlled using the latest programmable microcontrollers. PWM regulation monitors battery voltage to prevent overcharge. As peak voltages are reached the HRSi tapers the input charge from the wind & solar chargers gradually reducing input to float stage level. This feature gradually reduces the speed of the turbine to an eventual "idle" thus extending the working life of the windcharger. As the battery discharges the wind turbine responds by increasing speed to deliver more power. Solar power is also tapered in the same way.
- **Intelligent Microcontroller system** is programmed to deliver bulk and float phase charging. This feature ensures that batteries are optimally charged, especially when unattended.
- **LED indicators** keep the user informed about battery voltage levels and charging status

- **Manual shutdown switch** allows the user to stop the wind & solar chargers from delivering power to the battery if required. The windcharger slows to a "idle" in this mode.
- Easy to connect terminals to interface windcharger, solar panels & battery connection.
- **Temperature compensation** automatically adjusts the settings of the regulator to take account of varying temperatures thus ensuring maximum charging efficiency in all conditions.
- Built in blocking diode avoids conflict with other charging sources to the same battery. (1)
- **Automatic voltage detection** for 12V or 24V systems (2)
- Built-in charge fuse protects the wiring circuit in the event of accidental reverse polarity connection.
- User voltage programme feature allows resetting of voltage cut in levels. Requires a variable DC power supply.

Notes:

1. Solar panels must be fitted with diodes
2. Batteries must be connected first for auto detection.

Technical Data

Input Capacity:

1 x Rutland 913 or Rutland 914 or FM 910-3 or Rutland 504 Windcharger plus 160Watts peak rated solar panels maximum.
For connection to a single battery bank (wired in parallel for 12 V and in series for 24 V).

LED Display:

Tri-Colour LED indicating battery voltage:		Tri-Colour LED indicating charging status:	
Flashing Red	Battery Very Low <12V (24V)	Green	Charging
Red	>12V & <13V (>24V & <26V)	Amber	Charging & Regulating
Amber		Red	Regulating
Green	>13V (26V)		

Dimensions: Product 130 x 80 x 42 mm 185 g Packaged 160 x 110 x 60 mm 255 g



Designed & Manufactured in the UK by:
Marlec Engineering Co. Ltd
 Rutland House, Trevithick Rd, Corby, NN17 5XY
 Tel: +44 (0)1536 201588 Fax: +44 (0)1536 400211
 Email: sales@marlec.co.uk www.marlec.co.uk

Batería



VRLA Battery

MS 7-12

12V7.0AH

MS Series SLA Battery

MHB MS Series--Small-size batteries

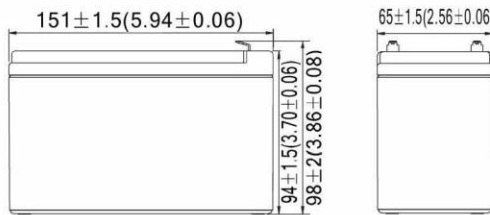
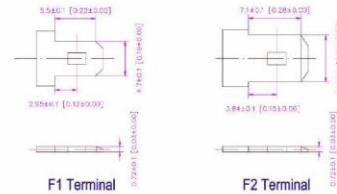
- 100% before shipment testing, stable and reliable long-term quality
- patented grid alloy formula and updated manufacturing technique
- completely sealed and maintenance-free, low self-discharge
- Excellent charging and re-charging acceptance
- Cycle use: More than 260 cycles at 100% DOD
- Floating & standby use: 3-5 years

Application:

- Alarm System
- Cable Television
- Communication Equipment
- Emergency Power System
- Security System
- Medical Equipment
- UPS
- Power tools
- Control Equipment
- Toys

Construction:

- ComponentRaw material
- PositiveLead dioxide
- NegativeLead
- ContainerABS
- CoverABS
- SealantEpoxy
- Safety valve Rubber
- TerminalCopper
- SeparatorFiber glass
- ElectrolyteSulfuric acid



Specification:

Battery Model	MS 7-12 12V7.0AH			
Designed Floating Life	3~5 Years			
Capacity (25°C)	20HR(0.35A,10.5V)	10HR(0.673A,10.5V)	5HR(1.26A,10.5V)	1HR(4.19A,10.5V)
	7.00AH	6.73AH	6.30AH	4.19AH
Dimensions	Length	Width	Height	Total Height
	151mm (5.94inch)	65mm (2.56inch)	94mm (3.70inch)	98mm (3.86inch)
Approx. Weight	2.05Kg (4.52 lbs)			
Internal Resistance	Full charged at 25°C : ≤35mΩ			
Self Discharge	3% of capacity declined per month at (25°C)			
Capacity Affected by Temp.(20HR)	40°C	25°C	0°C	-15°C
	102%	100%	85%	65%
Charge Voltage(25oC)	Cycle use		Float use	
	14.4-15.0V(-30mV/°C), max. Current: 2.10A		13.6-13.8V (-20mV/°C)	

FUJIAN MINHUA POWER SOURCE CO., LTD.

www.mhb-battery.com sales@mhb-battery.com info@mhb-battery.com

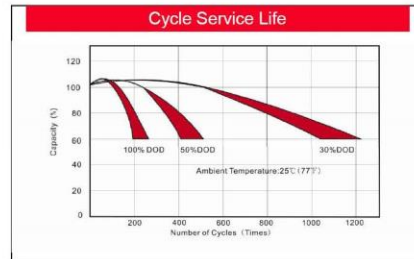
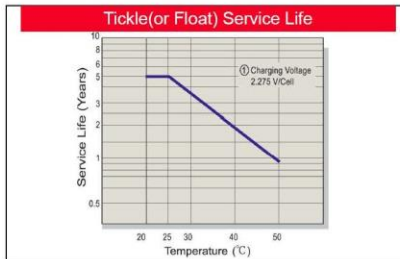
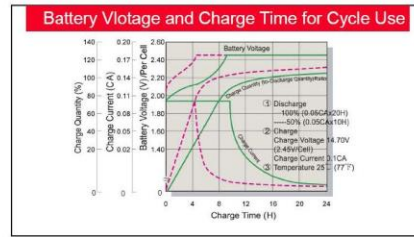
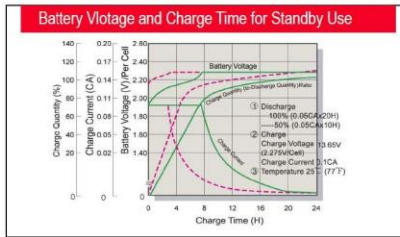
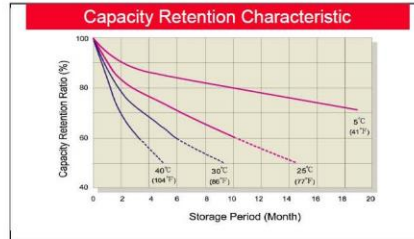
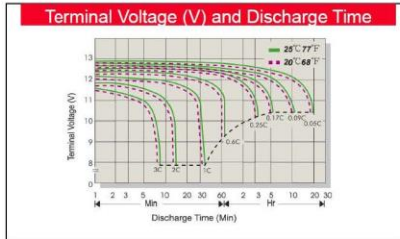
V-0 2012-2-16



VRLA Battery

MS 7-12

12V7.0AH



Constant Current Discharge (CC, Unit: A) at 25°C (77°F)												
F.V/Time	5Min	10Min	15Min	30Min	1Hr	2Hr	3Hr	4Hr	5Hr	6Hr	10Hr	20Hr
1.85V/Cell	19.31	14.26	10.34	6.96	4.04	2.31	1.77	1.413	1.213	0.989	0.649	0.337
1.80V/Cell	19.68	14.53	10.54	7.09	4.12	2.36	1.80	1.440	1.237	1.008	0.661	0.344
1.75V/Cell	20.04	14.81	10.74	7.23	4.19	2.40	1.84	1.467	1.260	1.027	0.673	0.350
1.70V/Cell	21.85	15.69	11.38	7.51	4.27	2.45	1.87	1.493	1.282	1.045	0.685	0.356
1.67V/Cell	24.05	17.03	12.35	7.93	4.31	2.47	1.89	1.509	1.296	1.056	0.693	0.360
1.60V/Cell	26.06	17.91	12.99	8.27	4.36	2.50	1.91	1.525	1.310	1.068	0.700	0.364
Constant Power Discharge (CP, Unit: W) at 25°C (77°F)												
F.V/Time	5Min	10Min	15Min	30Min	1Hr	2Hr	3Hr	4Hr	5Hr	6Hr	10Hr	20Hr
1.85V/Cell	37.65	27.81	20.16	13.57	7.88	4.51	3.45	2.76	2.37	1.93	1.26	0.66
1.80V/Cell	38.37	28.34	20.55	13.83	8.03	4.60	3.52	2.81	2.41	1.97	1.29	0.67
1.75V/Cell	39.09	28.87	20.94	14.09	8.18	4.69	3.58	2.86	2.46	2.00	1.31	0.68
1.70V/Cell	42.60	30.60	22.19	14.65	8.32	4.77	3.65	2.91	2.50	2.04	1.34	0.69
1.67V/Cell	46.90	33.20	24.08	15.47	8.41	4.82	3.68	2.94	2.53	2.06	1.35	0.70
1.60V/Cell	50.81	34.93	25.33	16.13	8.50	4.87	3.72	2.97	2.55	2.08	1.37	0.71

TABLAS DE DATOS DE LOS ENSAYOS

Ensayo de vacío generador M20:

n [rpm]	VL [V]	Vlf [V]
100	5	2,88675135
110	6	3,46410162
130	6,8	3,92598183
136	7,2	4,15692194
140	7,5	4,33012702
156	8,3	4,79200723
162	8,8	5,08068237
174	9,1	5,25388745
188	9,7	5,60029761
194	10	5,77350269
196	10,1	5,83123772
210	10,3	5,94670777
216	11,1	6,40858799
224	11,2	6,46632301
240	12,1	6,98593826
246	12,5	7,21687836
262	13	7,5055535
266	13,5	7,79422863
276	14	8,08290377
298	14,8	8,54478398
300	15	8,66025404
314	15,4	8,89119415
320	15,8	9,12213425
332	16,7	9,6417495
338	17,3	9,98815966
340	17,4	10,0458947
352	18,1	10,4500399
366	18,7	10,79645
370	18,8	10,8541851
376	19,5	11,2583302
390	20,2	11,6624754
412	20,8	12,0088856
424	22	12,7017059
432	22,9	13,2213212
450	23,4	13,5099963
466	24	13,8564065
476	24,6	14,2028166
484	25,1	14,4914918
490	25,8	14,8956369
514	26,3	15,1843121

522	26,8	15,4729872
532	27,3	15,7616623
542	27,7	15,9926025
572	29,5	17,0318329
588	30,1	17,3782431
596	30,7	17,7246533
628	32,6	18,8216188
650	33,8	19,5144391
660	34,7	20,0340543
672	35,2	20,3227295
684	35,8	20,6691396
696	36,7	21,1887549
720	37,4	21,5929001
734	39	22,5166605
758	39,4	22,7476006
774	40,5	23,3826859
780	40,6	23,4404209
816	42,5	24,5373864
842	43,7	25,2302068
856	44,6	25,749822
918	46,9	27,0777276
944	48,9	28,2324282

Ensayo de cortocircuito generador M20:

n [rpm]	If [A]
138	3,19
142	3,51
156	3,8
194	4,1
202	4,85
234	5,5
244	5,79
274	6,23
284	6,85
286	7,32
310	8,15
320	8,69
326	8,68

Impedancia síncrona generador M20

n [rpm]	VL [V]	VLf [V]	If [A]	Zs [Ω]
100	5	2,88675		
110	6	3,4641		
130	6,8	3,92598		
136	7,2	4,15692		
138	7,35	4,24352	3,19	1,33026
140	7,5	4,33013		
142	7,6	4,38786	3,51	1,2501
156	8,3	4,79201	3,8	1,26105
162	8,8	5,08068		
174	9,1	5,25389		
188	9,7	5,6003		
194	10	5,7735	4,1	1,40817
196	10,1	5,83124		
202	10,18	5,87743	4,85	1,21184
210	10,3	5,94671		
216	11,1	6,40859		
224	11,2	6,46632		
234	11,76	6,78964	5,5	1,23448
240	12,1	6,98594		
244	12,3667	7,1399	5,79	1,23314
246	12,5	7,21688		
262	13	7,50555		
266	13,5	7,79423		
274	13,9	8,02517	6,23	1,28815
276	14	8,0829		
284	14,2909	8,25086	6,85	1,20451
286	14,3636	8,29285	7,32	1,1329
298	14,8	8,54478		
300	15	8,66025		
310	15,2857	8,82521	8,15	1,08285
314	15,4	8,89119		
320	15,8	9,12213	8,69	1,04973
326	16,25	9,38194	8,68	1,08087
332	16,7	9,64175		
338	17,3	9,98816		
340	17,4	10,0459		
352	18,1	10,45		
366	18,7	10,7965		
370	18,8	10,8542		
376	19,5	11,2583		
390	20,2	11,6625		
412	20,8	12,0089		
424	22	12,7017		

432	22,9	13,2213
450	23,4	13,51
466	24	13,8564
476	24,6	14,2028
484	25,1	14,4915
490	25,8	14,8956
514	26,3	15,1843
522	26,8	15,473
532	27,3	15,7617
542	27,7	15,9926
572	29,5	17,0318
588	30,1	17,3782
596	30,7	17,7247
628	32,6	18,8216
650	33,8	19,5144
660	34,7	20,0341
672	35,2	20,3227
684	35,8	20,6691
696	36,7	21,1888
720	37,4	21,5929
734	39	22,5167
758	39,4	22,7476
774	40,5	23,3827
780	40,6	23,4404
816	42,5	24,5374
842	43,7	25,2302
856	44,6	25,7498
918	46,9	27,0777
944	48,9	28,2324

Ensayo de vacío generador 200W:

n [rpm]	Vo [V]	Vof [V]
144	2,6	1,5011107
202	3,1	1,78978583
212	3,2	1,84752086
222	3,9	2,25166605
240	4,4	2,54034118
256	4,6	2,65581124
260	4,7	2,71354627
268	4,9	2,82901632
276	4,9	2,82901632
284	5,3	3,05995643
296	5,6	3,23316151
306	5,6	3,23316151
312	5,6	3,23316151
326	6,1	3,52183664
334	6,4	3,69504172
342	6,6	3,81051178
354	6,7	3,8682468
362	7,1	4,09918691
366	7	4,04145188
374	7,1	4,09918691
386	7,5	4,33012702
390	7,5	4,33012702
398	7,7	4,44559707
404	7,8	4,5033321
416	7,9	4,56106713
426	8,2	4,73427221
440	8,4	4,84974226
456	8,7	5,02294734
472	9	5,19615242
486	9,3	5,3693575
490	9,5	5,48482756
502	9,8	5,65803264
516	10,1	5,83123772
532	10,3	5,94670777
548	10,6	6,11991285
568	11,1	6,40858799
574	11,4	6,58179307
598	11,6	6,69726312
610	12,2	7,04367328
622	12,3	7,10140831
634	12,5	7,21687836
646	12,7	7,33234842
668	13	7,5055535

680	13,3	7,67875858
698	13,8	7,96743371
712	13,9	8,02516874
716	14,2	8,19837382
734	14,4	8,31384388
746	14,7	8,48704896
758	15,2	8,77572409

Ensayo de cortocircuito generador 200W:

n [rpm]	I _{cc} [A]
88	0,97
90	1,05
102	1,11
106	1,46
110	1,71
120	1,95
124	2,06
134	2,49
140	2,69
144	2,73
150	2,78
154	2,9
168	3,24
180	3,34
182	3,55
184	3,6
194	3,95
198	4,08
202	4,15
212	4,3
230	4,42
234	4,76
236	4,8
240	4,95
250	5,05
256	5,23
260	5,48
268	5,51
274	5,7
276	5,79
282	6,21
294	6,27
296	6,44
308	6,56
318	6,65

Impedancia síncrona generador 200W:

n [rpm]	Vo [V]	Vof [V]	Icc [A]	Zs [Ω]
88			0,97	
90			1,05	
102			1,11	
106			1,46	
110			1,71	
120			1,95	
124			2,06	
134			2,49	
140			2,69	
144	2,6	1,501111	2,73	0,54986
150			2,78	
154			2,9	
168			3,24	
180			3,34	
182			3,55	
184			3,6	
194			3,95	
198			4,08	
202	3,1	1,789786	4,15	0,43127
212	3,2	1,847521	4,3	0,42966
222	3,9	2,251666		
230			4,42	
234			4,76	
236			4,8	
240	4,4	2,540341		
250			5,05	
256	4,6	2,655811	5,23	0,5078
260	4,7	2,713546	5,48	0,49517
268	4,9	2,829016	5,51	0,51343
274			5,7	
276	4,9	2,829016	5,79	0,4886
282			6,21	
284	5,3	3,059956		
294			6,27	
296	5,6	3,233162	6,44	0,50204
306	5,6	3,233162		
308			6,56	
312	5,6	3,233162		
318			6,65	
326	6,1	3,521837		
334	6,4	3,695042		
342	6,6	3,810512		
354	6,7	3,868247		

362	7,1	4,099187
366	7	4,041452
374	7,1	4,099187
386	7,5	4,330127
390	7,5	4,330127
398	7,7	4,445597
404	7,8	4,503332
416	7,9	4,561067
426	8,2	4,734272
440	8,4	4,849742
456	8,7	5,022947
472	9	5,196152
486	9,3	5,369358
490	9,5	5,484828
502	9,8	5,658033
516	10,1	5,831238
532	10,3	5,946708
548	10,6	6,119913
568	11,1	6,408588
574	11,4	6,581793
598	11,6	6,697263
610	12,2	7,043673
622	12,3	7,101408
634	12,5	7,216878
646	12,7	7,332348
668	13	7,505553
680	13,3	7,678759
698	13,8	7,967434
712	13,9	8,025169
716	14,2	8,198374
734	14,4	8,313844
746	14,7	8,487049
758	15,2	8,775724

Flujo magnético en generador 200W:

Vof [V]	n [rpm]	Ω [rad/s]	ψ [V·s]
1,5011107	144	15,07964474	0,0995455
1,78978583	202	21,15339053	0,08460988
1,84752086	212	22,20058809	0,08321946
2,25166605	222	23,24778564	0,09685508
2,54034118	240	25,13274123	0,10107696
2,65581124	256	26,80825731	0,09906691
2,71354627	260	27,22713633	0,0996633
2,82901632	268	28,06489437	0,10080267
2,82901632	276	28,90265241	0,09788085

3,05995643	284	29,74041045	0,10288884
3,23316151	296	30,99704752	0,10430547
3,23316151	306	32,04424507	0,10089679
3,23316151	312	32,6725636	0,09895647
3,52183664	326	34,13864017	0,10316277
3,69504172	334	34,97639821	0,10564386
3,81051178	342	35,81415625	0,1063968
3,8682468	354	37,07079331	0,10434756
4,09918691	362	37,90855135	0,10813357
4,04145188	366	38,32743037	0,10544542
4,09918691	374	39,16518841	0,10466404
4,33012702	386	40,42182548	0,10712349
4,33012702	390	40,8407045	0,10602479
4,44559707	398	41,67846254	0,10666413
4,5033321	404	42,30678107	0,10644469
4,56106713	416	43,56341813	0,10469948
4,73427221	426	44,61061568	0,10612434
4,84974226	440	46,07669225	0,1052537
5,02294734	456	47,75220833	0,10518775
5,19615242	472	49,42772442	0,10512627
5,3693575	486	50,89380099	0,10550121
5,48482756	490	51,31268001	0,1068903
5,65803264	502	52,56931707	0,10762994
5,83123772	516	54,03539364	0,10791515
5,94670777	532	55,71090972	0,10674225
6,11991285	548	57,38642581	0,10664391
6,40858799	568	59,48082091	0,10774209
6,58179307	574	60,10913944	0,10949738
6,69726312	598	62,62241356	0,10694674
7,04367328	610	63,87905062	0,11026578
7,10140831	622	65,13568768	0,10902485
7,21687836	634	66,39232475	0,10870049
7,33234842	646	67,64896181	0,10838819
7,5055535	668	69,95279642	0,10729455
7,67875858	680	71,20943348	0,10783345
7,96743371	698	73,09438907	0,10900199
8,02516874	712	74,56046565	0,10763303
8,19837382	716	74,97934467	0,10934176
8,31384388	734	76,86430026	0,10816262
8,48704896	746	78,12093732	0,10863988
8,77572409	758	79,37757438	0,11055672

Generador M20

Potencia sin regulador 1:

n [rpm]	VI [V]	If [A]	VR [V]	IR[A]
162	4,13	1,61	3,9	3,53
194	5,22	1,9	5	3,82
184	5,4	2,08	5,4	3,83
196	5,35	2,09	4,2	3,91
190	4,83	1,9	4,6	3,85
186	5,7	2,31	5,4	5,23
202	5,34	1,76	5,2	3,91
198	5,02	2	5	3,51
210	5,44	2,21	5,9	4,11
212	5,58	2,3	5,4	4,26
214	6,08	2,44	6,2	4,39
228	6,24	2,77	6,1	4,64
238	6,18	2,99	5,6	4,29

Potencia sin regulador 2:

n [rpm]	VI [V]	If [A]	VR [V]	IR[A]	Pgen [W]	Prec [W]
140	3,75	0,96	3,41	2,43	6,23538291	8,2863
174	4,4	1,47	4,33	3,2	11,2029046	13,856
196	5,02	1,75	4,72	3,67	15,2160663	17,3224
206	5,36	2,01	4,55	3,73	18,6604226	16,9715
212	5,34	2,22	5,66	4,33	20,5331159	24,5078
214	5,98	2,49	5,99	4,76	25,7905829	28,5124
224	6,2	2,48	5,84	4,83	26,6320132	28,2072
240	6,2	2,92	6,54	4,88	31,3570478	31,9152
252	6,35	3,18	6,87	4,95	34,975302	34,0065
264	6,2	3,52	6,86	5,78	37,8002768	39,6508
276	7,41	3,67	5,52	6,81	47,1026021	37,5912
258	7,79	3,64	7,2	5,6	49,1133399	40,32
286	7,65	3,82	8,13	6,23	50,6157207	50,6499
292	8,12	4,36	8,7	5,64	61,3201412	49,068
310	8,55	4,11	8,95	6,71	60,8651314	60,0545
330	8,48	4,67	8,77	6,54	68,5919833	57,3558
356	9,07	4,99	8,56	7,39	78,3914071	63,2584
366	10,05	5,81	10,1	7,88	101,135313	79,588
404	8,91	5,95	11,16	8,72	91,8238075	97,3152
412	10,79	5,98	10,1	8,79	111,759193	88,779
422	11,3	6,31	11,46	9,45	123,500419	108,297
462	11,51	6,62	11,14	9,93	131,97569	110,6202
470	11,6	6,68	11,23	9,92	134,213153	111,4016
492	11,68	7,28	13,12	9,54	147,276973	125,1648

504	11,98	7,4	13,86	10,57	153,549768	146,5002
-----	-------	-----	-------	-------	------------	----------

Potencia con regulador:

Columna1	Columna2	Columna3	Columna4	Columna5
n [rpm]	Vreg [V]	Ireg [A]		Preg [W]
102	1,71	1,34		2,2914
120	2,84	2,03		5,7652
136	2,67	2,22		5,9274
142	2,94	2,36		6,9384
148	3,57	2,84		10,1388
162	3,65	3,39		12,3735
170	3,9	3,19		12,441
180	4,56	3,88		17,6928
208	5,13	3,5		17,955
214	4,73	4,16		19,6768
230	5,78	4,7		27,166
234	5,99	4,82		28,8718
258	6,13	4,91		30,0983
260	6,18	5,68		35,1024
264	6,32	5,88		37,1616
278	6,76	5,92		40,0192
290	6,83	5,8		39,614
302	7,02	5,79		40,6458
312	8,44	6,64		56,0416
332	8,91	6,98		62,1918
352	9,23	7,3		67,379
370	9,36	7,6		71,136
378	9,58	7,97		76,3526
402	9,23	8,24		76,0552
412	9,78	8,55		83,619